

Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов, Б.Т.Бисенова

Физикадан лаборатория жұмыстары
(механика және молекулалық физика)

Науаи - 2011

Пікір жазғандар:

доц. А.А.Ахмедов
п.п.к. З.Елемесова

“Физикадан лаборатория жұмыстары” оқу құралында лаборатория жұмыстары, оларда кездесетін қателіктер жайлы толық мәліметтер және де механика және молекулалық физикаға байланысты лаборатория жұмыстары, кестелер, тесттер енгізілген. Оқу құралы педагогикалық жоғары оқу орындарындағы физика оқыту программасына сай күйде жазылған.

Оқу құралынан педагогикалық институттардың физика-математика, химия-биология факультеті талапкерлері, академиялық лицей, кәсіп-өнер колледждері оқытушы және талапкерлері де пайдаланулары мүмкін.

*Қабілетсіз оқытушы шындықты
жайғана айтады – қояды, жақсысы
болса оны табуға үйретеді*

В.О.Дистервиг

Алғы сөз

Егеменді мемлекетіміздің тәлім тізімінде түп бұрылыс жасалды. «Кадрлар даярлау ұлттық бағдарламасы», «Білім туралы заң» және олар негізінде түзілген «Мемлекеттік тәлім стандарттары» бүгінгі күнде оқыту сапасын арттыруда негізгі күшке айналған. Сондай – ақ, бұл физика пәнін оқытуға да толық тиісті.

Біздің мемлекетіміз көп ұлтты болғандығы үшін қазақ мектептері де бар. Осы мектептерді бітірген талапкерлердің пайдаланулары үшін әдебиеттер өте аздығын есепке алған күйде бұл оқу құралы жаратылды.

Бұл оқу құралын жаратуда Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті ұсынысымен шығарылған М.С.Бердібаевтың, Өзбекстан Республикасы Жоғары және орта арнаулы білім беру уәзірлігінің ұсынысымен Б.Ф.Избосаров және И.Р.Камоловтың, Өзбекстан Республикасы Халыққа білім беру уәзірлігі оқу-методикалық центрі ұсынысымен М.Х.Ўлмасова, Ж.А.Тошхонова, И.Исмоилов, Ж.Камоловтар және де Т.Саидмуродов, М.Вахобовтар жағынан шығарылған әдебиеттерден кеңінен пайдаланылған.

“Физикадан лаборатория жұмыстары” оқу құралының негізгі мақсаты талапкерлердің теориялық білімдерін практикамен байланыстыру, практикалық дағды және іскерлігін және де пысықтау, оларды физика пәніне болған қызығушылығын арттыруға бағытталған.

Бұл оқу құралын дайындауда, біріншіден, қазақ тіліндегі жаңа заманаға сай әдістемемен тәміндеу, екіншіден болашақ физика оқытушыларының физикалық заңдар, құбылыстар және кезеңдерді терең үйренулеріне, олардың тәжірибе өткізу және өлшеулердің қарапайым әдістерін игерулеріне көмектесуді өз алдымызға мақсат етіп қойдық.

Оқу құралындағы лаборатория жұмыстарының негізгі бөлігін қазіргі уақытта педагогикалық институттарда және көпшілік мектептерде бар болған аспаптар жәрдемінде орындау мүмкін. Сол үшін авторлар осы оқу құралы жас оқытушылар және талапкерлердің келешектегі педагогикалық жұмыстарында үлкен жәрдем береді, деп үміт етеді.

ЛАБОРАТОРИЯ САБАҚТАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ ӘДІСТЕРІ ЖАЙЫНДА

Лаборатория жұмыстары теория мен практиканы байланыстыратын және олардың бірлігін тәміндейтін негізгі сабақтардан болып, талапкерлердің білімдерін бекітуде, өздігінше өлшеу аспаптарымен істей алу және тәжірибе өткізе білу дағдыларын қалыптастыруда, өркендетуде, өлшеу қателіктерін бағалай білу сияқты практикалық дағдыларды өркендетуде үлкен рөл ойнайды. Лабораториялық жұмыстарды орындау түрлі физикалық шамаларды өлшеумен және олардың нәтижелерін кейін жазумен байланысты. Жоғары оқу орындарында өткізілетін лаборатория сабақтарын үш түрлі әдіспен ұйымдастыру мүмкін: ***фронтал, лаборатория жұмыстарын аралас орындау, циклді.***

Фронтал әдіс. Әр бір талапкер лекцияда өтілген тақырыпқа байланысты белгілі бір жұмысты орындау мүмкіншілігіне ие болады. Осы әдіс сабақты ұйымдастыру және өткізуді, сабақ барысында талапкерлердің жұмыстарын басқарып баруды жеңілдетеді. Фронтал әдіс лабораторияларда бірдей қондырғылардан бір екеуі болуы, қажет, болғанда лаборатория бөлмелерінің үлкейтірілуі және барлық талапкерлердің бірдей мазмұнды және бір тәртіптегі тапсырмалардың орындалуына жағдай жаратылуын талап етеді. Бұдан тыс, лаборатория жұмыстарының бірдей екендігі, қиын меңгеретін талапкерлердің пікірлеу қабілетін шекаралайды. Осы әдістен физика пәні лаборатория жаттығуының басталу кезеңінде, яғни бірінші курс талапкерлерінің алғашқы сабақтарында пайдалану мүмкін. Орта мектепті бітіргеннен соң екі және одан көбірек жыл өндірісте болған, дайындау бөлімін аяқтаған талапкерлердің практикалық жұмыс орындау дағдылары өркендеген болса, оқуды жаңа бітірген жастар кеңірек теориялық түсініктеріне ие болады. Фронтал әдіс талапкерлер арасындағы бұл айырмашылықты жоюға жәрдем берумен бір қатарда бастауыш курс талапкерлерінде бастапқы білімдердің терең қалыптасуына жағдай жаратады.

Лаборатория жұмысының белгілеріне байланысты оның классификациясы әр түрлі болуы мүмкін. Мысалы, қысқа уақыт және толық бір сағатқа арналған жұмыстар; физикалық көріністерді күзету мен байланысты болған сапалы жұмыстар ғана емес, әлде оны өлшеулер де орындалатын мөлшерлі жұмыстар; алдыннан

ұсынылған жоспар негізінде орындалатын жұмыстар және талапкерлерге берілетін өзіндік жұмыстар және тағы басқалар.

Бірақ бұл белгілердің барлығы фронтал лаборатория жұмыстарының сан алуандығын өз ішіне ала алмайды. Методикалық жақтан оқытушының фронтал лаборатория сабақтарын ұйымдастыруда қойылған мақсат және міндеттері бойынша классификацияланатын жұмыстар ең қызықтысы болып есептелінеді.

Бұл белгілерге байланысты, мысалы, төмендегі жұмыстарды айтуға болады:

1. Физикалық құбылыстарды күзету және үйрену.
2. Әр түрлі физикалық аспап, қондырғылар түзілуі, істеуі және оларды қолдану әдісімен танысу.
3. Өлшеу аспаптары мен танысу және физикалық шамаларды өлшеу.
4. Физикалық шамалар арасындағы мөлшердегі заңдарды анықтау және тексеру.
5. Физикалық тұрақтыларды анықтау және анықтаулардың әр түрлі методтарымен танысу.

Лаборатория жұмыстарын аралас орындау әдісі. Әр бір талапкер лекцияда өтілген немесе өтілмегендігіне қарамастан жеке-жеке лаборатория жұмыстарын орындайды. Бұл жұмыстардың мазмұны да, орындау әдісі де түрліше. Лаборатория және лекция тақырыптарының бір-бірімен дәл келмейтіндігі талапкерлердің тиісті әдебиетпен өздігінше істеуге үйретеді, пікірлеулерін жылдамдатады. Бірақ, педагогикалық тәжірибелердің көрсетуінше, лаборатория сабақтарын өткізу үшін аз уақыт ажыратылған. Жоғары оқу орындарында бұл әдіс кейбір мәселелерді тудырады, талапкерлердің өзіндік жұмыстары үшін уақыт жетпейтіндігі сияқты. Бірақ, осы әдіс жоғары оқу орындарының жоғары курстарында оқытылатын арнайы пәндер бойынша өткізілетін лаборатория сабақтарында жақсы нәтижелерге алып келеді.

Циклді әдіс. Бұл әдісте практикumға енгізілген лаборатория жұмыстары, жалпы физика курсының белгілі бөлімдері негізінде немесе бірер физикалық шаманың түрлі өлшеу әдістерін бірлестіру жолымен топтастырып ұйымдастырылады, бұл әдіс лаборатория және лекция сабақтары тақырыптарын сәйкестендіру мүмкіншілігін береді, лаборатория жұмыстарының топтастырылуында эффектив варианттарын қолдауға көмектеседі.

МЕТРОЛОГИЯНЫҢ ДАМУ ТАРИХЫНА ҚЫСҚАША ШОЛУ

Метрология — өлшеулер туралы ғылым. Оның Мемлекеттік стандартқа сәйкес анықтамасымен айтсақ, *метрология - өлшеулер мен олардың бірлігін қамтамасыз ету әдістері мен құралдары және қажетті дәлдікке жету жолдары туралы ғылым*. Өлшеу— табиғатты тануда адамзаттың аса маңызды жолдарының бірі болып табылады. Физика, математика, химия тағы сол сияқты ғылымдардың дәл ғылымдар аталуы өлшеу арқылы түрлі шамалардың арасындағы функциялық тәуелділіктердің дәл сандық қатынастарын алуға байланысты. Адамзат өте ерте кезден бері-ақ өлшеулерді өзінің тіршілігінде пайдалана білген. Адамның, малдың, әскердің санын, түрлі объектілердің ара қашықтығын, қоршаған ортаның және денелердің ыстық-салқындығын, түрлі заттардың салмағы мен көлемін білу қай уақытта да өмір мұқтажы болған.

Ғылым мен техника ерекше дамыған қазіргі біздің заманымызда өлшеулердің алатын рөлі айрықша. Ғылым мен оқу процесінде, өндіріс пен техника салаларында, қала берді, күнделікті тұрмыста өлшеулер кеңінен қолданылады және оларға қойылатын талаптар да жылдан-жылға арта түсуде. Өлшеу процесінің өз алдына ғылым болып дамып, оны оқып-зерттеп, әрі қарай дамыта түсудің қажеттілігі, міне, осының куәсі.

Бүгінгі таңда жалпы метрологияны шартты түрде *ғылыми метрология* және *заңдық метрология* деп ажыратады. Ғылыми метрологияны *теориялық метрология, практикалық метрология* деп бөледі. Ғылыми метрология метрологияның іргелі түсініктері мен терминдерін, анықтамалары мен постулаттарын қалыптастырады, физикалық шамалар және олардың бірліктерін, өлшеу және оның қателіктерінің, өлшеу құралдарының теориялық сипаттамасын зерттейді. Практикалық метрология әдістемесі теориялық принциптермен негізделген өлшеу үрдісін іс жүзінде қалай қолдануды түсіндіреді.

Метрологияның ғылым ретінде адамзатқа сіңірген үлкен еңбегі - бүгінде қолданылып жүрген өлшемдердің метрлік жүйесін дүниеге әкелуі. Метрология сөзінің түбірі - метр ("метрон"- грекше өлшеу деген ұғымды білдіреді) сөзі.

Өлшемдердің метрлік жүйесі тек XIX ғасырдың екінші жартысында ғана Халықаралық дәрежеге ие болды. 1875 жылдың

20 майында Парижде өлшемдердің метрлік жүйесінің Халықаралық конвенциясына 17 мемлекет өкілдері қол қойды. Конвенцияның ұйғарымы бойынша Париж қаласында мералар мен таразылардың Халықаралық бюросы (МТХБ) құрылды. Бұл бюроның міндеті метр мен килограммның Халықаралық прототиптерін (эталондарын) сақтау, зерттеу және периодты түрде конвенцияға қол қойған мемлекеттердегі олардың көшірмелерімен салыстырып отыру болды. Соңыра, МТХБ хұзреттілігіне метр мен килограмм прототиптеріне қоса электрлік шамалардың бірліктері Ом мен Вольта эталондары енгізілді. Бүгінде МТХБ-ның жұмысын мералар мен таразылардың Халықаралық комитеті (МТХК) басқарады. Қазіргі таңда бұл комитеттің 18 мүшесі бар. Олар конвенцияға қол қойған 44 мемлекеттің ішінен алынған.

МТХК-ның жанында өлшеудің түрлі салаларында жұмыс істейтін ірі ғылыми-зерттеу институттарының өкіл мамандарынан құрылған кеңес комитеттері жұмыс істейді.

Әр комитет 3-4 жылда бір рет жиналып кеңес құрады. Қазіргі кезде кеңестік комитеттердің саны 8-ге жетті. Олар:

1. Электрлік бойынша кеңестік комитет (ККЭ, 1927 жылдан бастап істейді).
2. Фотометрия мен радиометрия бойынша (ФРКК -1933 ж.).
3. Термометрия бойынша (ТКК -1937 ж.).
4. Метрді анықтау бойынша (МАКК-1952ж.).
5. Секундты анықтау бойынша (САКК-1956 ж.).
6. Иондаушы сәулелену бойынша (ИСЭКК-1958 ж.).
7. Бірліктер бойынша (БКК-1964ж.) .
8. Массаны өлшеу бойынша (МАКК-1979 ж.).

Бұл кеңестік комитеттердің міндеттемесіне мыналар жатады:

- ғылымның жаңа мәліметтерін талқылау;
- келесі этапта жасалатын жұмыстардың бағдарламасын жасау;
- МТХК-ның келесі конференциясына Халықаралық жүйені жетілдіру жөнінде ұсыныстар дайындау.

МТХК Халықаралық метрлік конвенцияның ең жоғары органы болып табылады. Ол 4 жылдың ішінде бір рет жиналады.

Метрлік конвенция өлшемдердің метрлік жүйесін жетілдіруде және оны дүние жүзіне таратуда үлкен роль атқарады. Осы ұйымның жұмыс істеуінің нәтижесінде біз өлшеулердің бүгінгі тандағы ең озық үлгісімен -Халықаралық жүйемен [СИ] жұмыс істеп келеміз. Біздің елімізде (ол кезде ССРО) бірліктердің метрлік жүйесі 1924

жылдың 1-қаңтарынан бастап енгізіле бастады. Толығымен дерлік 1927 жылы енгізіліп болды.

ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУ

Өлшеу деп белгілі бір физикалық шаманың мәнін өлшеу құралының көмегімен табу арқылы физикалық объектінің қасиеттерінің сандық сипатын анықтауды айтады.

Өлшеу деп анықталынып жатқан физикалық шаманы бірлік деп қабылданған шамамен салыстыруға, яғни бірліктен неше есе айырмашылық етуін анықтауға айтылады.

Өлшеулер бірегейлігі деп нәтижелері заңдастырылған шама бірліктерінде көрсетілген және өлшеу қателігі берілген ықтималдықпен белгіленген шектегі өлшемнің жай-күйін түсінеді. Өлшемдер бірегейлігі - мемлекет тарапынан үнемі қамқорлықта болатын үрдіс.

Мемлекеттік метрологиялық қызмет мыналардан тұрады:

- стандарттау, метрология және сертификаттау жөніндегі уәкілетті мемлекеттік орган;
- шама бірліктерінің мемлекеттік эталондарын жасауды, жетілдіруді, сақтауды және қолдануды, шама бірліктерінің мөлшерлерін беру жүйелерін құруды қамтамасыз ететін, сондай - ақ өлшем бірлігін қамтамасыз ету жөніндегі нормативтік құжаттарды әзірлейтін мемлекеттік ғылыми метрологиялық орталық;
- стандарттау, метрология және сертификаттау жөніндегі уәкілетті мемлекеттік органның тиісті аумақта өздері туралы ережелермен белгіленген шекте өлшем бірлігін қамтамасыз ету жөніндегі міндеттер мен функцияларды орындайтын ведомстволық бағыныстағы бөлімшелер.

Өлшеулердің бірнеше түрі болады. Өлшеулерді өлшенетін шаманың уақытқа тәуелділік сипатына қарай, өлшеу мәліметінің дәлдігіне әсер етуші шарттарға байланысты және алынған мәліметті өңдеу әдістеріне қарай *классификациялайды*. Уақытқа тәуелділігіне байланысты өлшенетін шама *статистикалық* және *динамикалық* болып бөлінеді. Өлшеу барысында *уақыт бойынша физикалық шаманың мәні тұрақты болса, мұндай өлшеу - статикалық деп аталады*. Мысалы: денелердің геометриялық өлшемдерін, массасын, ыдыс ішіндегі тұрақты қысымды, т.б. өлшеу. *Егер өлшеу барысында өлшенетін шаманың мәні өзгеріп отыратын*

болса, онда мұндай өлшеуді динамикалық өлшеу деп атайды. Мысалы: өшетін тербелістің амплитудасын, жылдамдықтың лүпілін, т.б. өлшеу.

Өлшеулер мәліметтерін алу әдісі бойынша өлшеулер *тікелей, жанама, жиынтықты және үйлесімді* болып бөлінеді.

Тікелей өлшеу деп ізделініп отырған мәнді тәжірибе барысында өлшеу құралының көмегімен бірден анықтауды айтады. Бұл жағдайда физикалық шаманың мәні өлшегіш құралды объектіге жанастыру (тигізу) арқылы табылады. Егер өлшеу приборлары жәрдемінде анықтау керек болған өлшемге ие болсақ, бұндай өлшеу методтына *тікелей* немесе *турыдан – туры өлшеу* деп айтылады. Мысалы: уақытты, ұзындықты, ток күшін және осыған ұқсастар. Мысалы: дененің өлшемін микрометрмен, уақытты секундомермен табу т.б. Тікелей өлшеуді

$$x = Q$$

формуласымен өрнектеуге болады, мұнда x -табылатын шаманың мәні, ал Q -тәжірибеден тікелей анықталған мәлімет. Тікелей өлшеулер машина жасау өндірісінде, технологиялық процестерді бақылауда, эксперименттік жұмыстарда, тұрмыстық өлшеулерде т.б. кеңінен қолданылады.

Жанама өлшеу – физикалық шаманың мәнін оны тікелей өлшеу арқылы анықталатын басқа физикалық шамалармен байланыстыратын формулалар бойынша анықтау.

Жанама өлшеу деп табылатын шаманың мәнін өлшегіш құралды объектіге жанастырмастан, тікелей өлшеу нәтижелері мен ізделініп отырған шамалардың арасындағы белгілі функциялық тәуелділіктің көмегімен табуды айтады.

Тікелей өлшегенде шамалар үстінен бірер математикалық операция (бөлу, көбейту, логарифмдеу және б.) алып барып, анықталынуы керек болған нәтиже алынса жанама өлшеу деп айтылады. Мысалы, математик маятниктің тербеліс периоды

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

есептеу заңында еркін түсу үдеуі $g = 4\pi^2 \frac{\ell}{T^2}$ арқылы « g » ны есептеу мүмкін. Бұл жерде ℓ және T лар тікелей өлшенетін шамалар болып, g болса жанама өлшенетін шама.

Жанама өлшеуді мынадай формуламен өрнектеуге болады:

$$x = f(Q_1, Q_2, Q_3 \dots)$$

мұнда x - табылатын шаманың мәні, Q_1, Q_2, Q_3, \dots - тікелей әдіспен табылған шамалар. Жанама өлшеулерге көптеген мысалдар келтіруге болады. Мысалы, тікелей өлшеу әдісімен табылған денелердің геометриялық өлшемдерін пайдаланып, олардың көлемін есептеп табу, өткізгіштің кедергісін, ұзындығын және көлденең қимасының ауданын тікелей өлшеп, оның меншікті кедергісін есептеп табу, т.б. Техника мен ғылымда жанама өлшеу әдісі кеңінен қолданылады. Себебі көп жағдайда тікелей өлшеу мүмкін болмайды. Мысалы, миллиметрлік немесе сантиметрлік өлшемдерді тікелей микрометр немесе штангенциркульдің көмегімен өлшеу оңай болса, астрономиялық қашықтықтарды, атом бөлшектерінің өлшемдерін тек жанама әдістермен өлшеу мүмкін.

Тікелей және жанама өлшеулер әдістерімен алынған мәліметтердің арасында айтарлықтай принциптік өзгешелік жоқ, тек өлшеулер қателігін, алынған мәліметтердің дәлдігін анықтауда әр түрлі әдістер қолданылады.

Жиынтықты өлшеу деп бірнеше аттас шамаларды бір мезгілде өлшеуді айтады. Бұл жағдайда, осы шамаларды олардың әр түрлі терулері үшін тікелей өлшеп, ізделетін шаманы теңдеулер жүйесін шешу арқылы табады. Жиынтықты өлшеуге мысал ретінде кір тастарының әр түрлі терулерін тікелей өлшеп, бір тастың массасын біле отырып, қалғандарының массасын анықтау жатады.

Айталық, 1, 2, 2*, 5, 10 және 20 кг тастардың массасын анықтау керек болсын (жұлдызшамен дәл сондай номиналды массасы бар тас белгіленген). 1 килограммдық тас үлгі тас болсын. Біздің мақсатымыз осы үлгі тас арқылы басқа тастарды калибрлеу. Ол үшін кір тастарының терулерін өзгерте отырып, өлшеулер жасаймыз (цифрлар жеке тастың массасын көрсетеді, $1_{\text{вл}}$ килограммдық үлгі тастың массасын білдіреді):

$$1 = 1_{\text{вл}} + a$$

$$1 + 1_{\text{вл}} = 2 + b$$

$$2^* = 2 + c$$

$$1 + 2 + 2^* = 5 + d - \text{және т.б.}$$

мұнда a, b, c, d әріптері кір тастарының массасына қосылатын немесе одан алынып тасталатын жүктерді білдіреді. Осы теңдеулер жүйесін шешіп, әр тастың мәнін анықтауға болады.

Үйлесімді өлшеу - екі немесе одан да көп әр аттас шамаларды бір мезгілде өлшеп, олардың арасындағы тәуелділікті табу. Үйлесімді өлшеуге мысал ретінде 20°C температурадағы өткізгіштің кедергісін

және әр түрлі температурада өлшегіш резистордың температуралық коэффициентін бір мезгілде өлшеуді келтіруге болады.

Алынған мәліметтің дәлдігіне байланысты өлшеулер үш класқа бөлінеді:

1. **Ең жоғарғы дәлдікті өлшеулер.** Бұларға эталондық өлшеулер, физикалық тұрақтыларды (әсіресе, универсал тұрақтыларды) өлшеу жатады.
2. **Бақылау - сәйкестеу өлшеулер.** Бұларға өлшеу техникасының жүйелік қателігінің белгілі мөлшерден асып кетпеуін және тағайындалған стандартқа сәйкес келуін қадағалайтын мемлекеттік бақылау лабораториялары жүргізетін өлшеулер жатады.
3. **Техникалық өлшеулер.** Олардың дәлдігі өлшеу құралдарының сипаттамаларымен анықталады. Техникалық өлшеуге ғылыми-зерттеу жұмыстарындағы, өндірістегі т.б. өлшеулер жатады.

Өлшеулер әдісі жалпы түрде *тікелей бағалау және салыстыру әдісі* болып екіге бөлінеді. Салыстыру әдісінің өзі *дифференциалдық әдіс, орын басу әдісі және сәйкес келу әдісі* болып бөлінеді.

Егер өлшенуші шаманы сол шаманың өлшем бірлігімен немесе сол шамаға функциялық қатынаста болатын басқа шамалардың өлшем бірлігімен градуирленген бір немесе бірнеше өлшеу құралдарының көрсетуі бойынша анықтайтын болса, онда мұндай әдісті тікелей бағалау әдісі дейді. Бұл ең көп таралған әдіс. Көптеген өлшеу құралдары осы әдіспен істейді.

Өлшеу әдісінің келесі тобы *салыстыру әдісіне өлшенуші шама мералардың мәнімен салыстыру арқылы табылатын әдістер* жатады.

Шаманы дифференциалды әдіспен өлшегенде өлшенуші X шаманың мәні $\Delta x = X - X_m$ өрнегімен анықталады. Мұнда X_m - мераның көрсету мәні. Демек, $X = X_m + \Delta x$. Дифференциалдық әдіске мысал ретінде екі кернеудің айырымын вольтметрмен анықтауды келтіруге болады. Мұнда кернеудің бірінші мәні жоғары дәлдікпен белгілі кернеу, ал екіншісі - ізделініп отырған кернеудің мәні.

Дифференциалдық әдістің бір түрі *нөлдік әдіс* деп аталады. *Бұл әдістің ерекшелігі - екі шаманың салыстырылу мәні нөлге келтіріледі.* Бұл мән өте дәл өлшеу құралы – ноль - индикатормен бақыланады. Бұл жағдайда өлшенуші шаманың

мәні мераның жаңғыртатын мәніне тең болады. Нольдік әдістің бір артықшылығы оның үлкен дәлдігінде, нөлдік әдіске мысалға бір басына өлшенуші жүкті, ал екінші басына кір тасын салатын теңелу таразысының көмегімен өлшеуді, Уинстон көпірінің көмегімен электрлік кедергіні табуды келтіруге болады. ***Орын басу әдісі бойынша кезекпен ізделінуші шаманы және өлшенуші шамамен біртекті болып келетін мераның шығысындағы сигналды өлшейді.*** Осы өлшеулер мәліметтері бойынша ізделінуші шама есептеліп табылады. Бұл әдіске мысалға шамасы үлкен актив электр кедергіні алма-кезек бақыланушы және үлгілі резисторлар арқылы өтетін токты өлшеуді келтіруге болады.

Сәйкес келу әдісі бойынша өлшенуші шамамен мераның көрсетуінің кейбіреуі шкаладағы белгілердің немесе периодты сигналдардың сәйкес келуі бойынша анықталады. Бұл әдіске мысалға нониусы бар штангенциркульдің немесе микрометрдің көмегімен өлшеуді және дененің айналу жиілігін стробоскоп арқылы табуды айтуға болады.

ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАР ЖӘНЕ ӨЛШЕУ БІРЛІКТЕРІ

Физиканың түбегейлі түсініктерінің бірі—физикалық шамалар. Физиканың барлық теориялары, заңдылықтары, қағидалары физикалық шамалар арасындағы байланыстар, қағидалар, қатынастар екені сөзсіз. Олай болса, әрбір физикалық шама ұғымын қалыптастыру қажет. Сондықтан алдымен сол физикалық шама ұғымын анықтайық. Физика зерттейтін объектілерге қолданылатын түсініктер мен ұғымдар ***физикалық шамалар*** деп аталады. Оларға, мысалы, жол, жылдамдық, үдеу, энергия, қуат, ток күші, кернеу, кедергі, жарқырау, жарықтылық, жарық күші, толқын ұзындығы және тағы басқалар жатады.

Физикалық шамалар деп, физикалық құбылыстарды, материяның қозғалыс пішіндері және қасиеттерін мөлшерлі сипаттайтын шамаларға айтылады.

Әр қандай физикалық шама сан мәні және өлшеу бірлігінің көбейтіндісі арқылы бейнеленеді.

Физикалық шама = сан мәні x өлшеу бірлігі

Мысалы, уақыт = 3 секунд немесе $t = 3$ с, бұл болса уақыт секундының 3 есе үлкен мәніне теңдігін бейнелейді.

Квадрат жақшалар [] ішінде физикалық шама белгісі болса, осы физикалық шаманың өлшеу бірлігін бейнелейді.

Мысалы, $[t] = c$ бұл болса төмендегідей оқылады: «Уақыттың өлшеу бірлігі секунд».

Физикалық шаманың сандық мәні дегеніміз—осы физикалық шаманың мөлшерін көрсететін дербес сан. Нақты алынған физикалық шаманың сандық мәні сол шаманың өзі анықталатын өлшем бірлігіне байланысты. Өлшем бірлігі туралы ұғымды, негізінен, физика ғылымы туғызады десек қателеспейміз. Өлшем бірліктерісіз физикалық шамалардың мән-мағынасы ешқашан толық ашылмайды.

Негізгі шамалар

1. Ұзындық	$[l] = m$	метр
2. Масса	$[m] = кг$	килограмм
3. Уақыт	$[t] = c$	секунд
4. Ток күші	$[I] = A$	Ампер
5. Температура	$[T] = K$	Кельвин
6. Зат мөлшері	$[ν] = моль$	моль
7. Жарық күші	$[I] = кд$	кандела

Қалған шамалар **туынды шамалар** деп аталады.

Туынды шамалар деп, негізгі шамаларды дәрежеге көтеру, көбейтіру немесе бөлулер жәрдемінде жаратылады. Сол үшін туынды (пайда қылынған) шамалар деп аталады.

Скаляр шамалар деп, тек сан мәні мен сипатталатын шамаға айтылады.

Мысалы, t уақыт, T температура, A жұмыс, q заряд, I ток күші, R кедергі.....

Векторлық шамалар деп, сан мәні және бағытымен сипатталатын шамаға айтылады.

Мысалы, v жылдамдық, a үдеу, F күш, E электр кернеулігі, j ток тығыздығы,.....

Енді физикалық шамалардың өлшем бірліктеріне тоқталайық. Жалпы, физикалық шамалардың бірліктерін анықтағанда жиі қолданылатын, ең қажетті деген бірнеше физикалық шамаға арнап өлшемдер тағайындалады. Ал қалған физикалық шамалардың өлшемдерін сол бастапқы өлшем бірліктері арқылы шығарып алуға

болады. Өмір тәжірибесі механикалық құбылыстар үшін физикалық үш шаманың өлшемдерін тағайындау толық жеткілікті болатынын, ал молекулалық, электрлік, оптикалық құбылыстар үшін төрт тәуелсіз шама өлшемдері қажет екенін көрсетті.

Сонымен, физикалық шамалардың өлшем бірлігі деп мөлшері шартты түрде бірге тең біртекті физикалық шамалардың сандық сипаттамасын айтады. Өлшем бірлігін алу үшін бір-біріне тәуелсіз бірнеше физикалық шамалар алынуы тиіс. Әрине, оларды тұтастырудың өз мән-мағынасы бар.

Физикалық шаманың бірлігі – анықтама бойынша бірге тең сан мәні берілген физикалық шама. Бірліктер екі түрге бөлінеді – негізгі және туынды бірліктер.

Өлшемдері бір – біріне тәуелсіз, ерікті түрде тағайындалатын шаманы ***негізгі физикалық шама***, ал олардың өлшем бірліктері ***негізгі бірліктер*** деп аталады.

Өлшемдері физика заңдарымен немесе физикалық шамалардың анықтамаларымен сипатталатын және негізгі өлшемдермен өрнектелетін бірліктерді ***туынды бірліктер*** деп атайды.

Өзара белгілі қатынастармен байланысқан негізгі және туынды бірліктердің жиынтығы ***бірліктер жүйесі*** деп аталады.

Жоғарыда айтылғандарға мысал ретінде өлшем бірлігінің метрлік жүйесін келтіруге болады. Өлшем бірліктерінің метрлік жүйелері деп уақыт, ұзындық және килограмм-масса бірліктері алынған өлшем бірліктерін айтады. Бұл бірлік бойынша аудан мен көлем ұзындықтың туындысы ретінде алынады. Бірақ метрлік жүйелер негізіне санаулы бірліктер (атап айтқанда, ұзындық, масса және уақыт бірліктері) енетін болғандықтан, ал туынды бірліктер санатында аудан мен көлем ғана алынатындықтан, ол өлшем бірліктер жүйесі ретінде өмір, қоғам сұраныстарын толық қанағаттандыра алмады. Сондықтан басқа да физикалық шамалардың өлшем бірліктері жүйелері алына бастаған.

Бірліктердің халықаралық жүйелері. Дамыған елдер арасында сауда-саттық, экономикалық, ғылыми-техникалық байланыстың дамуы өлшем бірліктердің бір жүйеге бағынуын талап ете бастады. Мұндай жүйеде когеренттік және күнделікті өмірде қолдануға ыңғайлылық принциптерінің іске асуы қажет болды. Электрлік және магниттік құбылыстардың адам өмірінде кеңінен қолданылуына байланысты электрлік, магниттік өлшем бірліктердің метрлік бірліктермен сипатталу мүмкіндігін қамтамасыз етуде күн

тәртібіне қойылды. Айта кету керек, бұл проблема күні бүгінге дейін толық шешімін таппай келе жатқан мәселе. Көптеген елдерде тарихи себептерге байланысты өздерінде ғана қолданылатын бірліктер қалыптасқан. Мәселен, Англия, Франция, Италия, АҚШ тағы басқа мемлекеттерде қазірдің өзінде тағайындалған өлшем бірліктердің халықаралық жүйесіне көңіге алмай келеді. Ұзындықты фут, ярд, температураны фаренгейт, көлемді пинта, галлон, баррелльмен өлшеу осы елдерде кеңінен таралған.

Қандайда бір бірліктер жүйесі болмасын халықаралық деңгейде қолданылмайды. Тіпті механикадағы ең жетілген бірліктер жүйесі-МКС жүйесінің өзі кең көлемде пайдалануға жарамады. Себебі, механика мен қолданбалы механика ғылымдарының мұқтаждығын кәдімгідей өтеп келген МКС жүйесі электрлік бірліктермен сәйкестендірілмегендіктен, әмбебап жүйенің рөлін атқара алмады.

Тарихи, алғаш физикалық шамалардың бірліктер жүйесі - 1791 жыл Францияның Ұлттық жиналысында қабылданған өлшемдердің метрлік жүйесі болып табылады. Онда ұзындықтың, ауданның, көлемнің, сыйымдылықтың (механикалық) және салмақтың ғана өлшем бірліктері бекітілді. Ал олардың негізгі бірліктері ретінде метр мен килограмм тағайындалды. 1800 ж. К. Гаусс негізгі және туынды бірліктердің жиынынан құралатын өлшем бірліктер жүйесін жасаудың әдістемесін ұсынды. Гаусс ұсынған бірліктер жүйесінің негізінде өзара тәуелсіз, еркін түрде тағайындалған үш шаманың бірліктері қабылданды. Олар - ұзындықтың бірлігі - *миллиметр*, массаның бірлігі - *килограмм*, уақыттың өлшем бірлігі – *секунд* деп тағайындалды. Бұл жүйені Гаусс *абсолют жүйе* деп атады. Ғылым мен техниканың даму барысына сай Гаусс ұсынған жүйеге негізделген бірнеше физикалық шамалардың өлшем бірліктер жүйесі пайда болды. Олардың барлығы да өлшемдердің метрлік жүйесіне сүйенгенімен негізгі бірліктердің ыңғайлы жүйесін бере алмады.

Айта кету керек, бірліктері аталған Халықаралық жүйенің де өзіне тән кемшіліктері бар. Мысалы, үш түрлі күштің үш түрлі бірлікпен - механикалық күш - ньютон, электр тогының күші - ампер, жарық күшінің - канделамен өлшенуі.

Негізгі бірліктердің Халықаралық жүйесіне қосымша екі бірлік енеді. Олар - жазық және денелік бұрыштардың бірліктері - радиан және стерadian. Бұл бірліктердің қосымша бірліктер деп аталу себебі оларды негізгі бірліктер қатарына жатқызуға болмайды, өйткені бұрышпен қозғалуды сипаттайтын шамалардың өлшемділіктерін

сипаттауда қиындықтар туындайды. Сонымен бірге, оларды туынды бірліктер қатарына жатқызуға да болмайды, өйткені, негізгі бірліктерден құралмайды. Жазық бұрыштың өлшем бірлігі - радиан (рад), доғасының ұзындығы радиуске тең екі радиустің арасындағы бұрышқа тең шама. $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'48,8''$.

Денелік бұрыштың бірлігі - стерadian (ср) - төбесі сфераның центрінде орналасқан, сфера бетінде ауданы қабырғасы сфера радиусына тең квадраттың ауданына тең аудан кесетін денелік бұрышқа тең шама.

Денелік бұрыш пен жазық бұрыштың арасында мынадай

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right),$$

қатынас бар:

мұнда, Ω - денелік бұрыш, α - сфера ішінде берілген денелік бұрыштың жасаған конустың төбесіндегі жазық бұрыш. 1 ср денелік бұрышқа $65^{\circ}32'$ -қа тең жазық бұрыш сәйкес келеді, $\pi \text{ ср}$ бұрышқа 120° -қа тең жазық бұрыш, ал $2\pi \text{ ср}$ денелік бұрышқа 180° жазық бұрыш сәйкес келеді.

Халықаралық жүйенің қосымша бірліктері бұрыштық жылдамдық, бұрыштық үдеу секілді шамаларды сипаттауға қолданылады. Радианмен стерadian теориялық есептерде кеңінен қолданылғанымен тәжірибеде сирек кездеседі. Мысалы, стерadian көбінесе жарық техникасында ғана пайдаланылады. Практикада бұрыштарды радианмен сипаттау қажет болған жағдайда трансценденттік сандар ($-\pi, 2\pi$ т.б.) қолданылады. Қолдануға ыңғайлы болғандықтан бұрыш өлшегіш саймандардың барлығы дерлік бұрыштық градуспен, минутпен, секундпен градуирленген.

1954 жылы өлшемдер мен таразылардың X Бас конференциясында негізгі өлшем бірліктері тағайындалды. Олар - метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин градусы және свеча.

1960 жылы өлшемдер мен таразылардың XI Бас конференциясы жоғарыда аталған алты негізгі бірліктерге негізделген жүйені Халықаралық жүйе, қысқаша СИ -[SI] (французша – Systeme International атауының бас әріптері) деп атады. Негізгі алты, қосымша екі бірліктер (жазық бұрыштың өлшем бірлігі-радиан және денелік бұрыштың бірлігі-стерadian), алғашқы жиырма жеті туынды бірліктердің тізімі, оған қоса еселік және үлестік бірліктерді жасаушы приставкалар бекітілді. Бірліктердің Халықаралық жүйесі іргелі физикамен қолданбалы физиканың Халықаралық одағында, Халықаралық электротехникалық

комиссияда тағы да басқа халықаралық ұйымдарда қабылданды. ЮНЕСКО өзінің барлық мүшелерін бірліктердің Халықаралық жүйесін ұстануға міндеттеді. Біздің елімізде (ол кезде ССРО) бірліктердің Халықаралық жүйесі 1961 жылдан бастап енгізілді. Бірліктердің Халықаралық жүйесінің мынадай артықшылықтары бар:

1. **Әмбебаптығы** - ғылым мен техниканың, өндірістің барлық аумақтарын қамтиды.
2. **Бірліктердің унификациялануы.** Мысалы, бұрын қолданылып келген қысымның бірнеше бірліктерінің (атм, ат, мм.сын.бағ., мм.су.бағ., бар, т.б.) орнына Халықаралық жүйеде жалғыз паскаль ғана, ал жұмыстың және энергияның (оның ішінде жылу энергиясының) бұрынғы бірліктерінің (кгс*м, эрг, кал, ккал, эв, кВт-сағ т.б) орнына тек бір ғана джоуль (Дж) қолданылатын болды.
3. **Қолдануға ыңғайлылығы.**
4. **Когеренттілігі.** Туынды шамалардың бірліктерін анықтайтын физикалық тендеулердегі пропорционалдық коэффициенттің өлшемсіз бірге тең болуы.
5. **Массаның өлшем бірлігі (килограмм) мен күштің өлшем бірлігінің (ньютон) айырмашылығының айқындалуы.**
6. **Теңдеу мен формулаларды жазудың жеңілдеуі.**
7. **Оқу процесінде физиканы оқытудың жеңілдеуі.**
8. **Әр түрлі елдер арасында ғылыми-техникалық және экономикалық байланыстар кезінде өзара түсіністіктің жақсаруы.**

1971 жылы өлшемдер мен таразылардың XIV Бас конференциясы бірліктердің Халықаралық жүйесінің жетінші негізгі бірлігі - зат мөлшерінің бірлігі - мольді қабылдады.

Халықаралық бірліктер жүйесінің (ХЖ) негізгі бірліктері

1- кесте

Физикалық шаманың бірлігі	Атауы	Бірліктің белгіленуі	Анықтамасы
Ұзындық	метр	м	Метр - жазық электромагниттік толқынның вакуумде секундтың 1/299792458 үлесіндей уақытта өтетін қашықтығына тең болады

Масса	Килограмм	кг	Килограмм – халықаралық килограмм эталонының массасына тең болады.
Уақыт	секунд	с	Секунд – цезий – 133 атомының негізгі күйінің екі әсеріне нәзік деңгейлерінің арасындағы өтуге сәйкес келетін сәулеленудің 9 192 631 770 периодтарына тең болады
Электр тогының күші	ампер	А	Ампер – ұзындығы шексіз, көлденең қимасының ауданы ескерімсіз аз, вакуумде бір – бірінен бір метр қашықтықта орналасқан екі параллель бір қалыпты өткізгіштермен өткен кезде әрбір өткізгіштің ұзындығы бір метр әрбір учаскесінде $2 \cdot 10^{-7}$ ньютон өзара әрекеттесу күшін тудыратын өзгермейтін токтың күшіне тең
Термодинамикалық температура	Кельвин	К	Кельвин - судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасының 1/273,16 бөлігіне тең
Зат мөлшері	моль	моль	Моль – массасы 0,012 кг көміртегі-12-де қанша атом болатын болса, сонша құрылымдық элементтерден тұратын жүйенің зат мөлшеріне тең болады.
Жарық күші	кандела	кд	Кандела – жарығының энергетикалық күші берілген бағытта стеридианға 1/683 ватт болатын жиілігі $540 \cdot 10^{12}$ Гц монохроматтық сәуле шығаратын көздің осы бағыттағы жарық күші

Қосымша бірліктер

Жазық бұрыш	Радиан	рад	Радиан – шеңбердің арасындағы доғасының ұзындығы радиусқа тең болатын екі радиусының арасындағы бұрышқа тең
Денелік бұрыш	Стередиан	ср	Стередиан – төбесі сфераның центрінде орналасқан, сфераның бетінен қабырғасы сфераның радиусына тең болатын квадраттың ауданын кесіп алатын денелік бұрышқа тең болады.

Халықаралық жүйенің туынды бірліктері физикалық шамалар арасындағы тәуелділікті тағайындайтын заңдар негізінде немесе шаманың анықтамасының негізінде қорытылып шығарылады.

Жүйесіз бірліктер. Көптеген ғалымдардың орасан зор еңбектерінің нәтижесінде физикалық шамалар бірліктерінің бірсыпыра жүйелері жасалынып, сол бірліктерді кезкелген жүйеде сипаттауға мүмкіндік бола тұра әлі күнге ешқандай жүйеге жатпайтын бірліктер адамзат тіршілігінің түрлі аумақтарында қолданылып келеді. Мұндай бірліктердің көбісі өзінің қолдануға ыңғайлылығымен ұтымды, мысалы, атмосфера, сағат, литр т.б. ал енді біреулері тарихи дәстүрлердің күшімен өміршең, мысалы, дюйм, пұт, шақырым т.б.

Өлшемділікті талдау. Тәжірибе нәтижелерін тіркегенде және есептеу барысында алынған мәліметті жазғанда физикалық шамалардың өлшем бірліктері қоса жазылады. Кезкелген тендіктің оң жағы мен сол жағының өлшемділіктері бірдей болуы тиіс. Өлшемділіктерді талдау әдісі физикалық шамалардың дұрыстығын анықтағанда, физикалық ұқсастық теориясында кеңінен қолданылады. Физикалық шамалар арасындағы заңдылық қатынасын өлшемділікті талдаудың негізгі теоремасының көмегімен тағайындайды.

Өлшеу бірліктері кез келген ретте таңдап алынуы мүмкін. Ежелде олар практикалық характердегі пікірлерге байланыстырып таңдалған: мысалы, ежелгі орыс ұзындық бірлігі «локот» (тірсек) немесе ағылшынша «фут» (ағылшын тілінде foot - пай) сияқты өлшеу бірліктері адам денесінің өлшемдерімен байланысты.

XVIII ғасырда француз ғалымдары өлшеу бірліктерін уақыт өтуімен тұрақты және жоғалмайтын объекттерге байланыстырып, олардың «абсолют» жүйесін жаратуға ұрынып көрді, мысалы, ұзындық бірлігі үшін меридиан ұзындығының $1/40\ 000\ 000$ бөлігін алуға қаулы қабылданды. Бірақ, дәл осындай ұзындықтағы сызғышты қатесіз жасау еш мүмкін емес. Басқа «абсолют» бірліктерді белгілеуде де осыған ұқсас қиыншылықтарға ұшырады. Сол үшін өткен ғасырдың соңынан бастап бірліктер үлгі (эталон) денелер жәрдемінде белгіленетін болды, сондай – ақ, ұзындық бірлігі метр жәнеде өлшеу және таразылардың халықаралық бюросында сақталатын иридийлы платинадан жасалған сызғыш үстіндегі екі сызықша арасындағы қашықтық ретінде анықталады, бірақ қазіргі уақытта белгілі мағынада «аралас» жүйе істетіледі, бұл жүйеде бірліктердің бір бөлігі эталон денелер жәрдемінде анықталады, екінші бөлігі болса, қайта пайда ету мүмкін болған белгілі физикалық құбылыстар жәрдемінде анықталады. Мысалы, 1960

жылы Халықаралық конференцияда қабылданған халықаралық бірліктер жүйесі (қысқартылған белгісі ХБ) ұзындық бірлігі (м) үшін сондай бірлік қабылданған, оған криптон 86 изотопының Kr^{86} болмыста жаратылған спектріндегі сары сызық толқын ұзындығынан 1650763,73 і орналасады

$$1\text{ м} = 1650763,73 \lambda (Kr^{86})$$

Осы тәрізді анықталған метр эталон сызғыштағы екі сызық арасындағы қашықтыққа тура келетін көне метрге өте жақын. Бірақ көне метрге қарағанда оның артықшылығы сонда, мұның жоғалуы және бұзылуы мүмкін емес, ол уақыт өтуімен өзгермейді, эталон таяқшаның ұзындығы, ол жасалған материалдың «көнеруі» нәтижесінде өзгеруі мүмкін, бірер ұзындықты криптонның – 86 изотопы спектріндегі тоқ сары сызықтың толқын ұзындығы мен барлық уақыт қайта – қайта салыстырып көру мүмкін.

Өте көп сандағы метрлер немесе метрдің өте кіші бөліктерімен өлшенетін ұзындықтарды өлшеу үшін, ұзындық бірлігі – метрден бөлшектер жүйесі жәрдемінде жаратылған бірліктер істетіледі.

$$1\text{ км} = 1000\text{ м}, 1\text{ см} = \frac{1}{100}\text{ м}, 1\text{ мм} = \frac{1}{1000}\text{ м},$$

$$1\text{ мк (микрон)} = \frac{1}{1000}\text{ мм және басқалар.}$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде *масса бірлігі* үшін иридийлі платинадан жасалған өлшеу және таразылардың Халықара бюросында сақталатын дененің *килограмм* деп аталатын массасы қабылданған. Килограммның массасы (кг) 1000 см³ таза судың 4 °С дегі массасына өте жақын келеді. Килограммнан кіші және үлкен болған бірліктер бұл күйде да ондық жүйе жәрдемінде белгіленеді.

$$1\text{ тонна} = 1000\text{ кг}, 1\text{ грамм} = \frac{1}{1000}\text{ кг және тағы басқалар.}$$

Уақыт бірлігі үшін 1900 жыл 1 январдағы тропик жылдың $\frac{1}{31556925,9747}$ бөлігіне тең уақыт қабылданған. Тропик жыл деп

Күннің эклиптика бойынша жасайтын көрінбе қозғалысында көктемгі тең күндік нүктесі арқылы тізбектей екі есе өтуі арасындағы уақытқа айтылады, сонымен уақыт бірлігі Жердің Күн айналасында айналып шығу уақытымен байланысты. Уақыттың бұл бірлігі *секунд* деп аталады.

Әр қандай басқа физикалық шама үшін де өзінің, жалпы айтқанда, кез келген таңдап алынған өлшем бірлігін белгілеу мүмкін. Мысалы, аудан бірлігі үшін алдын таңдап алынған ұзындық бірлігіне

байланыстырмай қандайда бір дененің ауданын алу мүмкін еді, бірақ бірліктерді мұндай тандап алу өте қолайсыз болатын еді. Сол үшін, мысалы, аудан бірлігі етіп, жақтарының ұзындығы ұзындық бірлігіне тең болған квадраттың ауданы қабылданады. Басқа физикалық шамалар мен өлшеу бірлігі алдын тандап алынған басқа шамалар арасындағы анық заңдылықтарға негізделеді.

Әр түрлі бірліктер жүйелері бір – бірінен қайсы бірлік жүйесіне негізделініп алынғанымен айырмашылық етеді. ГОСТ 9867-61 жағынан пәннің барлық салаларында, техникада және ауыл шаруашылығында, дәл осындай оқытуда ең қолай жүйе деп бекітілген бірліктердің халықаралық жүйесінен пайдаланамыз. Халықаралық жүйе өлшеудің әр түрлі салалары үшін мөлшерленген бір қанша тәуелсіз бірліктер жүйелеріне бөлінеді:

2-кесте

Бірліктердің Халықаралық жүйесі ГОСТ 9867- 61					
Механикалық бірліктер жүйесі ГОСТ 7664-61	Жылулық бірліктері жүйесі ГОСТ 8550-61	Электр және магнит бірліктері жүйесі ГОСТ 8033-56	Акустикалық бірліктер жүйесі ГОСТ 8849-58	Жарық бірліктері жүйесі ГОСТ 7932-56	Радиоактивтік және иондастырушы сәулелену бірліктері жүйесі ГОСТ 8848-63

СИ жүйеде негізгі механикалық бірліктер етіп метр (м), килограмм – масса (кг) және секунд (сек) тер алынған болып, оған қосымша өлшеудің әр түрлі салалары үшін төмендегі: жылулық үшін – Кельвин градусы, электр үшін – ампер және жарық үшін – свечадан тұратын бірліктер енгізілген.

Төмендегі кестеде бірліктердің Халықаралық жүйесінде қолданылатын еселік және үлестік көбейткіштер берілген (ГОСТ 7663 – 55ке қара)

3- кесте

Көбейткіш	приставка	приставканың белгісі	
		халықаралық	орысша
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	экса	E	Э
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	пета	P	П
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	тера	T	Т
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	гига	G	Г
$1\ 000\ 000 = 10^6$	мега	M	М
$1\ 000 = 10^3$	кило	k	к
$1\ 00 = 10^2$	гекто	g	Г
$1\ 0 = 10^1$	дека	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	d	Д
$0,01 = 10^{-2}$	санти	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	m	М
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	микро	μ	МК
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	нано	n	Н
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	пико	p	П
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	фемто	f	Ф
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	атто	a	а

Әр бір өлшеу бірлігі алдына бір көбейткіштен артық қойылуы мүмкін емес.

Жоғарыда айтылғанындай, СИ жүйесінің негізгі бірліктерінен оның туынды бірліктерін алу мүмкін. Берілген туынды бірліктерді негізгі бірліктермен байланысын бейнелеу үшін өлшемділік формулалары қолданылады.

Егер негізгі шамалардың өлшемділіктерін шартты ретте төмендегіше: ұзындықты – L, массаны – M, уақытты – T, ток күшін – I, температураны - θ және жарық күшін – J мен белгілесек, бірер x шаманың СИ жүйесіндегі өлшемділік формуласын төмендегідей жазу мүмкін:

$$[x] = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\sigma} \theta^{\rho} J^{\mu}$$

Физикалық шама x тың өлшемділігін табу үшін $\alpha, \beta, \gamma, \sigma, \rho, \mu$ дәреже көрсеткіштерінің сан мәндерін анықтау қажет. Бұл дәреже

көрсеткіштер оң немесе теріс, бүтін немесе бөлшек сандар болуы мүмкін.

1- мысал. Жұмыстың өлшемділігі табылсын. $A=F \cdot l$ қатынасқа негізделіп

$$[A] = L^2 M T^{-2} \text{ болады.}$$

2- мысал. Меншікті жылулық сыйымдылығының өлшемділігі табылсын. $c = \frac{Q}{m \Delta t}$ болып, $[Q]=[A]$ болғандығы үшін $[c] = L^2 T^{-2} \theta^{-1}$ болады.

Қандайда физикалық шаманың СИ жүйесіндегі өлшемділігін білген күйде, оның өлшеу бірлігін бұл жүйеде табу қиын емес. Мысалы, жұмыстың өлшеу бірлігі $\text{м}^2 \text{кгсек}^{-2}$ ге, меншікті жылулық сыйымдылығының өлшеу бірлігі болса $\text{м}^2 \text{сек}^{-2} \text{град}^{-1}$ ге тең болуы керек.

Бірліктердің Халықаралық жүйесінің негізгі бөліктерінің бірі, механикалық шамаларды өлшеу үшін мөлшерленген (**ГОСТ 7664 – 61**) **МКС жүйесі** болып есептелінеді. МКС жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг)ға секунд (секунд) дан тұрады.

Жоғарыда айтылғанындай, физикалық шамалардың байланысына негізделген күйде, бұл жүйенің негізгі бірліктерінен оның туынды бірліктері шығарылады. Мысалы, жылдамдықтың бірлігі төмендегі қатынастан анықталынады:

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

Ұзындық бірлігі – метр, уақыт бірлігі – секунд болғандығы үшін, МКС жүйесінде жылдамдықтың бірлігі 1 м/сек болады. Дәл осындай, үдеудің бірлігі 1 м/сек^2 болады.

Күштің бірлігін анықтайық. Ньютонның екінші заңына негізделіп

$$F = m a$$

Массаның бірлігі үшін **1 кг**, үдеудің бірлігі үшін 1 м/сек^2 қабылданған, МКС жүйесінде күштің бірлігі етіп, 1 кг массаға 1 м/сек^2 үдеу бере алатын күшті алуымыз керек. Күштің мұндай бірлігіне ньютон (н) делінеді:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2$$

Дененің ауырлығы және массасының өзара байланысына тоқталып өтеміз. Дененің P ауырлығы деп, оның Жерге тартылыс күшіне, яғни денеге $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ үдеу бере алатын күшке айтылады, сонымен,

$$P = mg$$

МКС жүйесінде дененің ауырлығы әр қандай күш сияқты ньютондарда өлшенеді. Кейбір күйде дененің ауырлығы килограммдарда өлшенеді. Күштің бұл бірлігі (килограмм) МКС жүйедегі бірлігі еместігін *әрдайым есте сақтау қажет*.

Бұл *техникалық жүйедегі бірлігі* болып есептеледі. Бұл жүйеде негізгі бірліктер үшін ұзындық бірлігі (1м), уақыт бірлігі (1сек) және күш бірлігі қабылданған. Күш бірлігі етіп, 45⁰ географиялық кеңдікте теңіз деңгейі биіктігінде 1 кг массалы денеге әсер ететін Жер тартылыс күшіне тең күш алынған. *Бұл бірлік килограмм – күш делінеді*. Сонымен, бірліктердің техникалық жүйесінде негізгі бірліктер төмендегіше қабылданған:

Ұзындық бірлігі – 1 метр (1м),

Күш бірлігі - 1 килограмм – күш (1кГ),

Уақыт бірлігі - 1 секунд (1 сек).

Бір – біріне ұқсамайтын әр түрлі болған физикалық шамалар – масса және ауырлықтың, бұл екі бірліктерін адастырмау үшін оларды қысқаша белгілейміз: *1 килограмм масса бірлігін кг мен, ауырлық (күш) тың 1 килограмм бірлігін болса кГ деп белгілейміз*. Килограмм – ауырлық және ньютон арасындағы қатынасты табамыз. 1кГ ауырлық деп, массасы 1 кг ға тең болған дененің ауырлығына айтылады, яғни

$$1 \text{ кГ} = 1 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/сек}^2$$

Екінші жағынан

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2$$

болғандығы үшін

$$1 \text{ кГ} = 9,81 \text{ Н}.$$

Ауырлықтың килограмм сипаттамасынан, дене ауырлығының килограмм (кг) дарда бейнеленген сан мәні осы дене массасының килограмм (кг) дарда бейнеленген сан мәндеріне теңдігі келіп шығады. Мысалы, егер дененің массасы 2 кг болса, оның ауырлығы 2 кГ ға тең. Бұдан кейін дененің килограммдарда алынған ауырлығын ньютондарда бейнелеу керек.

МТС жүйесі - механикалық шамаларды өлшеу үшін жұмсалған бірліктер жүйесі. Ол 1927 жыл Францияда қабылданған және кейінірек Россия мемлекетінде қолданылған. Бұл жүйенің бірліктері метр (м), тонна (Т), секунд (с).

Халықаралық бірліктер жүйесінің (СИ) негізгі бөліктерінің бірі (**ГОСТ 8550- 61**) **МКСГ** жүйесі жылулық шамаларды өлшеу үшін

мөлшерленген. **МКСГ** жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг), секунд (сек), градус (град) дан тұрады.

Шамалардың мольдерде бейнеленген бірліктерін пайда ету үшін меншікті бірліктердегі граммды **грамм – моль (моль)** мен және килограммды **киломоль (кмоль)** мен алмастырылады, мұнда киломоль үшін массасы молекулалық ауырлығына тең болған, килограммдарда бейнеленген заттың мөлшері қабылданған.

Халықаралық бірліктер жүйесінің (СИ) негізгі бөліктерінің бірі **(ГОСТ 8033- 56) МКСА жүйесі** электр және магнит шамаларды өлшеу үшін мөлшерленген. Бұл жүйе 1901 жылы итальян ғалымы Жоржи ұсынысы негізінде қабылданған. Сол үшін де бұл жүйе кейде Жоржи жүйесі деп аталады. **МКСА** жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг), секунд (сек) және ампер (А) ден тұрады. **МКСА** жүйесінің туынды бірліктері физикалық шамалар арасындағы байланысты көрсететін заңға негізделіп келіп шығады. Мысалы, электр мөлшерінің бірлігі кулон (Кл), ток күші 1А болғанда өткізгіштің көлденең қимасынан **1 сек** та өтіп жатқан электр мөлшері $q=I t$ теңдеуден анықталынады, яғни $1\text{Кл} = 1\text{А} \cdot 1\text{сек}$. Потенциалдар айырмасының бірлігі – вольт (В), $P =U I$ теңдеуден анықталады, бұл жерде P – токтың қуаты. Бұдан $1\text{В} = \frac{1\text{Вм}}{1\text{А}}$. Дәл осы жолмен қалған туынды шамалардың бірліктерін МКСА жүйеден табу мүмкін.

МКСА бірліктер жүйесінің қолданылуы формулалардың рационализация қылынуы (қарапайымдастырылуы) мен байланысты. Электр және магнит құбылыстары теориясына тиісті болған көпшілік теңдеулерде 4π санды көбейтуші кіреді (мысалы, Гаусс теоремасы, жазық конденсатор сыйымдылығы, соленоид ішіндегі магнит өрісі кернеулігі және тағы басқалар). Теңдеулердің рационализация қылынуы электротехника және радиотехникада өте көп қолданылатын формулаларда бұл көбейтіндіні енгізбеуді мақсат етіп қояды; осымен бірге, 4π көбейтуші басқа, кем қолданылатын, оның қатынасуы геометриялық пікірлермен түсіндірілуі мүмкін болған формулаларға кіреді.

ГОСТ халықаралық жүйедегі электр және магнит бірліктерін электромагнит өріс теңдеулерінің рационализация қылынған пішіні үшін белгіледі.

ГОСТ 8033 – 56 да, **МКСА** жүйесінен басқа, электр және магнит өлшеулері үшін **СГС** жүйесі (1832 жылы неміс ғалымы К.Гаусс ұсынысы мен қабылданған. *Сол үшін бұл жүйені Гаусс*

жүйесі деп атайды. Сол үшін мәселе шартында берілген сан мәндер әрдайым МКСА жүйеде берілмейді. Бірақ, жалғыз жүйені қолдаумен байланысты болған артықшылықтарын есепке алып, мәселелер тек МКСА жүйесіндегі бірліктерде шешіледі. Бұл үшін мәселелер шартында берілген сан мәндерін МКСА жүйедегі бірліктерге айналдыру қажет.

Гаусс жүйесі СГСЭ және СГСМ жүйелерінен құралады. СГС жүйесіндегі негізгі бірліктер: сантиметр ($1\text{ см} = 10^{-2}\text{ м}$), грамм ($1\text{ г} = 10^{-3}\text{ кг}$), секунд (с). Электрлік бірліктер үшін СГС жүйелерінде айырмашылық бар. Мұның себебі, СГСЭ жүйесінде төртінші негізгі бірлік ретінде $\varepsilon_0 = 1$ электрлік тұрақты, ал СГСМ жүйесінде $\mu_0 = 1$ магниттік тұрақты алынған.

Гаусс жүйесінде (СГС) негізгі бірліктер грамм, сантиметр, секунд, $\varepsilon_0 = 1$, $\mu_0 = 1$; СГС жүйесінде электрлік шамалар (заряд, электр өрісінің кернеулігі, кернеу, ток күші, полярланғыштық, электр сыйымдылық) СГСЭ жүйесіндегідей өрнектеледі, магниттік шамалар (магнит индукциясы, магнит индукциясының ағыны, магнит моменті, индуктивтік және тағы басқалар) СГСМ жүйесіндегідей өрнектеледі.

Ортаның салыстырмалы диэлектрик өтімділігі $\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0}$ ды енгіземіз, мұнда ε' - ортаның абсолют диэлектрик өтімділігі болып, оның сан мәні ортаның қасиетіне және бірліктер жүйесінің таңдалуына байланысты; ε_0 - вакуумның диэлектрик өтімділігі. ε_0 шаманы электр тұрақтылық делініп, оның сан мәні тек өлшеу бірліктер жүйесінің таңдап алынуына байланысты. Ол күйде барлық теңдеулерде ε' орнына сан жағынан оған тең болған $\varepsilon_0 \varepsilon$ шаманы алуымыз мүмкін, мұнда ε_0 электр тұрақтысы және ε - ортаның вакуумға салыстырмалы диэлектрик өтімділік мәні, яғни диэлектрик өтімділіктің кестедегі әдеттегі мәні. СГС жүйесінде $\varepsilon_0 = 1$ және $\varepsilon' = \varepsilon$. МКСА жүйесінде $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \cdot 10^7 \frac{\Phi}{\text{м}} = 8,85 * 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ ($c \approx 3 * 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$)

Дәл осыған ұқсаған ортаның абсолют магнит өтімділігі μ' орнына сан жағынан оған тең болған $\mu_0 \mu$ шаманы аламыз, мұнда μ_0 - магнит тұрақтысы және μ - ортаның вакуумға салыстырмалы магнит өтімділігінің мәні, яғни магнит өтімділіктің әдеттегі кестедегі мәні. СГС жүйесінде $\mu_0 = 1$ және $\mu' = \mu$

МКСА жүйесінде

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{м} = 12,57 * 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{м}$$

Акустикалық өлшеулер саласында СИдың МКС жүйесі қолданылады.

Төмендегі кестеде ГОСТ 7932 – 56 ге сай бірліктердің Халықаралық жүйесінде жарық өлшеулері үшін мөлшерленген негізгі бірліктері келтірілген.

4-кесте

Шама және оның белгіленуі	Өлшеу бірлігі	Бірліктің қысқаша белгіленуі	Өлшемділігі
Ұзындық l	метр	м	L
Уақыт t	секунд	сек	T
Жарық күші I	кандела	кандела	I

Бұл жүйеде жарық ағыны бірлігі үшін люмен (лм) – жарық күші 1 кандела болған нүктелік көздің 1 стерадиан денелік бұрыш ішінде бір қалыпты сәулеленіп жатқан жарық ағыны қабылданған. Сонымен **1лм = 1кд • 1 ср**

Жарықталыну люкспен өлшенеді. 1люкс – 1 квадрат метрге бір қалыпты бөлінген 1 люмен жарық ағыны түсіп тұрған беттің жарықталынғандығы. Сонымен $1лк = \frac{1лм}{м^2}$

Жарық көзінің сәулеленгіштігі люмен бөлінген квадрат метрмен өлшенеді. $\frac{1лм}{м^2}$ - 1 м² ауданды сәулелентіріп жатқан 1 лм жарық ағынына сай келетін жарықталыну болып есептелінеді.

Жарықтылық бірлігі нит (нт) – бір қалыпты жарықтандырылып жатқан жазық беттің жарықтылығы болып, бір квадрат метр бетке тік бағыттағы түскен бір кандела жарық күшіне тура келеді. Сонымен,

$$1 нт = 1 \frac{кд}{м^2}$$

ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ

Табиғат құбылыстарын күзету, олардың қасиеттері сипатталатын шамаларды анықтау, олар жайлы информацияларды қайта істеу және түрлі қашықтықтарға ұзату, түрлі кезеңдерді басқару, және де қолдауда істетілетін қондырғылар аспаптар деп аталады.

Аспаптарды олардың қолдануларына орай төмендегі сыныптарға ажырату мүмкін:

1. Табиғат және техникада күзетілетін түрлі құбылыстар жайлы мәлімет алуға көмектесетін аспаптар, яғни күзету және өлшеу аспаптары (күзету трубасы, термометр, вольтметр сияқтылар).
2. Эталон және өлшегіштер (сызғыш, таразы тастары және басқалар).
3. Информацияларды қайта өңдеу және оларды ұзату аспаптары (байланыс құралдары, датчиктер, күшейтіргіштер, дифференциал және интеграл схемалар, операцияон күшейтіргіштер, түрлі ЭЕМ лар).
4. Энергия түрлерін өзгертуші және ұзатушы аспаптар (түрлі ток көздері, трансформаторлар, генераторлар және т.б.).
5. Бірер объектке әсер етуші аспаптар (насос, жарытқыш және басқалар).

Метрологияда өлшеу құралы деп нормаланған метрологиялық сипаттамаларға ие, белгілі уақыт аралығында (берілген қателіктер деңгейінде) өлшемі өзгермейтін физикалық шаманы жаңғыртатын немесе сақтайтын техникалық құрылғыны айтады.

Өлшеу құралдары ғылым мен техниканың барлық саласында, өндірісте, зауыттар мен фабрикаларда, тіпті, қарапайым тұрмыста кеңінен қолданылады. Ұзындықты өлшеуге кәдімгі мектеп оқушыларының сызғышынан бастап, одан күрделірек, штангенциркуль, микрометрлер пайдаланылады. Кейде адамның дене мүшелерінің өзі өлшеу құралы болып кетеді. Мысалы

саусақтың ені -бір елі, бас бармақ пен ортаңғы саусақтың арасы бір қарыс т.б.

Функциялдық қызметі жағынан өлшеу құралдарын екі топқа бөледі.

1. **Берілген өлшемді жаңғыртушы өлшеу құралдары.** Мысалы,кір тасы - берілген массаны, кедергілер магазині- кедергінің әр түрлі диапазондағы мәндерін жаңғыртады.
2. **Өлшенуші шаманың мәні туралы мәлімет беретін өлшеу құралдары.** Мысалы, стрелкалы немесе цифрлы өлшеу құралдары.

Ғылым мен техниканың әр түрлі салаларында қолданылатын өлшеу құралдары орасан көп және сан-алуан. Оларды қасиеттеріне байланысты түрлі топқа бөлуге болады.

Өлшенуші шаманың физикалық сипатына байланысты өлшеу құралдарын механикалық шамаларды өлшеуші, жылулық шамаларды өлшеуші, магнитэлектрлік шамаларды өлшеуші т.б. құралдар деп топтастырады. Өлшеу құралдарының мұндай классификациясы шартты түрде алынғандықтан, оған тоқталмауға болады. Өлшеу құралдары олардың жұмыс істеу принципіне қатысты былай бөлінеді:

- **мералар;**
- **өлшеу түрлендіргіштері;**
- **өлшегіш приборлар;**
- **компораторлар.**

Мера деп шаманың берілген мәнін қажетті дәлдікпен жаңғыртатын өлшеу құралын айтады. Мералар **бір мәнді және көп мәнді** болып бөлінеді. **Егер мера физикалық шаманың бір ғана мәнін жаңғыртса, онда ол бір мәнді деп аталады.** Бір мәнді мераларға мысалға 1кг кір тасы, қалыпты элемент, сыйымдылығы айнымалы конденсатор т.б. жатады. Бір мәнді мераларға, сондай-ақ **стандарттық үлгілер** мен **үлгілік заттар** жатады. **Егер мера физикалық шаманың бірнеше өлшемін жаңғыртса, онда ол көп мәнді деп аталады.** Көп мәнді мераға мералар жиыны, мералар магазині т.б. жатады. Аттестациялық қателігіне байланысты мералар **разрядтарға** бөлінеді. Разряд берілген мералар өлшеу құралдарын тексеріп салыстыруға қолданылады, олар **үлгілік мералар** деп аталады. Дәлдік класы

берілген мералар **жұмыс мералары** болып табылады, олар техникалық өлшеулер үшін қолданылады.

Өлшеу түрлендіргіштері. 16263-70 ГОСТ бойынша өлшеу түрлендіргіштерінің анықтамасы былай беріледі. **Өлшеу түрлендіргіші деп беруге, әрі қарай түрлендіруге, өңдеуге және сақтауға ыңғайлы, бірақ бақылаушыға тікелей білінбейтін пішіндегі өлшеу мәліметін шығаратын өлшеу құралдарын айтады.** Түрленуші шама - **кіретін шама**, алынған мәлімет **шығатын шама** деп аталады. Бұл екі шаманың қатынасы **түрлендіру функциясымен** сипатталады. Егер түрлендіру нәтижесінде физикалық шаманың табиғаты өзгермесе, ал түрлендіру функциясы сызықты болса, онда түрлендіргіш **масштабты түрлендіргіш немесе күшейткіш** деп аталады. Өлшегіш приборларға бақылаушыға қабылдауға ыңғайлы пішіндегі физикалық шамаларды тіркейтін өлшеу құралдары жатады. Өлшегіш приборлардың ең көп тараған түрі **тікелей әсер етуші приборлар**. Оларға манометрлердің кейбір турлері, термометрлер, амперметрлер, вольтметрлер, т.б. жатады.

Компораторлар. **Компораторлар біртекті шамалар мераларын немесе бірнеше өлшеу приборларының көрсеткішін өзара салыстыру мақсатында қолданылатын өлшеу құралдары болып табылады.** Мұндай өлшеулер кезінде негізгі өлшеуіш құралдарына қосымша бақылағыш өлшегіш құралдар қолданылады. Олардың негізгі міндеті өлшеу процесіне әсер ететін сыртқы немесе ішкі технологиялық процестің әсерін қадағалап отыру.

Эталондар. **Эталон деп физикалық шамалардың бірліктерін жаңғыртып, сақтап және тұтынушыларға беріп отыруды қамтамасыз ететін, белгілі тәртіппен бекітілген өлшеу құралын айтады.**

Эталондар өздерінің өлшеу дәлдігі, қолданылу қызметі бойынша бірнеше топқа бөлінеді. Егер эталон шаманың бірлігін мемлекет көлемінде ең жоғары дәлдікпен жаңғыртса, онда ол **бірінші эталон** деп аталады. Шама бірлігін ерекше жағдайда жаңғыртатын эталонды **арнайы эталон** деп атайды. Бірінші және арнайы эталондарды стандарттардың мемлекеттік комитеті бекітіп, оларға арнайы белгі соғылады. Негізгі бірліктер мемлекеттік эталондардың көмегімен бір орталықтан жаңғыртылады, ал қосымша және туынды бірліктер бір

орталықта немесе жер-жердегі метрологиялық қызмет орындарында жаңғыртыла береді. Метрологиялық тәжірибеде бірінші эталондардың көшірмесі болып табылатын *екінші эталондар* кеңінен қолданылады. Қолданылу қызметі жағынан екінші эталон *көшірме-эталон, салыстырма-эталон, куәгер-эталон және жұмыс-эталондары* болып бөлінеді.

Көшірме-эталон бірліктерді сақтап, оларды қажет жағдайда жұмыс эталондарына беріп отыру үшін пайдаланылады. *Салыстыру эталоны* өзара салыстырыла алмайтын екі эталонды бір-бірімен салыстыру үшін қажет. *Куәгер-эталон* мемлекеттік эталон сынып немесе жоғалып қалғанда, оны қайтадан жасау үшін қолданылады. *Жұмыс эталоны* өндіріс орындарында (зауыттарда) өлшеуіш приборларды жасағанда пайдаланылады.

Екінші эталондар жасалыну құрылымы жағынан мынадай эталондарға бөлінеді:

- *өлшеу құралдары кешені;*
- *жеке-дара эталондар;*
- *топ эталондар;*
- *эталондар жиыны.*

Жеке дара эталоны бір ғана мерадан, өлшеу құралынан немесе өлшеу қондырғысынан тұрады. Ол басқа осы типтес құралдардың көмегінсіз бірліктерді жаңғырта алады және сақтай алады. Жеке-дара эталонына мысалға платина-иридий қоспасынан жасалған килограмм эталоны жатады.

Топ эталондар бір типтес мералар жиынтығынан құралады. Бірнеше өлшеу құралдарынан тұратын бұл топ бәрі қосылып бір ғана бірлікті жаңғыртады және сақтайды. Мұндай эталондарға мысал ретінде 20 қалыпты элементтен тұратын вольта эталоны жатады. Топ эталондардың көрсеткен мәліметі оның әрбір элементінің берген мәліметтерінің орташа арифметикалық мәнінен құралады.

Физикалық шаманың бірлігін белгілі бір интервалда (диапазонда) сақтайтын немесе жаңғыртатын мералар немесе өлшеуіш приборлар жиынтығын *эталондар жиыны* деп атайды. Оған мысалға сұйықтың тығыздығын, тығыздықтың әр түрлі диапазондарында жаңғыртатын денсиметрлер жиыны жатады. Мемлекеттік эталондар метрологиялық институттарда сақталады. Мемлекеттік эталондармен тек арнайы мамандар ғана жұмыс істей

алады. Оларды *сақтаушы - ғалымдар* деп атайды. Екінші эталондар ірі мемлекеттік метрологиялық қызмет орындарында сақталады.

Физикалық шамалардың бірліктерінің ұлттық эталондарынан бөлек *Халықаралық эталондар* делінетін өлшеу құралдары бар. Олар мералар мен таразылардың Халықаралық бюросында сақталады (Францияның астанасы Париждің қасындағы Севр қаласында). Бұл бюроның бағдарламасы бойынша Халықаралық эталондар белгілі бір тәртіппен ұлттық эталондармен салыстырылып тұрады. Метр мен килограммның эталондары әрбір 25 жылда бір рет салыстырылады, электрлік және жарық эталондары (вольт, ом, кандела, люмен) әрбір үш жылда бір салыстырылады.

Ұзындықтың бірлігі - метрдің эталоны. XVIII ғасырдың соңында алғаш метрлік жүйе енгізілгенде алғашқы метрдің эталоны қабылданды. Метр (1 метр) ретінде Париж меридианының 20 миллионнан бір бөлігі қабылданды. 1799 жыл меридиан доғасының бір бөлігін өлшеу нәтижесіне негізделіп платинадан метрдің эталоны жасалды. Ол эталон Францияның Ұлттық Архивіне сақтауға берілді. Соңынан бұл эталон "*Архив*" эталоны деп аталды. Архив метрінің ені 25 мм, қалыңдығы 4мм-ге жуық, ұштарының арасы 1м сызғыш түрінде жасалды. Метрдің эталоны 1872 жылы сол Архив метрінің негізінде қайтадан жасалды. Бұл эталон-ұзындығы 102 см, көлденең қимасының пішіні Х тәріздес платина-иридий қоспасынан жасалған таяқша. Мұндай эталонның 31 данасы жасалып, оның №6 эталоны 1889 жылы I Бас конференцияның шешімімен метрдің прототипі болып қабылданды. Қалған 30 эталон басқа мемлекеттерде таратылды.

Ұзындықтың бірлігі - метр эталон таяқшаның екі сызықшасының арасы (0°C -та) болып табылады. Платина-иридийден жасалған эталонның дәлдігі 0,1-0,2 мм-ден аспады. Ғылым мен техниканың тез өрістеуі метр эталонның одан да дәлірек болуын талап етті. Мералар мен таразылардың XI Бас конференциясы 1960 жылы метр эталонының жаңа үлгісін қабылдады. Метр эталоны ретінде криптон-86-ның вакуумдағы $2P_{10}$ және $5d_5$ деңгейлер арасындағы өтулер кезіндегі шыққан сәуленің толқын ұзындығын 1650763,73-ке көбейткенде шығатын сан алынды. Міне, осы атомдардың спектрлік талдамасына сүйеніп алынған метр эталоны күні бүгінге дейін қолданылып келеді.

Массаның бірлігі - килограммның эталоны. Алғаш метрлік жүйені енгізгенде килограммның (1 килограмм) эталоны ретінде таза судың тығыздығы ең жоғары мәніне сәйкес келетін температурадағы (4°C) оның 1 дм^3 көлемінің массасы алынды. Кейінгі дәлірек

өлшеулер нәтижесі бойынша 4°C таза судың 1 дм³ көлемдегі массасы, масса прототипінен 0,028 г-ға кем болып шықты. Дегенмен, сол массаның прототипін 1872 жылы Халықаралық комиссияның шешімімен эталон ретінде қабылдап, оны платина мен иридийдің қоспасынан жасады. Бұл эталонның пішіні - диаметрі мен биіктігі 39 мм болып келетін тік цилиндр.

Алғашқыда, метрлік жүйе енді енгізіле бастағанда масса мен салмақтың арасында ешқандай айырмашылық болған жоқ. Сондықтан, ең бірінші килограммның эталоны **салмақ эталоны** деп аталған болатын. 1889 жылы өткен мералар мен таразылардың Бас конференциясында масса мен салмақтың (күш) айырмашылығы көрсетіліп, қабылданған килограммның эталоны масса эталоны ретінде анықталды. Қазіргі кезде №12 килограммның бірінші эталоны Мәскеуде Д.И. Менделеев атындағы метрология ғылыми-зерттеу институтында сақтаулы. Кейінгі кезде массаның өлшем бірлігі ретінде атом бөлшектерінің тұрақты массаларына негізделген эталон жобалары зерттелуде.

Уақыт бірлігі - секундтың эталоны. 1960 жылға дейін 1 секундты орташа күн тәулігінің 1/86400 бөлігі ретінде анықтап келді. Орташа күн тәулігі ретінде экватор бойымен қозғалған қатарлас екі күн тоқырауының арасы алынды. Орташа күн тәулігінің анықталу қателігі 10^{-7} тәулік болды. Әрине, бұл дәлдік ғылым мен техниканың қажеттілігінен әлдеқайда төмен. Сондықтан 1960 жылы уақыт бірлігінің астрономиялық анықтамасы қабылданды. Бұл анықтама бойынша 1 секундтың ұзақтығы Жердің өз өсінде айналу периодына емес, Жердің Күнді айналу периодына негізделіп анықталды. Бұл әдіс бойынша 1 секунд 1900 жылдың 0 қаңтарындағы эфемеридтік уақыт бойынша сағат 12-00-дегі тропиктік жылдың 1/31556925,9747 бөлігіне тең болды. Уақытты анықтаудың бұл әдісі уақыт дәлдігін 1000 есеге арттырды. 1967 жылы мералар мен таразылардың XIII Бас Конференциясы уақыттың бірлігі секундтың жаңа анықтамасын қабылдады. Бұл анықтама бойынша бір секунд деп сырттан әсер етуші өрістер жоқ кезде Цезий-133 атомның негізгі күйінің асқын жіңішке құрылымының екі деңгейінің арасындағы энергетикалық өтудің резонанстық жиілігіне сәйкес 9192631770 тербеліс жасалатын уақыт интервалын түсінеді. Осы анықтамаға негізделіп жасалған уақыт пен жиіліктің эталоны 1997 жылға дейін жұмыс істеп келді. Бұл эталонның дәлдігі (уақыт және жиілік бойынша) $\pm 3 \cdot 10^{-12}$ болды. Бұл эталон 1997 жылдан бастап жұмыс

істеп келе жатқан уақыт пен жиіліктің өлшеу құралдарының мемлекет аралық салыстырып тексеру сұлбасымен стандарттау ережелерімен реттеледі.

Қазіргі кезде уақыттың Мемлекеттік бірінші эталоны мынадай өлшеу құралдарынан тұрады:

- уақыт пен жиіліктің бірліктерінің өлшемін Халықаралық бірліктер жүйесіне жаңғыртуға арналған жиіліктің метрологиялық цезий реперлері;
- уақыт пен жиіліктің бірліктерінің өлшемін сақтауға арналған жиіліктің сутегілік стандарттары; оның дәлдігі 100 секундтан бірнеше тәулікке дейін $(1-5) \cdot 10^{-14}$
- уақыт шкаласын сақтауға арналған кварц резонаторларына негізделген кванттық сағаттар тобы;
- жиіліктің бірлігінің өлшемін оптикалық диапазонда беріп отыруға бағытталған синхрондалған лазерлер мен асқын жоғары жиіліктегі генераторлардан тұратын аппаратура;
- бір-бірімен ішкі және сыртқы өлшеу құралдарымен салыстыруға арналған тасымалданатын кванттық сағаттар мен лазерлерден тұратын аппаратура;
- қосымша аппаратура (компьютерлерт.б.).

Эталонның уақыт интервалдарының мәндерін өлшеу диапазоны $1 \cdot 10^{-10}$ - $1 \cdot 10^{-8}$ с, жиіліктер мәндерін өлшеу диапазонын $1-1 \cdot 10^{14}$ Гц.

Уақыт бірлігін жаңғыртудың орташа квадраттық ауытқуы үш айда $1 \cdot 10^{-14}$ -тен аспайды. Жүйелік қателігі $5 \cdot 10^{-14}$ тен аспайды. Эталонның жиілігінің тұрақсыздығы 1000 с – тан 10 тәулікке дейінгі аралықта $5 \cdot 10^{-15}$ – тен аспайды.

Электр тогының күшінің бірлігі - ампердің эталоны.

Ең алғашқы ампердің эталоны 1893 жылы Чикагода өткен электриктердің Халықаралық конгресінде қабылданды. Ол ***Халықаралық ампер*** деп аталды және былай анықталды: ***Халықаралық ампер – азот қышқылды күмістің судағы ерітіндісі арқылы ток жүргенде 1с ішінде 0,0011180 г күміс бөліп шығаратын өзгермейтін ток.***

Қазіргі кезде қолданылып жүрген ампер эталонының жұмыс істеу принципі электр токтарының өзара әсерлесу заңына негізделген. Бұл принцип бойынша ампер көлденең қимасының ауданы шексіз аз, ұзындығының арақашықтығы 1м, ауасыз бос кеңістікте орналасқан екі шексіз ұзын бір қалыпты өткізгіштердің

әсерлесу күшіне байланысты анықталады. Өткізгіштер арқылы 1А ток өткенде әрбір метрге келетін токтардың әсерлесу күші $2 \cdot 10^{-7}$ Н болуға тиісті.

Бұл анықтамада келтірілген шексіз ұзын, шексіз жіңішке түсініктері нақты тәжірибеде болмайды. Бірақ Ампер заңының негізінде өлшемдері шекті өткізгіштердің бойынан ток жүргенде токтардың әсерлесу күшін жеткілікті дәлдікпен анықтауға болады.

Мемлекеттік бірінші эталонның амперді жаңғырту қателігі 10^{-3} %-тен аспайды.

Қазіргі кезде атом ядросының қасиеттерін зерттеу нәтижесінде қол жеткізген жетістіктер келешекте ампер эталонының жаңа нұсқаларын жасауға мүмкіндік береді. Сондай эталонның бірі ядролық, магниттік резонанс құбылысына негізделген.

Қазіргі кезде ампер эталонының электрон зарядын біле отырып, элементар электрлік бөлшектерді санау арқылы және өте төмен температурадағы заттардың асқын өткізгіштік жағдайындағы тұрақты токты өлшеу арқылы жасалатын нұсқалары қарастырылуда.

Температураның бірлігі – Кельвиннің эталоны. Ең алғашқы термометрді 1598 жылы Галилей жасады. Ол термометрдің жұмыс істеу принципі термометрлік заттың температураға тәуелді көлемінің өзгеруіне негізделген. Мұндай термометрлер біздің заманымызда да кеңінен қолданылып келсе де, оларды температураның бірлігінің эталоны ретінде қолдануға болмайды. Себебі термометрдің көрсетуі термометрлік заттың табиғатына және оның жылулық ұлғаю шарттарына тәуелді. ХІХ ғасырдың ортасында Томсон (Кельвин) термометрлік заттың табиғатына тәуелді болмайтын термодинамикалық шкала жасауға болатынын көрсетті. Кельвиннің шкаласы Карно цикліндегі екі реперлік нүктеге негізделді. Егер Карно циклімен жұмыс істеп тұрған жүйеде дене T_1 , температурада Q_1 , жылу алып T_2 температурада Q_2 жылу берсе, онда репер нүктелерінде абсолют температуралардың қатынасы Q_1 мен Q_2 жылулардың қатынасына тең: $\frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$. Термодинамиканың

қағидаларына сәйкес бұл қатынас жұмыс денесінің термометрлік сұйық қасиеттеріне тәуелсіз. Айталық, мұздың еру температурасы мен судың қайнау температурасының арасында Карно циклі жүрсін. Арнайы калориметрдің көмегімен Q_1 және Q_2 жылу мөлшерлерін және бір резервуардағы температураны өлшей отырып, келесі резервуардағы температураны анықтауға болады. Бұл

принципке негізделген шкала **Кельвин шкаласы** деп аталады. Температура бірлігінің эталонының келесі үлгісін Томсон (Келвин) мен Д.И.Менделеев термодинамикалық шкаланы бір реперлік нүкте бойынша құруды ұсынды. Бұл шкала бойынша термодинамикалық шкаланың ең төменгі мәні - абсолют нөл нүктесі. Судың қайнау нүктесін $0,002- 0,01^{\circ}\text{C}$, ал мұздың еру нүктесін $0,0002 - 0,001^{\circ}\text{C}$, ал судың үштік нүктесін $0,0001^{\circ}\text{C}$ дәлдікпен өлшеуге болады. Сонда, осы судың үштік нүктесін жалғыз реперлік нүкте ретінде қарастыруға болады. Осы принципке негізделген температура бірлігін 1954 жылы МТХК-нің X Конференциясында қабылдады. Термодинамикалық температураның бірлігі ретінде кельвин термині қабылданды. Сонымен **1 кельвин (1К)** судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасының $273,16$ бөлігіне тең болды. Цельсий шкаласына мына қатынаспен өтуге болады: $t^{\circ}\text{C} = T - T_0$. Мұнда $T_0=273,15\text{K}$. Цельсий шкаласы бойынша температураның бірлігі ретінде цельсий ($^{\circ}\text{C}$) қолданылады ($1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$).

Термодинамикалық шкаламен температураны өлшегенде газ термометрлері қолданылады. Газ термометрлері температураның барлық диапазонын қамти алмайды. Сондықтан 1927 жылдан бастап таразылар мен мералардың VII Бас Конференциясы Халықаралық практикалық температуралық шкаланы (ХПТШ) қабылдады. Өзінің даму кезеңінде түрлі өзгертулерге ие болған бұл шкала 1968 жылы едәуір жетілдірілді. Ол ХПТШ-68 деп аталды. Бұл шкаланың бас жетістігі ол температураның үлкен диапазонын қамтыды.

1989 жылы қыркүйек айында өткен термометрия бойынша Кеңестік комитеттің 17-сессиясында Халықаралық температуралық шкала - ХТШ-90 қабылданды. ХТШ-90 Кельвиннің анықтамасын ХПТШ-68 секілді қабылдайды. Температура бірлігінің мемлекеттік эталондарының бірлікті жаңғырту принциптері ХПТШ-68 шкаласындағыдай қалды. Оның мынадай ерекшеліктері бар:

- жаңғыртылатын температура интервалының төменгі нүктесі $13,8\text{K}$ -нен $0,65\text{K}$ -ге дейін жеткізілді;
- жаңа реперлік нүктелер - галлийдің балқу нүктесі, индийдің, алюминийдің және мыстың қатаю нүктелері енгізілді.

Жарық күшінің бірлігі — канделаның эталоны. XIX ғасырда жарық күшінің бірлігі және оның эталоны ретінде *свеча* (қазақша — шам) қолданылды. 1881 жылы өткен электриктердің Халықаралық конгресінде жарық күшінің бірлігі - **Виола** қабылданды. I Виола ретінде қатая бастаған ауданы 1 см^2 платина бетінен нормаль бағытта шығатын жарық күші алынды. Электриктердің 1893 жылғы конгресі жарық күшінің эталоны ретінде ішінде таза амилацетат жанатын **Гефнер-Альтенек шамының күшін** қабылдады. Бұл шамның ені 8 мм, биіктігі 40 мм болатын жалынының жарығының күші жарық күшінің эталоны деп есептелді. 1909 жылы жарық күшінің бірлігі ретінде **Халықаралық свеча** қабылданды. Оны жаңғыртушы эталон ретінде электр шамы пайдаланылды. Электр шамдары жарық бірліктерін 0,1%-тен аспайтын қателікпен жаңғыртуға мүмкіндік берді. XX ғасырдың 30-шы жылдарында метрологиялық мекемелерде толық сәуле шығарушыға (абсолют қара дене) негізделген жаңа жарық эталондары жасалды.

Бұл эталондардың басты кемшілігі жарықты және энергияны сипаттайтын шамалар арасындағы байланыстың бірімсіздігі болды. Сондықтан 1979 жылы мералар мен таразылардың XVI Бас Конференциясы жарық күшінің бірлігі канделаның жаңа анықтамасын қабылдады.

ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ҚАТЕЛІКТЕРІ

Өлшеу құралдарының қателіктері жүйелік қателіктер тобына жатады. Себебі мұндай қателіктердің шамасы мен бағытын өлшеу процесі барысында тұрақты болады немесе белгілі бір заңдылыққа сүйеніп өзгереді. Кез-келген өлшеу құралы физикалық шаманың мәнін қаншама үлкен дәлдікпен өлшенгенімен өзінің шекті мүмкіндігінен әрі дәл өлшей алмайды.

Өлшеу құралдарының қателігі өлшеуші шаманың уақытқа тәуелділігіне қатысты **статикалық** және **динамикалық** болып бөлінеді. Қателіктердің бұлай бөлінуі өлшенуші шаманың табиғатына байланысты. Статикалық қателіктерге дененің ұзындық өлшемдерін, тұрақты температураны, тұрақты токты т.б. өлшегенде жіберілетін қателіктер жатады. Ал динамикалық қателіктерге айнымалы шамаларды өлшейтін приборлардың инерциялық қасиетіне байланысты пайда болатын қателіктер жатады. Мысалы, жиілігі айнымалы токты, жылдамдық пен температураның лүпілін т.б. өлшеу кезінде пайда болатын қателіктер.

Өлшеу құралын қалыпты жағдайда қолдану кезінде пайда болатын қателіктер оның *негізгі қателігі* деп аталады. Өлшеу құралының негізгі қателігінің рұқсат етілген шекті мәні ГОСТ 13600-80-де келтірілген. Негізгі қателігі осы шектен шығып кетпейтін өлшеу құралын өлшеу процесінде қолдануға болады.

Өлшеу құралының дәлдік класы деп оның рұқсат етілген негізгі қателігімен анықталатын өлшеу дәлдігінің жалпылама сипаттамасын айтады. Өлшеу құралдарын жасау барысында олардың өлшеу параметрлерінің әр түрлі факторларға тәуелділігін зерттеп, сынау нәтижесінде дәлдік класы беріледі. Осындай шаралардың нәтижесінде өлшеу құралының шекті рұқсат етілген қателігі нормаланады (анықталады). Ол қателікті **абсолют, салыстырмалы және келтірілген түрде** көрсетеді. Әр өлшеу құралында оның дәлдік класын көрсететін әріппен немесе санмен көрсетілген белгі болады. Салыстырмалы қателікті көрсететін дәлдік класын дөңгелек сызықпен қоршап қояды. Мысалы,

2.5

Егер қателік шкала ұзындығымен нормаланған болса, онда дәлдік класының астына $\sqrt{\quad}$ белгісін қояды. Мысалы, $\sqrt{0,5}$.

Өлшеу құралдарын салыстырып тексеру. Салыстырып тексеру - өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамаларының қажетті талаптарға сай екендігін эксперимент жүзінде анықтау арқылы оларға өлшеу жұмыстарын жүргізуге рұқсат ету шаралар жүйесі.

Өлшеу құралының салыстырып тексеру кезінде анықталатын метрологиялық негізгі сипаттамасы оның-қателігі. Салыстырып тексеру шарасына екі немесе бірнеше өлшеу құралы қатысады: салыстырып тексерілуші өлшеу құралы және салыстырып тексеруші өлшеу құралы. Салыстырып тексерудің басты талабы-салыстырып тексеруші өлшеу құралының дәлдігі, салыстырып тексерілуші өлшеу құралының дәлдігінен артық болуы тиіс. Салыстырып тексеру жұмыстарын мұндай жұмыстарға құқылы метрологиялық мекемелер атқарады. Салыстырып тексеруден өткен өлшеу құралына салыстырып тексеру туралы куәлік беріледі. Онда салыстырып тексеруден өткен өлшеу құралының жұмыс істеу мерзімі көрсетіледі. Бұл мерзім өткен соң өлшеу құралын салыстырып тексеруден қайта өткізу қажет.

Мераларды салыстырып тексеру жұмыстары мынадай жолдармен іске асуы мүмкін:

- Салыстырып тексерілуші мераны дәлірек салыстырып тексеруші мерамен – компоратордың көмегімен салыстыру. Мұндай салыстырып тексеру процесі кезінде салыстырып өлшеу қолданылады. Бұл әдістер бойынша салыстырылып отырған екі шаманың мәндерінің кейбіреуі жөнінде мәлімет алынады. Егер үлгілік мераны таңдай отырып осы мәліметті нөлге теңестірсе, нөльдік әдіс іске асады.
- Мераның жаңғыртатын мәндерін дәлдік класы жоғары прибормен өлшеу. Мұны *градурилеу* деп атайды. Градурилеу кезінде салыстырып тексеруші прибордың көрсетуіне қарай отырып, салыстырып тексерілуші мераның шкаласына белгілер (штрих т.б.) қойылады.
- Салыстырып тексерудің тағы бір түрі-*калибрлеу*. Мұндай салыстырып тексеру кезінде дәлірек мерамен салыстырып тексерілуші мералар жиынының біреуі ғана немесе көп мәнді мера шкаласының бір белгісі ғана анықталады. Қалғандарының мәндері берілген заңдылық бойынша анықталады.

ӨЛШЕУЛЕР КЕЗІНДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН ҚАТЕЛІКТЕР

Әр қандай физикалық шаманы өлшегенде түрлі себептерге байланысты қателіктерге жол қойылады.

Қателіктердің классификациясы. Қандай да бір физикалық шаманың сандық мәнін абсолют дәл өлшеу мүмкін емес. Себебі, біріншіден, абсолют дәл өлшей алатын прибор болмайды, екіншіден, адамның сезім мүшелерінің мүмкіндіктері шектеулі. Сондықтан эксперименттік жұмыстардың немесе басқа да техникалық өлшеулердің қорытынды мәліметтерін есептегенде олардың қателіктерін көрсету міндетті.

Пайда болу табиғатына қатысты өлшеулер қателігі *жүйелік* және *кездейсоқ* болып екі түрге бөлінеді.

Жүйелік қателіктер өлшегіш прибордың жетілмегендігінен, ақауынан, бастапқыда көрсеткіш жебесінің (стрелкасының) нөлде тұрмауынан және өңдеу әдістемесінің дұрыс қолданылмауынан пайда болады.

Жүйелік қателік көп жағдайларда аспаптың тура көрсетпеуінен немесе өлшеу методының анық еместігінен және бірер үздіксіз сыртқы әсер(айналадағы ортаның әсері) нәтижесінде бір жақтама пайда болады. Мысалы, дене температурасын термометр жәрдемінде өлшеуде нөл нүкте (репер нүкте)нің біраз ығысып қалғаны нәтижесінде, өлшеу нәтижелеріне қажетті түзетулер енгізілуге дейін жүйелік қателікке жол қойылу қайталаанады.

Дәл сондай – ақ, таразы жағының Күн сәулелері әсерінде немесе бірер жылулық көзінен келе жатқан жылулық нәтижесінде бір қалыпсыз ысытылуы да дене массасын өлшеуде жүйелік қателікке алып келеді. Бірақ бұл қателіктерді анықтау және оны жою өте күрделі мәселе болып есептелінеді. Жалпы алғанда, жүйелік қателік объектив себептерге орай пайда болады.

Жүйелік қателік өлшеу нәтижелеріне тек бір жақтама әсер етеді(өлшеу нәтижесі жүйелік қателік нәтижесінде тек көбеюі немесе кемеюі мүмкін).

Демек, жүйелік қателіктер анық себептер нәтижесінде жүзеге келіп, оның мөлшері қайталанатын өлшеулерде өзгермеуі және белгілі бір заңдылық бойынша өзгеруі мүмкін.

Бір шаманы бірнеше рет қайталап өлшегенде жүйелік қателіктің шамасы мен бағыты өзгермейді. Жүйелік қателіктер – прибор қателіктері, әдістемелік қателіктер және өңдеу қателіктері болып бөлінеді.

Прибор қателіктері. Өлшеуге арналған қандай прибор болмасын белгілі бір дәлдікпен ғана өлшей алады. Өндірістік мақсатта шығарылатын электр өлшегіш приборлардың (амперметрлер, вольтметрлер, потенциометрлер т.б.) жүйелік қателіктері олардың дәлдік класымен анықталады. Дәлдік класы әдетте процентпен беріледі. Мысалы, дәлдік класы 0,2% ке тең амперметр токтың мәнін толық шкалаға сәйкес 0,2% тен аспайтын дәлдікпен өлшейді. Бұл қателік шкаланың кез келген жері үшін тұрақты. Әрине, бұл максимал қателік. Ал ғылыми еңбектерде орташа квадраттық қателікті көрсету қалыптасқан. Себебі, көптеген өлшеулердің ішінде бір-екі өлшеу қателігі басқаларынан басымырақ болуы мүмкін. Оны барлық өлшеулердің қателігі ретінде көрсетуге, әрине, болмайды. ***Электрөлшегіш приборлардың орташа квадраттық қателігін бағалау үшін сол прибордың дәлдік класы беретін қателікті екіге бөлу қажет.***

Жоғарыда айтқандай, электрөлшегіш прибордың дәлдік класы прибордың стрелкасының шкаланың қай жерде тұрғанына қатыссыз максимал абсолют қателігін береді. Ал салыстырмалы қателік шкаладағы стрелканың орнына тікелей тәуелді, себебі, ол абсолют қателіктің стрелканың көрсету мәніне қатынасын білдіреді. Сондықтан өлшегенде, қандай прибор болмасын, шкаланың екінші жартысымен жұмыс істеген дұрыс. Стрелканың көрсетуін көзбен көрудің де мәні бар. Әр түрлі бұрышпен қараса стрелка әр түрлі цифр көрсетеді. Прибордың көрсеткішін жазғанда, шкала жазықтығына перпендикуляр қарап, стрелка өз көлеңкесін жауып тұратындай жағдайда бақылау керек.

Әдістемелік қателіктер. Мұндай қателіктерге, біріншіден, тәжірибе әдістемесінің қателіктері жатады.

Мысалы, айталық, дискінің инерция моментін динамикалық әдіспен табуда валдың үйкеліс күшін ескермеу, идеал сұйық үшін қорытылып шығарылған Бернулли тендеуін нақты сұйықпен тексеру т.б.

Өңдеу қателігі. Өңдеу қателігіне өлшеу мәліметтерін пайдаланып, ізделініп отырған шаманы анықтау барысында жіберілетін қателіктер жатады.

Жүйелік қателіктерді өлшеу санын арттыру арқылы азайтуға болмайды, мұндай қателіктерді кеміту үшін, өлшегенде дәлірек прибор қолданады және мәліметтерді өңдеуде ең дұрыс әдістемені пайдаланады. (Бұндай қателік басқа методтармен өлшеп көріп іске асырылады).

Кездейсоқ қателіктер өлшеу процесіне әсер ететін себептердің кездейсоқ (жүйесіз түрде) өзгеруіне байланысты пайда болады.

Әр түрлі себептерге көре жүзеге келетін қателік кездейсоқ қателік делінеді.

Мысалы: сыртқы жағдайдың түптен өзгеруі, электр жүйесіндегі кернеудің ауытқуы, бөлмедегі температураның өзгеруі сияқты факторлармен қатар, бақылаушының дағдылық дәрежесі мен сезімталдығына қатысты факторлар жатады. Өлшеу барысында кездейсоқ қателіктердің шамасы мен бағыты тұрақты болмайды. Өлшеулер нәтижесіндегі кездейсоқ қателіктерді кеміту үшін, біріншіден, мұқият өлшеу қажет, екіншіден өлшеулер санын арттыру керек. Қазіргі заманда өлшегіш приборлар өте дәл болғандықтан көптеген өлшеулерде жүйелік қателіктер кездейсоқ қателіктерге қарағанда әлдеқайда аз болады.

Кездейсоқ қателік субъектив сипатқа ие болып, анық бір заңға мойынсұнбайды. Әр бір өлшеудің нәтижесі не артық, не кем болуы мүмкін. Кездейсоқ қателік, негізінде тәжірибе өткізушінің қатесі нәтижесінде (аспап көрсетуін қате көру немесе анық есітпеуі нәтижесінде) жүзеге келеді.

Кездейсоқ қателіктерді де дәл жүйелік қателіктер сияқты толық жойып болмайды. Бірақ өлшеудегі кездейсоқ қателіктерді есепке алатын ықтималдық заңдылықтарының элементтері жәрдемінде кездейсоқ қателіктерді есептеп, біраз анық нәтижелерге ие болу мүмкін. Кездейсоқ қателікті кеміту тек тәжірибені көп рет қайталау нәтижесінде есепке алынуы мүмкін.

Жүйелік және кездейсоқ қателіктерден басқа өлшеулер барысында **ақаулар** кездеседі. Олар бақылаушының өлшеу процесіне қажетті көңіл бөлмеуінен немесе шарттарының өзгеріп кетуінен пайда болады.

Экспериментаторлардың мән бермегені үшін жүзеге келетін қателіктер **дөрекі қателік** делінеді. Мысалы, өлшеу приборларының шкаласынан қате жазып алу немесе қате істеуге ұқсастар. Шама жағынан ақаулар басқа өлшемдерге қарағанда айрықша басым болады. Айталық, бақылаушы 1,05 деген санның орнына дәптеріне 10,5 деген сан енгізді. Мұндай қателіктерді есептеу нәтижесіне енгізуге болмайды.

Тікелей тең шашыраған өлшеулер. Өлшеу барысында ізделініп отырған физикалық шаманың мәнін өлшеу құралының көмегімен бірден анықтауды **тікелей өлшеу** деп атайды. Егер Q тұрақты физикалық шаманы тікелей өлшеу барысында алынған оның x_1, x_2, \dots, x_n мәндері өзара тәуелсіз және кездейсоқ түрде біртегіс таралған мәндер болса, онда олар **тікелей тең шашыраған өлшеулер** деп аталады.

Тікелей өлшеуде жол қойылатын қателіктерді есептеу. Егер бірер a физикалық шаманың шын мәніне жақын болған нәтижені алмақшы болсақ, оны n рет өлшеуге тура келеді (тікелей өлшеу жолымен өлшеудегі шаманы бір неше рет қайта өлшеу тек тақ (3,5,7 және б..) есе болуы мүмкін), a шаманы n рет өлшеуде төмендегі

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$$

нәтижелер жазып алынған болсын деп есептейік. Ол кезде бұл мәндерді қосып өлшеулер санына бөлсек, өлшеніп жатқан физикалық шаманың анық мәніне жақын **орташа арифметикалық мән** деп аталатын мәнді пайда қылған боламыз:

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

Абсолют және салыстырмалы қателіктер. Өлшеніп жатқан шаманың орташа арифметикалық мәнімен әрбір жеке өлшеу нәтижесі арасындағы айырмашылық өлшеуде жол қойылған **абсолют қателікті** береді. Ол Δa деп белгіленеді. Айтайық, бірінші, екінші және басқа да

өлшеудегі абсолют қателіктер $\Delta a_1 = |\bar{a} - a_1|$; $\Delta a_2 = |\bar{a} - a_2|$;

$$\Delta a_3 = |\bar{a} - a_3|; \quad \Delta a_n = |\bar{a} - a_n|$$

болсын. Бұл айырмашылықтар оң да теріс те болуы мүмкін. Бұл анықталған абсолют қателіктердің жиындысын өлшеулер санына бөлсек, **абсолют қателіктің орташа мәні (орташа арифметикалық қателік)** табылады.

$$\Delta \bar{a} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + \dots + |\Delta a_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta a_i|$$

Өлшеніп жатқан шаманың анық мәні оның орташа арифметикалық мәнінен үлкен де болуы, сондай-ақ, кіші де болуы мүмкін екендігін есепке алып, өлшеулер нәтижесін төмендегідей жаза аламыз:

$$a_{\text{шын}} = \bar{a} + \Delta \bar{a}$$

Бұл өрнек a ның мәні төмендегі интервалда жатуын көрсетеді:

$$\bar{a} + \Delta \bar{a} \geq a \geq \bar{a} - \Delta \bar{a}$$

Δa – аспаптың абсолют қателігі, ол прибордың конструкциясымен анықталады (құралдың өлшеу қателігі, 5 – кестені қараңдар).

5 – кесте

Өлшеу құралдарының аспаптық абсолют қателігі

Рет саны №	Өлшеу құралдары	Өлшеу шегі	Бөлік құны	Аспаптың абсолют қателігі
1.	Сызғыш: Талапкерға арналған	50 – см – ге дейін	1 мм	± 1 мм
	Сызбаға арналған	50 – см – ге дейін	1мм	± 0,2 мм
	Аспаптық (болат)	20 см	1 мм	± 0,1мм
	Демонстрациялық	100 см	1см	± 0,5см

2.	Өлшеуіш таспа	150 см	0,5 см	± 0,5см
3.	Өлшеуіш цилиндр	250 мл –ге	1 мл	± 1 мл
4.	Штангенциркуль	150 мм	0,1 мм	± 0,05мм
5.	Микрометр	25 мм	0,01 мм	± 0,005 мм
6.	Оқу динамометрі	4 Н	0,1 Н	± 0,05Н
7.	Оқу таразысы	200 г	-----	± 0,01 г
8.	Секунд өлшеуіш	0 – 30 мин	0,2 с	± 1 с 30 минутта
9.	Барометр - анероид	720-780 мм сын. бағ	1мм сын.бағ.	± 3 мм сын.бағ
10.	Лабораториялық	0 – 100 ⁰ С	1 ⁰ С	± 1 ⁰ С
11.	термометр	2А	0,1А	± 0,05А
12.	Амперметр	6В	0,2В	± 0,15В
	Вольтметр			

Соны айту керек, абсолют қателік әрдайым да өлшеу сапасын толық сипаттай алмайды. Сол үшін абсолют қателікпен бір қатарда өлшеу нәтижелерінің анықтық дәрежесін сипаттау мақсатында **салыстырмалы қателік** деп аталатын қателікті білу өте қажет.

Салыстырмалы қателік орташа абсолют қателік өлшеніп жатқан шама орташа мәнінің қандай бөлігін құрайтынын бейнелейтін шама болып, проценттерде, яғни

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta a}}{a} * 100\%$$

Өте анық өлшеу қажет болмаған күйлерде 5% ге дейін салыстырмалы қателікке жол қою мүмкін деп есептелінеді.

Егер екі ағаш қалыңдығын анықтық дәрежесі 0,01 мм болған винтты микрометрмен өлшесек, абсолют қателік барлық өлшеулерде бірдей, яғни 0,01мм ден артпайды. Бірақ салыстырмалы қателік екі түрлі қалыңдықтағы ағаштар үшін екі түрлі болады. Мысалы, бірінші ағаштың қалыңдығы 2 см, екінші ағаштың қалыңдығы болса 2мм болса, салыстырмалы қателік дәл ретте соңғы формулаға негізделіп 0,05 % және 0,5% ге тең болады. Сол жағынан салыстырмалы қателікті білу әр бір тәжірибе үшін жеке маңызға ие.

Жанама өлшеу қателіктерін өңдеу. Көп жағдайда ізделінетін физикалық шаманы тікелей өлшеулер нәтижелерін пайдаланып, математикалық жолмен есептеп табады. Мұндай өлшеулер **жанама өлшеулер** деп аталады, олардың қателіктері сәйкес жанама өлшеулерді өңдеу әдістемесімен табылады. Жанама өлшеулердің

дербес жағдайларында абсолюттік және салыстырмалы қателіктерді есептеу әдістерін қарастырайық.

Жалпы жағдайда жанама өлшеулердің салыстырмалы қателігін жұмыс формуласының екі жағынан натурал логарифм алып шыққан тендікті дифференциалдау арқылы табуға болады. Логарифмдеу және дифференциалдау кезінде пайда болған минус таңбаларын плюске, d дифференциал белгісін Δ белгісіне ауыстыру керек.

Жанама өлшеулер нәтижелерін өңдегенде, көбінесе, тікелей өлшеулер қателігі мен прибордың қателігін және таблицалық мәндерді бірге есептейді. Прибордың қателігі оның өзінде көрсетіледі. Көрсетілмесе, прибор шкаласының ең кіші бөлігінің бағасын алады. Ал цифрлық приборлар үшін оның көрсеткішінің ең соңғы цифрының орнының бағасы алынады. Физикалық тұрақтылар мен шамалардың кестелік мәндері, әдетте, өлшеулер мәндерінен әлдеқайда дәлірек. Сондықтан олардың абсолют қателіктерін өлшеулер қателіктерімен салыстырғанда ескермеуге болады. Қажетті жағдайда шамалардың кестелік мәндерінің қателігі ретінде олардың ең соңғы цифрының орнының бағасын алуға болады.

ЖУЫҚТАП ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ ДӨҢГЕЛЕКТЕУ ЕРЕЖЕЛЕРІ

Әрбір эксперименттік жұмысты орындау барысында бірнеше шаманы әр түрлі дәлдікпен өлшеуге тура келеді. Сол өлшеулердің әрқайсысы басқаларының дәлдігіне әсерін тигізуі мүмкін. Сондықтан жұмыстың басында дәлдігі төмендеу шамаларды өлшеуге айрықша көңіл бөле отырып, барлық приборлардың дәлдік шегін анықтап алу қажет. Егер бір формулаға енетін бірнеше шаманың әрқайсысы әр түрлі дәлдікпен өлшенген болса, онда соңғы нәтиженің қателігін тапқанда, ең төменгі дәлдікпен өлшейтін прибордың дәлдігінен көп артудың қажеті шамалы.

Есептеу дәлдігі өлшеу дәлдігіне сәйкес болуы тиіс. Есептеу дәлдігі өлшеу дәлдігінен әлдеқайда көп болып жатса, оны жұмыстың артықшылығы емес, кемшілігі деп санау керек. Сондықтан есептеу мәліметтерін дөңгелектеп жаза білу керек. Ал өлшеу мәліметтерін формулаға қоюдан бұрын дөңгелектеген дұрыс.

Бірнеше орыннан тұратын жуық санды дөңгелектегенде, соңында тұрған 0-ден 4-ке дейінгі сандарды алып тастайды, ал 5-тен 9-ға дейінгі сандар бар болса, оларды алып тастап, алдында тұрған

санды бірге ұлғайтады. Мысалы: $a=21,314 \approx 21,31$;
 $\pi = 3,141593 \approx 3,1416$ немесе $\pi = 3,141593 \approx 3,14$.

Физикалық шаманың мәнін көрсететін санның қалай жазылғанына қарап, оның дәлдік дәрежесі туралы мағлұмат алуға болады. Шындығында, егер жазылған санның барлық мәнді цифрлары ақиқат болатын болса, онда осы санның ең соңында орналасқан цифрдың орнының бағасы өлшеу немесе есептеу дәлдігінің жобасын береді. Мысалы 5,02100 с деп берілген уақытты өлшеу дәлдігін 1 мкс деп бағалауға болады.

"Мәнді цифрлар". Мәнді цифрларға санның алдында (сол жағында) тұрған барлық нөлдерден кейін орналасқан цифрлар, оның ішінде, нөлден айрықша цифрлардың арасында және оң жағында тұрған барлық цифрлар жатады. Мысалы, 0,00025 санында екі мәнді (2 және 5) цифрлар, 1000 санында төрт мәнді цифрлар, 12,002 санында бес мәнді цифрлар, 2,300 санында төрт мәнді цифрлар бар. Өлшеу мәліметтерін өңдеу барысында бірнеше есептеулер жүргізіліп, соңғы мәліметті жуықтап жазуға тұра келген жағдайда, тәжірибе барысында анықталатын шамалардың дәлдігіне қарағанда мәнді цифрдың біреуін артық жазған дұрыс.

Өлшеудің анықтығы барлық уақытта бірдей болуы немесе өлшеудегі барлық сан мәндері бірдей разрядты (үтірден кейінгі хана саны) болуы керек.

МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨНДЕУДІҢ ГРАФИКТІК ТӘСІЛІ

Тәжірибелерде өлшенген физикалық шамалар нәтижесін теориялық қорытындылармен немесе арасындағы байланыстарды салыстыру үшін графиктен пайдаланылады. Эксперименттік физикада графиктер түрлі мақсаттарда қолданылады. Мысалы:

- кейбір шамаларды анықтау үшін;
- мәліметтерді көрнекі түрде көрсету үшін;
- екі шаманың арасындағы эмпирикалық қатынасты табу үшін;
- эксперимент мәліметтерін теория мәліметтерімен немесе басқа авторлардың мәліметтерімен салыстыру үшін т.б.

Бізге белгілі, әр қандай өлшеуде ең кемінде екі шама қатынасады. Олардан бірін x айнымалы, екіншісін x ке байланысты болған y айнымалы десек, олардың функционал байланысы $y=f(x)$ көрінісінде беріледі. Жалпы жағдайда x -аргумент, y болса функция

делінеді. x және y тер мәндері негізінде кесте түзуде төмендегідей талаптар қойылады:

1) өлшеу нәтижелеріне байланысты кестелер бір неше болса, олар әрине номерленуі шарт.

2) аргумент және функция бір қатарға орналастырылып, олардың аттары және өлшеу бірліктері де келтірілуі керек.

3) x және y тің мәндері вертикал баған бойымен кеміп бару тәртібінде жазылып, толық бөлім, үтір және үлестер бір вертикал бойымен орналасуы керек.

Кестеден пайдаланып, ***аргумент және функция мәндерін математикалық есептеу немесе график тәсілде анықтаудың екі негізгі әдісі бар.***

а) Интерполяция әдісі. Бұл y функцияның кестеге түспеген аралық мәнін x аргументтің оған сай мәні арқылы есептеп табу керек, яғни

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x_2 - x_1)$$

Мысалы, бізге дыбыстың бензолда таралу жылдамдығының 17°C температурадағы мәні керек болса, осы формула негізінде дыбыстың таралу жылдамдығы \bar{v} ның кестеде берілген 10°C және 20°C дағы мәндерінен пайдаланып, 17°C дағы жылдамдығын табамыз. (Бұл жерде y функция - дыбыстың \bar{v} таралу жылдамдығы, айнымалы аргумент-температура. Жалпы алғанда, айнымалы ретінде температура, уақыт, қысым, жиілік, концентрация және тағы басқалар қабылданады). Демек, ***интерполяция дегенде кестеде келтірілген шаманың екі тізбектей мәні аралығындағы мәнді табу түсініледі.***

б) Экстраполяция әдісі. Әр қандай эксперимент нәтижесі x айнымалы мәнінің белгілі интервалында жатуы мүмкін. Бірақ кейбір жағдайларда x тің тәжірибеде табылған мәндері интервалынан басқа мәні негізінде y тің оған сай мәнін табу керек болып қалады. Оның мәнін табудың мұндай әдісі ***экстраполяция*** деп аталады. Бұл әдіс те интерполяция сияқты, аргумент және функция мәндерін кестеден пайдаланып есептеуде және де график жасауда қолданылады.

Өлшеулер нәтижесін график кескіндеудің кесте әдісінен артықшылығы сонда, ол шамаларды салыстыруды қарапайымдастырады, функцияның максимум, минимум және үзілу нүктелерін, оның периодтылығын анықтау мүмкіндігін береді.

График жасауда бір қатар негізгі қағидаларға мойынсыну қажет:

1. Масштап таңдалады: а) айнымалы (аргумент)тің мәні көбінесе абцисса өсіне, функцияның мәні болса ордината өсіне қойылу керек. Қандайда бір шаманы айнымалы, қандайда бір шаманы функция етіп таңдау эксперимент жағдайынан келіп шығады; б) масштабты сондай таңдау керек, мұнда графиктегі әр бір нүктенің координатасы оңай анықталсын. Графаларға бөлінген миллиметрлі қағазға сызылған координата түрінің әр бір сызығы астында немесе турысында жазу болуы керек. Бұл жазуларды жеке күйде келтіру керек. Сондай – ақ, әр бір координата өсіне қойылған шаманың аты (немесе шартты белгісі) және өлшеу бірлігі жазылуы шарт; в) егер график өте жайылып кететін болса, оны логарифмдік масштабқа өткізу керек. Мұнда координата жүйесінің тек бір немесе әр екі осі бойынша өткізсе болады.
2. x және y координата остері ноль мәндерінде қиылысуы қажет емес. Қолайлы болуы үшін қажетті уақытта остерден біреуін немесе екеуінде сызбаның кезкелген нүктесіне орын ауыстыру мүмкін.
3. Өлшеу нәтижелеріне дәл мәндер координата жазықтығында белгілеп шығылады.
4. Сызбадағы өлшеу нәтижелерін сипаттайтын белгілер арқылы бір қалыпты түзу немесе қисық сызық өткізіледі. Бұл сызық мүмкіндігінше белгілерге жақын өтуі керек. Бірақ олардың барлығына тиіп өтуі шарт емес. Сызықты өлшеу қателігі үлкен болған ең бірінші және соңғы өлшеулерден алынған нәтижелерге байланысты белгілерге туырлау қате болады. Сызық үздіксіз бір қалыпты өткізіліп, белгілер оның айналасында бірдей қашықтықта орналасса, график түзу сызылған болады.

Графикті сызықтық немесе логарифмдік миллиметрлік қағазға сызады. Екі шаманың арасындағы функциялық қатынасты тапқанда абцисса өсіне беріліп отырған шаманы (аргумент), ал ордината өсіне табылған шаманы тағайындап алу керек. Бұл ретте салынатын шамалардың ең кіші және ең үлкен шектерін анықтап, координаттар остеріндегі тең бөліктерге 1; 2; 5 - ке еселік сандар түсетіндей етуге тырысу керек. Сонда графикке нүктелер салу және сызықтың координаттарын анықтау анағұрлым жеңіл болады. Егерде абцисса өсінің ұзындығын ординатаға қарағанда 1,5 – 2,0 есе үлкен етіп алса, график көрнекілеу болып көрінеді. Графикке эксперимент

мәліметтерін әр түрлі таңбалармен белгілеу арқылы, ал теория жүзінде немесе санақ әдісімен алынған мәліметтерді тұтас сызықпен тұрғызу қалыптасқан. Әр түрлі режим үшін, бірақ бір текті процесті сипаттайтын сызықтардың бәрін бір графикте келтірсе, процестің өзгеру динамикасын режимдерге қатысты салыстыруға қолайлы болады.

Графиктерді салғанда масштабты дұрыс пайдалану арқылы өлшенген нүктелер қағаз бетіне біркелкі түсетіндей етуге (центріне жақын) тырысу керек. Көптеген процестерде аргумент пен функциялардың бастапқы нүктелері координаттар осінің басына (нөлге) сәйкес келе бермейді. Сондықтан координаттар осін жылжыту арқылы нақты процестің бастапқы нүктелеріне жақындату керек.

Графиктегі нүктелердің орналасу тәртібі белгілі бір заңдылыққа бағынады. Қайсы бір нүкте сол заңдылыққа бағынбай оқшау жатса, бұл жерде қызық құбылыс (эффekt) бар деп, немесе ол нүкте қате өлшенген деп түсіну керек. Нүкте дұрыс өлшенген болса, эксперименттің сол аймағын қайтадан мұқият өлшеп, құбылыстың табиғатына көз жеткізеді. Зерттеу жұмысының мәнісі де осында.

Егер өлшенген шамалардың қателіктері белгілі болса, графиктегі таңбалардың өлшемдері қателіктерге сәйкес

$$\left(\frac{1}{2}\right)L = \pm\sigma$$

салынады. Мұнда L таңбаның сызықты өлшемі.

Демек, үлкен таңбалар график масштабына сәйкес үлкен қателіктерді көрсетеді.

Мәліметтерді график түрінде сипаттағанда тәжірибе нүктелері түзу сызық бойына орналасатындай етуге тырысу керек. Себебі бір қалыптың функциялық тәуелділігі сызықсыз функциялардың тәуелділігінен анағұрлым көрнекі және формула түрінде оңай алынады. Мұның бірнеше әдісі бар. Процесс квадраттық функциямен сипатталсын: Мысалы, дененің еркін түсуін тәжірибе жүзінде зерттегенде жүрілген жолдың уақытқа тәуелділігі $S = \frac{gt^2}{2}$ өрнегімен сипатталатынына көз жеткізуге болады. Нүктелерді $S = f(t)$ тәуелділігімен тұрғызатын болсақ, график парабола болады. Ал графикті $S = f(t^2)$ немесе $\sqrt{S} = f(t)$ қатынасымен салсақ, түзу сызық

аламыз және сол сызықтың көлбеулік бұрышын анықтау арқылы $S = \frac{gt^2}{2}$ формуласындағы коэффициентін ($g/2$) табуға болады.

Тәжірибе нәтижесі белгілі қателікке ие болғаны үшін график сызығын сондай өткізу керек, экспериментал нүктелердің көпшілігі осы сызық үстіне түссін, қалған бөлігі оның әр екі жағына тең болған болсын. Осы ереже негізінде сызылған график орташа мәнін сипаттайды.

ӨЛШЕУЛЕРДІҢ ЖАЗЫЛУ ТӘРТІБІ ЖӘНЕ ОРЫНДАЛҒАН ЛАБОРАТОРИЯ ЖҰМЫСЫ ЖАЙЛЫ ЕСЕП БЕРУ

Жоғарыда айтып өткеніміздей, өлшеніп жатқан физикалық шамалар екі және одан артық болып, олардан тек біреуі функция ролін, қалғандары болса аргумент міндетін атқарады. Олар арасындағы функциялар байланыс теңдеу көрінісінде беріледі. Сол теңдеудің сол жағындағы шаманың мәні оның оң жағындағы шамалар мәнін есептеу арқылы төмендегі тәртіпте табылады.

1. Теңдеудің оң жағында қатынасатын барлық шамалардың мәндері жетерлі дәрежеде анық өлшенеді және оның сол жағындағы шама (функция)ның мәні берілген теңдеу жәрдемінде есептелінеді.
2. Өлшеу нәтижелерін есептеп шығуда олардан алдын ең сенімділері алынады. Белгісіздеу болған нәтижелер қалдырылып, өлшеу қайталанатын. Әр бір өлшеу нәтижесінің орташа арифметикалық мәні, оны анықтаудағы орташа абсолют қателік және салыстырмалы қателік табылады.

Лаборатория жұмыстарын орындау барысында қысқаша жазба есептеулер түзу талапкерлар үшін біраз қиыншылықтар туғызады және әдетте, жазу үшін біраз қолайсыз уақытта жұмсалады. Кейбір кезеңдерде талапкерлар есептеулерге де аспаптардың саны, яғни аспапты орнату кезеңінің қажетті баяндамасы; «... штатив алдық, оған қысқышты орнаттық, қысқышқа колбаны орнаттық, колбаға азырақ су құйдық» және осындай керексіз материалдарды кіргізеді. Сол себепті жазуларды рационалдау және тәжірибені орындау үшін көбірек уақыт қалдыру мақсатында оқытушы әр түрлі типтегі лаборатория жұмыстары жайлы есептеулерді қандай түзуді көп рет мысалдар жәрдемінде көрсету керек.

Талапкерлердің есептеулерінде жұмыстың номері және тақырыбын қалдырып, жұмыстың мақсатын толық көрсетпесе де

болады, себебі ол көбінесе жұмыстың атына дәл келеді. Құрал жабдықтарды да санап шығуға да еш қажет жоқ, себебі бұл есептеулер мағынасына ештеңе қоспайды.

Есептеулерде жұмыстың мағынасы және негізін көрсету керек емес. Талапкер жұмысты түсінуі немесе түсінбеуі есептеулерде аспаптарды қысқаша түсіндірулер мен берілетін схематик суреттері немесе электр тізбектердің түсіндірулері мен берілген схемасына қарап білсе болады. Осындай суреттер және схемалар, формулалары және өлшеу нәтижелері жазылатын кестелер (немесе тәжірибені орындау тәртібі баяны) және де есептеулер мен бірге есептеулердің негізгі бөлімін құрауы керек.

Сол себепті, талапкерлердің өлшеу жұмыстары үшін жазбаша есептеулерінде көбінесе төмендегілер болуы тиіс:

1. Лаборатория жұмысының тақырыбы және номері
2. Аспаптардың схематик көрінісі немесе электр тізбегінің схематик көрінісі.
3. Есептеу нәтижелерінің кестесі немесе жұмысты орындау тәртібі.
4. Есептеулер және қорытынды.

Сапалы характердегі жұмыстар үшін есептеулер қарапайым түрде келеді. Онда бастапқы екі пункт қалады және үшінші: жұмыстың барысын қорытындысымен жазу пункті қосылады.

Лаборатория жұмыстарын орындау кезеңінде талапкерлерге қойылатын талаптар:

- *Талапкерлер техника қауіпсіздігімен танысып шығып, оған мойынсұнуы керек.*
- *Талапкер кезектегі лаборатория жұмысында қайсы номердегі лаборатория жұмысын орындауы қажеттігін оқытушы оған бір апта алдын ескертеді. Бұл жерде талапкердің міндеті белгіленген жұмыстың теориясын игеру, тиісті құралдар және жұмысты орындау тәртібімен танысып келуден тұрады.*
- *Әр бір талапкер лаборатория жұмыстары үшін арнайы есеп дәптерін арнап, бұл дәптерде лаборатория жұмысын қандай атқарғандығы, алған нәтижелері жайлы есеп беруді тәртіпті етіп жазып баруы керек.*
- *Оқытушы талапкердің жұмыстың теориясын және жұмысты атқару әдісін игергендігіне сенім білдіргеннен кейін, оған жұмысты орындауға рұқсат береді;*

- Талапкер жұмысқа кіріскеннен кейін, оқытушы оның құралдардан тура пайдаланып жатқандығын, алынып жатқан нәтижелердің сенімділігін жұмысты орындау кезеңінде тексеріп барады және талапкердің жұмысын орындағандығы жайлы оның дәптеріне және лаборатория журналына белгілеп қояды.
- Лаборатория жұмысының орындалуы және алынған нәтижелер есебі оқытушыға график бойынша тапсырылып барылады. Бұл жайлы оқытушы жағынан талапкер дәптеріне және лаборатория журналына белгіленеді.
- Егер талапкер түрлі себептерге байланысты бір немесе екі жұмысты орындай алмаса, орындалмаған жұмысты сабақтан тыс уақытта лаборатория меңгерушісінің күзетуінде орындауы және оқытушыға бұл туралы есепті тапсыруы шарт. Талапкердің өздігінше жұмыс кезеңі графигін бұзуы шектелген.
- Әр бір талапкер оқу семестрі барысында оқу жұмысшы дәстүрінде көрсетілген лаборатория сабағын орындау және барлық жұмыстар жүзінен жалпы коллективум тапсыруы қажет. Содан соң оқытушы талапкердің сынақ дәптеріне және сынақтар ведомостына балл қояды.
- Лаборатория сабақтарында актив және үлгілі қатынасқан, барлық жұмыстардың нәтижелерін ғылыми жақтан толық алған кейбір талапкерлер оқытушы ұсынысына орай, кафедраның қаулысымен пән коллективумынан азат етіледі.
- Лабораториядағы аспаптар және басқа оқу құралдарын істен шығарған талапкерге кафедра және деканат жағынан материалдық және рухани шара көріледі;
- Лаборатория жұмыстары алып барылып жатқан уақытта топтағы басқа талапкерлердің лаборатория жұмыстарын өткізулеріне және өлшеу нәтижелерін алуларына кедергі жасамау керек.

ТАЛАПКЕРЛЕРГЕ КЕЙБІР КЕҢЕСТЕР ЖӘНЕ ҰСЫНЫСТАР

Адам саулығында тазалық қаншалық қажетті болса, лаборатория жұмысындағы жетістіктер үшін де қолданылып жатқан аспап және қондырғылардың таза және тәртіпті тұтылуы қажетті есептелінеді. Сол үшін оларды әрқашан абайлаңдар және таза ұстаңдар. Жұмысты орындап болғаннан кейін, жұмыс столын тәртіпке келтіріп қойыңдар.

Әр бір лаборатория жұмысын орындау экспериментатордан үлкен құнт талап етеді. Егер жұмыс нәтижесін тура анықтап алмасаңыз, оларды жалған жолмен түземеніз. Жақсысы оқытушыңызға айтыңыз, бәлкім сіз бірер нәрсені есепке алмай жатқан болуыңыз мүмкін немесе аспапты жақсы орнатпаған болуыңыз мүмкін.

Сақтық – қауіпсіздік кепілі. Әр түрлі ауыр құрылғылар: баллистик маятник, аударма маятник, Юнг модулін иілуден табу құрылғысы және басқа құрылғылардың жанында істеуде, түрлі шиша құрылғылардан (ішкі үйкеліс коэффициентін Стокс және Пуазейль әдістерімен табу. Дьюлонг – Пти заңын үйрену және басқалар) пайдалануда электр тогымен байланыста, оптик жүйелерді және аспаптарды үйренуде зейінді және сергек болыңыз.

Зиянды химиялық заттардан пайдаланғанда өте сақ болу керек. Әсіресе, сынап буы организм үшін қауіпті. Сол үшін термометрлердің сынуына, монометрлерден сынап төгілуіне ешқашан жол қойылмауы керек.

Жұмыстың жетістігі сізге маңызсыздай көрінген майда себептерге байланысты болуы мүмкін. Сондай-ақ, тәжірибе барысында күтілмеген бірер эффект болып қалуы мүмкін. Оларды сезіп алу сізден өте мұқияттық және сезгірлікті талап етеді. Сол үшін жұмыс орындау кезеңінде мұқияттықпен мән беріңіз.

Сабқты өткізу барысында реактивтерді (эфир, ацетон, динатурат этил спирт), түрлі материалдарды, бидистиллатты, газды және электр энергиясын үнемді пайдаланыңыз.

Өз уақытын тура және өнімді бөлшектеу экспериментатордың ең қажетті міндеті болуы қажет.

НОНИУСТАР ЖАЙЛЫ ТҮСІНІКТЕР

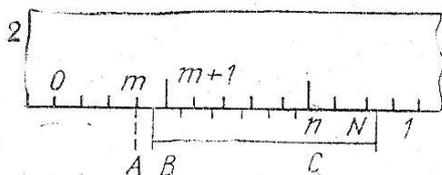
Физикалық шамаларды тікелей өлшеуде істетілетін, істеу және қолдану принциптері күрделі болмаған аспаптарды **қарапайым өлшеу аспаптары** деп жүргізіледі.

Денелердің сызықты өлшемдерін өлшеу үшін әдетте сызықты өлшеу аспаптарын - штангенциркуль, микрометр сияқты аспаптардан пайдаланылады. Бұл өлшеу аспаптарының негізгі бөлігі олардағы белгілі масштабта дәрежеленген шкала және нониус есептелінеді. Аспаптардың анықтығы нониус жәрдемінде арттырылады.

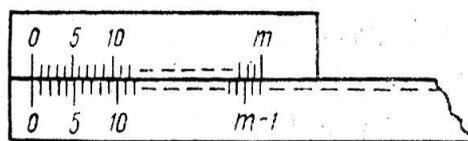
Аспаптың негізгі шкаласының өлшеу анықтығын арттыруға мүмкіншілік беретін қосымша сызықты немесе шеңберлі шкала нониус делінеді.

Нониус негізгі шкаланың толықтырушысы болып, өлшеу анықтығы 10-20 есе арттыру мүмкіншілігін беретін арнайы құрылма немесе қарапайым өлшеу аспабы болып есептелінеді.

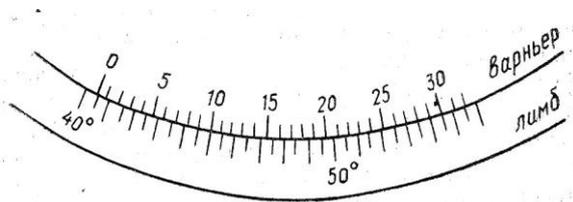
Нониустар сызықты немесе шеңберлі (бұрыштық) болуына қарамай, олар істеу принципі жағынан бірдей. Сызықты нониус негізгі шкала бойымен сырғанаса (1а,б-сурет), шеңберлі (бұрыштық) нониус негізгі шкала бойымен айналады(2а,б-сурет).



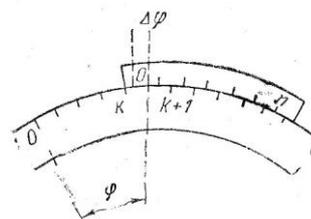
1,а - сурет



1,б-сурет



2,а-сурет



2,б – сурет

Сызықты нониусты қандай пайдалану мүмкіндігін көріп шығайық. Сызықты нониустағы барлық бөлімдерінің саны m мен, бір бөлімінің мәнін l_1 мен, негізгі шкаланың бір бөлімінің мәнін l мен белгілеп алайық. Нониустағы бөлімдер сондай орналастырылған, мұндағы m бөлімнің жалпы ұзындығы негізгі шкаладағы $m-1$ бөлімнің ұзындығына тең, яғни

$$ml_1 = (m-1)l.$$

Бұл теңдіктен

$$l_1 = \frac{m-1}{m}l = l - \frac{l}{m},$$

негізгі шкала бөлімінің мәні мен нониус бөлімі айырмасы төмендегіге тең болады:

$$\Delta l = l - l_1 = \frac{1}{m}l,$$

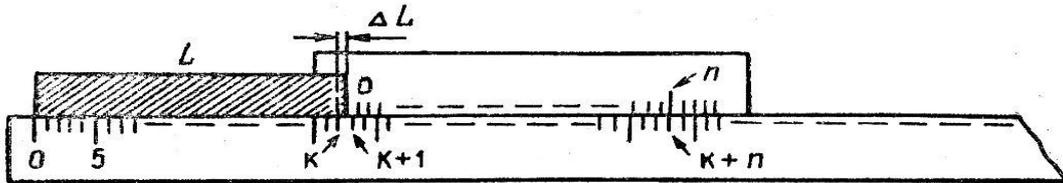
мұнда Δl айырма нониус анықтығы делінеді.

Енді сызықты нониус жәрдемінде өлшеу әдісімен танысып шығайық. Өлшеніп жатқан кесіндінің ұзындығы L болсын (3-сурет)

Бұл кесіндінің басын (бір ұшын) негізгі шкаланың ноль сызығына тура келтірейік, бұл уақытта кесіндінің соңы (екінші ұшы) негізгі шкаладағы k бөлім мен $k+1$ бөлім арасында болсын. Ол күйде

$$L = kl + \Delta L$$

деп жазу мүмкін, мұнда ΔL - негізгі шкаладағы k бөлімнің қазірше белгісіз болған бөлігі.



3-сурет

Енді L кесіндінің соңына нониустың ноль сызығын тура келтіріп қоямыз. Нониус бөлімдерінің ұзындығы негізгі шкала бөлімдерінің ұзындығына тең болмағанынан нониуста сондай бір n номерлі бөлім табылады, бұл бөлім сызығы негізгі шкаланың тиісті $k+n$ бөлімінің сызығына өте жақын келеді. 3-суреттен көрінеді,

$$\Delta L = nl - nl_1 = n(l - l_1) = n\Delta l,$$

демек, кесіндінің толық ұзындығы

$$L = kl + n\Delta l$$

немесе, $\Delta l = l - l_1 = \frac{1}{m}l$, ге негізделіп, $L = kl + \frac{n}{m}l$.

Бұл формуланы төмендегіше сипаттау мүмкін: нониус жәрдемінде өлшеніп жатқан кесіндінің ұзындығы нониус ноль бөлімінен сол жағында тұрған негізгі шкаланың толық бөлімдері санының шкала ұзындығына көбейтіндісі (kl) және нониус шкаласы ұзындығының оның негізгі шкала бірер бөлімімен дәл келетін бөлімдер саны көбейтінділері (nl) дың жиындысына тең болады.

Бұл әдіспен өлшеуде болуы мүмкін болған қателік нониустың n бөлімімен негізгі шкаланың $k+n$ бөлімінің бір – біріне дәл келмей

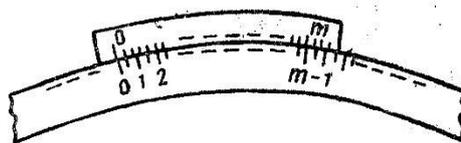
қалуы нәтижесінде болады, бұл қателіктің мәні $\frac{1}{2}\Delta l$ дан артып кетпеуі керек, өйткені бұл бөлімдердің бір – біріне дәл келмей қалуы сезілерлі дәрежеде үлкен болса, ең жақын көрші (солдағы немесе ондағы) бөлімдерден бірінде тиісті шкала және нониус сызықтарының бір – біріне туры келмеуі $\frac{1}{2}\Delta l$ дан кіші болады және осы бөлімге қарап есептеу қажет. Демек, нониустың қатесі оның анықтығының жартысына тең екен, деген қорытындыға келу мүмкін.

Негізгі шкала бөлімдерінің ұзындығы және нониус бөлімдерінің саны, демек, нониус анықтығы өте түрлі болады. Төмендегі 6-кестеде бұл шамалардың практикада көп кездесетін комбинациялары келтірілген.

6-кесте

$l, \text{мм}$	1	1	1	0,5
m	10	20	50	25
$\Delta l, \text{мм}$	0,1	0,05	0,02	0,02

Шеңберлі(бұрыштық) нониус градустарға немесе одан кішірек бөлімдерге бөлінген дөңгелек (лимба) бойымен сырғанай алатын доға пішініндегі сызғыштан тұрады. Бұл сызғышта да m бөлім болып, олардың жалпы ұзындығы лимба бөлімдерінің $m-1$ іне тең (4-сурет),



4-сурет

яғни $m\alpha = (m-1)\beta$, мұнда α - нониус бөлімінің градус немесе минуттарда бейнеленген мәні, β болса лимбаның ең кіші бөлімінің осы бірліктерде бейнеленген мәні.

Шеңберлі(бұрыштық) нониустың анықтығы $\Delta\alpha$ дәл $\Delta l = l - l_1 = \frac{1}{m}l$ формулаға ұқсас формуламен бейнеленеді, яғни $\Delta\alpha = \frac{1}{m}\beta$ лимбаның нөліне қатынасты есептелінетін бұрыштар төмендегі формуладан табылады:

$$\varphi = k\beta + n\Delta\alpha$$

немесе $\varphi = k\beta + \frac{n}{m}\alpha$.

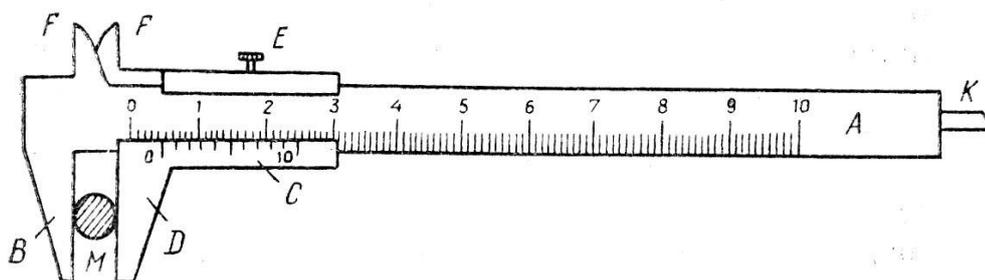
Сонымен, нониусты аспаптардан төмендегіше тәртіпте пайдаланылады:

1. негізгі шкалада нониустың нөлінші сызығына дейін болған толық k бірліктер санап шығылады;
2. нониустың нешінші бөлімі негізгі шкаланың бөлімімен бетпе – бет түсуі анықталынады және ол n мен белгіленеді;
3. дененің сызықты (немесе бұрышты) өлшемі $L = kl + \frac{n}{m}l$ формуладан (немесе $\varphi = k\beta + \frac{n}{m}\alpha$ формыладан) есептелінеді.

ДЕНЕЛЕРДІҢ СЫЗЫҚТЫ ӨЛШЕМДЕРІН ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: қарапайым өлшеу аспабымен танысу, оның істеу принципін және денелердің сызықты өлшемдерін штангенциркуль жәрдемінде анықтауды үйрену.

Қажетті аспаптар: штангенциркуль, сызғыш, өлшенетін денелер: сақина, цилиндр, пробирка, түтік, параллелопипед.



5-сурет

Штангенциркуль денелердің өлшемдерін 6-кестеде көрсетілген анықтықтарда өлшеуге мүмкіншілік беретін аспап саналады. Ол бір ұшында B тіс болған және миллиметрлерге бөлінген A металл сызғыштан тұрады (5-сурет), онда масштаб бойымен қозғала алатын және C нониуспен тәмінделген D пішініндегі рамка бар. Бұл рамканы бірер жағдайға келтіріп E винтпен бекітіп қою мүмкін. Тістер бір – біріне тығыз тиіп тұрғанда нониустың нөлі масштаб нөліне тура келіп тұрады. B тіс өлшенетін денеге тіреуіш болып қызмет етеді. Денелердің ішкі өлшемдері екі тістің FF бөліктерімен өлшенеді. Штангенциркуль жәрдемінде денелерді өлшеуді $0,1$ мм - ден, $0,025$ мм – ге дейін анықтықта өлшеу мүмкін. Өлшенуі қажет болған M дене B және D тістер арасына орналастырылады. FF тістер болса, ішкі сызықты шамалар (труба диаметрлерін), K стержень тереңдіктерді өлшеуде қолданылады.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. **Цилиндрдің биіктігін және диаметрін анықтау.** Цилиндрдің биіктігін анықтау үшін штангенциркульдің бір – біріне тығыз тиіп тұрған тістерін олар арасына цилиндр ығысатын етіп бір – бірінен (нониус негізгі шкалаға қатынасты) ұзақтастырылады. Кейін олардың арасына цилиндрді ұзынына қойып, D тісін бір аз ығыстырылады және цилиндрді азғана қысқан күйде E винт бекітіледі. Штангенциркульдің негізгі шкаласынан нониустың нолінші сызығына дейін болған толық бөлімдер, нониустан болса, толықтың бөліктері алынады (миллиметрлерде).

Цилиндрдің диаметрін өлшеу үшін оны штангенцикуль тістері арасына 5- суретте көрсетілгендей орналастырылады және шкаладан цилиндр диаметрінің мәні жоғарыдағы әдісте анықталады.

2. **Пробирканың тереңдігін анықтау.** Штангенциркульдің қозғалатын бөлігіндегі K стерженді пробирканың ішіне кіргізіп, оның ұшы пробирканың түбіне жеткенше D тісті B тістен ұзақтастырылады және E винт бекітіледі. Кейін шкаладағы пробирканың тереңдігі анықталады.

3. **Түтіктің ішкі диаметрін өлшеу.** Штангенцикуль тістерінің FF бөлімдерін түтіктің ішіне кіргізіп, түтіктің ішкі қабырғаларына тиіп тұратын етіп бір – бірінен ұзақтастырылады, кейін шкаладан диаметрінің ұзындығы табылады.

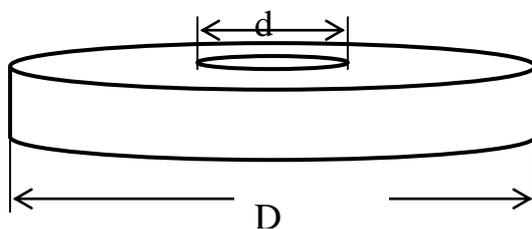
4. **Сақинаның ішкі және сыртқы диаметрін өлшеу.** Сақинаның ішкі диаметрін 3- жолда көрсетілгендей әдісте анықтап алынады. Кейін сақинаның қалыңдығы өлшенеді. Сақинаның сыртқы диаметрі $D=d+2h$ өрнектен табылады, бұл жерде D-сақинаның сыртқы диаметрі, d – ішкі диаметрі, h – қалыңдығы.

5. Параллелоипед тәрізді пластинканың көлемін есептеу

$$V=b*d*c$$

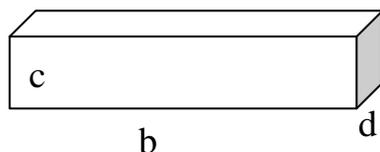
формуладағы: b – ұзындығы, d – ені, c - биіктігі.

b, d, c – ларды штангенцикуль жәрдемінде 0,01 мм анықтықта өлшеп, нәтижені 7 – кестеге жазамыз.



6-сурет

7-сурет



7 - кесте

N	d мм	Δd мм	b мм	Δb мм	c мм	Δc мм	V мм	ΔV мм	ε
1									
2									
3									
4									
5									

Тәжірибе нәтижелерінен пайдаланып, параллелопипедтің көлемін табу формуласынан көлемді есептейміз.

6. Барлық өлшеулерді бірнеше рет қайталап, өлшеніп жатқан шамалардың орташа арифметикалық мәні, абсолют және салыстырмалы қателіктері анықталынады.

?

1. Физикалық шама не?
2. Өлшеу не?
3. Физикалық шамаларды өлшеудің қандай түрлерін білесіз?
4. Тікелей және жанама өлшеулерге мысалдар айтыңыз.
5. Қателіктің қандай түрлерін білесіз?
6. Абсолют және салыстырмалы қателіктер қандай анықталады?
7. Қандай уақытта нәтижені график методта кескіндеу мүмкін?
8. Нониус деп неге айтылады? Одан қандай пайдаланылады?
9. Штангенциркульдің түзілісі және істеу принципін түсіндіріп беріңіз.

ДЕНЕЛЕРДІҢ СЫЗЫҚТЫ ӨЛШЕМДЕРІН МИКРОМЕТР ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

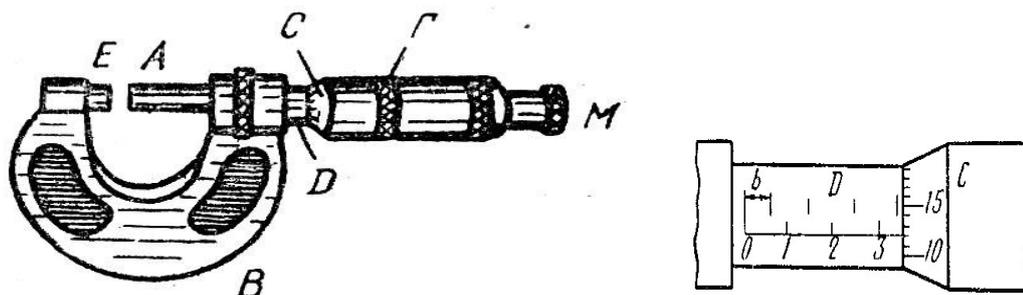
Жұмыстың мақсаты: қарапайым өлшеу аспабымен танысу, оның істеу принципін және денелердің сызықты өлшемдерін микрометр жәрдемінде анықтауды үйрену.

Қажетті аспаптар: микрометр, түрлі қалыңдықтағы сымдар, пластинкалар, геометриялық пішінге ие болған қатты денелер.

Микрометр. Сымдардың диаметрін, жұқа пластинкалардың қалыңдығын және басқа кіші денелердің сызықты өлшемдерін үлкен анықтықпен өлшеуге қызмет ететін нониусты аспап. Сондай – ақ, бұл аспап кейбір өлшеу құрылғылары (микроскоп, оптикалық труба және басқалар)дың негізгі бөлігін да құрайды. Микрометрлердің өлшеу шекаралары төмендегіше болады: 0-25 мм, 0-50мм, 0-75 мм, 0-600мм.

Микрометр (8-сурет) денелердің сызықты өлшемдерін 0,01-0,02мм ге дейінгі анықтықта өлшейді.

Микрометрдің негізгі бөлігі микровинт бойымен қозғалушы М – барабан есептелінеді. Микровинттың қадамының мәніне қарап, барабан белгілі бөлектерге бөлінген шкалаға ие. Бұл шкала бөлімінің мәні 0,01 мм ге тең. Өлшенетін дене А винт – стержені және Е тіреуіші арасына Г гильзаны бұрап қысып қойылады. А винттің ұшы дене бетіне тигеннен кейін М бөлігі дыбыс шығарады. Винттың қадамы, 1 мм немесе 0,5 мм болады. А винттің стерженіне С барабан кигізілген болып, бұл барабанның бетінде 50 немесе 25 бөлімді шкала бар. Микрометр жұмысқа дайын болса, А стержень Е тіреуішке тиіп тұрады. Осымен бірге негізгі шкаланың нолінші сызығы Г гильза қырымен, нониустың нөлінші сызығы болса шкала үстіндегі ось сызығымен бетпе – бет түсуі керек.



8-сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Микрометрдің жұмысқа дайындығына сенімді болғаннан кейін, оның А стержені мен Е тіреуіші арасына өлшенетін дене (сым, пластина, геометриялық пішінге ие болған денелер) ді орналастырып, Г гильзаны М құрылма арқылы дыбыс шыққанша бұрап, негізгі шкала және нониустан

пайдаланып, дененің сызықты өлшемдері (сымның диаметрі, пластинаның ұзындығы, биіктігі, ені) анықталады.

2. Әр бір дене үшін өлшеулер бірнеше рет қайталанады және өлшеніп жатқан шамалардың орташа мәні есептелінеді.

?

1. Микрометрдің түзілісі және істеу принципі түсіндіріп беріңіз.
2. Микрометрдің қадамы дегенде нені түсінесіз?
3. Штангенциркуль мен микрометрдің арасында қандай айырмашылық бар?
4. Микрометр жәрдемінде алынған нәтижелер мен денелердің көлемін қандай есептеу мүмкін?
5. Көлем деп неге айтылады және оның бірліктерін жазыңыз.

ДЕНЕЛЕРДІҢ ІЛГЕРІЛЕМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫС ЗАҢДАРЫН АТВУД МАШИНАСЫНДА ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: Ілгерілемелі қозғалыс кинематикасы және динамикасының заңдарын Ативуд машинасында тексеру.

Қажетті аспап және құрылмалар: Ативуд машинасы, жүктер жинағы, секундомер.

Теориялық негіздеме

Біз бұл лаборатория жұмысын өткізуде алғаш Ативуд машиналарының түзілісі жайлы толық мәлімет беріп өтуді жөн көрдік.

Ативуд машинасы (9(а)-сурет) жоғары жағында 12см диаметрлі 2 жылжымайтын шығыр орнатылған 86 см ұзындықтағы 1 вертикал стойка (баған) дан тұрады. Шығыр арқылы қалыңдығы 0,15 мм болған капрон жіп тасталып, оның ұшына 3 жүктер асылады. Әр қайсы жүк өзара винтті резьба арқылы біріктірілуші екі бөліктен тұратын цилиндрден тұрады.

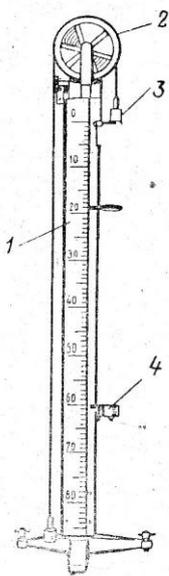
Жүктерді тепе-теңдікке келтіру үшін олардың ішіне питра салынады және таразылар жәрдемінде олардың массалары теңдестіріледі (0,1 г дейін анықтықта). Содан соң жүктер машина шығыры арқылы тасталған жіптерге асылады және шығырдағы үйкеліс күші тепе – теңдікке келгенше сол жақ цилиндрдегі питралар оң цилиндрге алып салынады.

Машина комплектінде екі: 4,00г және 2,00 г қосымша жүк беріледі (9(б)-сурет).

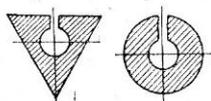
Машина электрленген болып, электрон секундомерді немесе электромеханикалық секундомер-датчикті автоматикалық түрде қосу және үзуге мүмкіндік береді.

Атвуд машинасының электр схемасы 9(в)-суретте көрсетілген. Схемадан көрініп тұрыпты, 3-4 клеммаларға 6В кернеу берілгенде электромагнит якорды өзіне тартады және К контактты үзеді. Электромагнит Атвуд машинасы стойкасының сол жағында, жоғарыда орналасқан. Якорь электромагнитке тартылып жатып, машина шығыры арқылы түсірілген жіпті қысады.

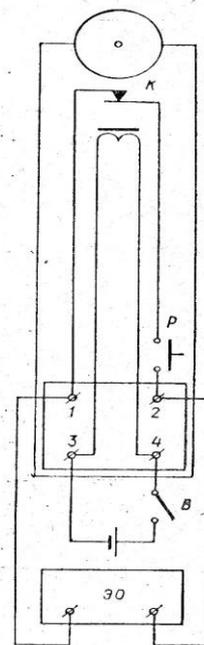
Атвуд машинасының 1-2 клеммаларына электрон секундомер немесе датчиктің кіруі қосылады. Бұл тізбекте, К контакттан тыс, қабылдаушы столдың Р контактары да бар. 4 қабылдаушы стол (9(а)-сурет) Атвуд машинасы стойкасының оң жағында, төменгі бөлігінде орналасқан. Егер стол көтерілген болса, Р контактар қосылған болады.



9(а) – сурет



9(б) – сурет



9(в) - сурет

Жүктер қосымша жүк әсерінде қозғалысқа келуі үшін электромагнит тізбегін В кілт жәрдемінде ұзу жетерлі. Мұнда якорь жүк байланған жіпті қойып жібереді және секундомер тізбегіндегі К контакт қиылысады. Егер мұнда қабылдаушы стол көтерілген болса, бір уақытта секундомер да қосылады. Жүк қабылдаушы столға түскенде секундомер тоқтайды.

Машинаны метрономмен бірге де істету мүмкін. Бұл жағдайда машинаны іске түсіру электромагнит тізбектегі В кілтті метроном ұруларынан бірімен бір уақытта ұзу арқылы жүзеге асырылады.

Жұмысты бастаудан алдын Атвуд машинасы туырлаушы винттер немесе машина орнатылған екі ағаш жәрдемінде анық вертикал орнатылады. Машина тура орнатылғанда оң жақтағы жүк қабулдаушы столдың центріне түсуі керек.

Қазіргі кезде Атвуд машинасы кинематика және динамикаға байланысты негізгі аспап есептелсе де, бірнеше маңызды кемшіліктерге ие: ол қымбат, істетуде жетерліше сенімді емес (көбінесе, көтерме столының электр контакты істемей қалады) бұл машина мен талапкерларға түсінікті етіп тәжірибе өткізу қиын.

Сондықтанда бұл лаборатория жұмысын өткізуде қарапайым құрылмадан пайдаланғанды жөн көрдік.

Вертикал күйде орнатылған және сантиметрлерде бөлінген ағаштан тұратын атвуд машинасынан пайдаланамыз (10-сурет). Оның жоғарысындағы А блок арқылы жіп өткізіліп, жіптің екі ұшына массалары бір – біріне тең болған G және G₁ жүктер асылады. G жүк үстіне 10-суретте көрсетілген V немесе G жүктерден бірі қойылса, жүйе бір қалыпты үдемелі қозғалысқа келеді.

Жүйені қозғалыстан тоқтату үшін немесе V қосымша жүкті қозғалыс уақытында түсіріп қалдыру үшін бекіткіштерден пайдаланылады. Бұл бекіткіштер машина бағанының кез келген жеріне бекітілуі мүмкін. Жүйенің қозғалыс жасауына кеткен уақытты өлшеу үшін секундомерден пайдаланылады.

Массалары M және M+m болған жүктерден тұратын және r радиусты J инерция моментіне ие болған жүйенің қозғалысын көрейік. Егер жүктердің массалары бірдей болса, бір жүк потенциал энергиясының басқа жүк потенциал энергиясының артуы арқылы пайда болады. Сол үшін жүйенің потенциал энергиясы жүктердің орналасу биіктігіне байланысты емес. Сол себепті жүктердің массалары әр түрлі болса, жүйе потенциал энергиясының өзгеруі қосымша жүктің күйі арқылы анықталынады.

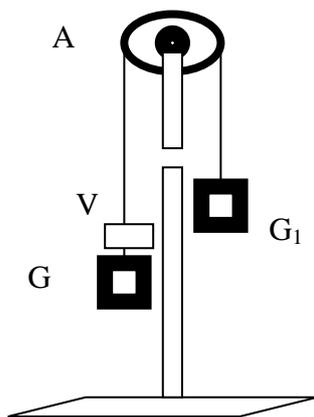
Егер жүктерден бірі төменге h қашықтықта өтсе, жүйе потенциал энергиясының өзгеруін төмендегіше жазу мүмкін:

$$\Delta E = mgh \quad (1)$$

Қозғалыс барысында бұл потенциал энергия ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалыс кинетикалық энергияларына айналады (үйкеліс күштеріне қарсы орындалған жұмысты есепке алмаса да болады):

$$mgh = \frac{Jw^2}{2} + \frac{(M+m)v^2}{2} + \frac{MV^2}{2} \quad (2)$$

10- сурет



Бұл теңдеуде $h = \frac{at^2}{2}$, $w = \frac{v}{r}$ - шеңбер бойымен қозғалыстағы бұрыштық жылдамдық, $v = at$ - сызықты жылдамдық екендігін есепке алсақ. (2) теңдеу төмендегі көрініске келеді:

$$a = \frac{mg}{2M + m + Jr^2}$$

Егер жіп өткізілген доңғалақтың инерция моменті есепке алынбаса,

$$a = \frac{mg}{2M + m} \quad (3)$$

табылады. (3) өрнек жәрдемінде жүктердің алған үдеуі табылады.

1-тапсырма

Жолдар заңы $S = \frac{at^2}{2}$ ны тексеру.

Оң жақа қосымша жүк қойылып, сол жақтағы жүк электромагнит пен қозғалмайтын күйге келтіріледі. Электромагнит өшіріліп, секундомермен жүктің бекіткішке ұрылуы үшін кеткен уақыт өлшеп алынады. Бекіткіш түрлі қашықтықтарға қойылып, тәжірибе үш рет қайталаынады.

Жүйедегі үдеулер бірдей екендігін есепке алып,

$$a = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \frac{2S_n}{t_n^2} \quad (1)$$

Өлшенген нәтижелерді (1) өрнекке қойып, оның туралығы тексеріледі.

Тәжірибеде $a_1 \approx a_2 \approx a_3 \dots$ болуы жүйенің бір қалыпты үдемелі қозғалыс жасап тұрғанын дәлелдейді.

2-тапсырма

Дененің бір қалыпты қозғалысын үйрену

Қосымша m және R сақинада ұстап қалынған уақыттан бастап M жүктер бір қалыпты қозғалыс жасай бастайды ($a = 0$). Мұндай қозғалыс үшін дененің жылдамдығы тұрақты болып,

$$\frac{S_1}{t_1} = \frac{S_2}{t_2} = \frac{S_3}{t_3} = \dots = \frac{S_i}{t_i} = v = const \quad (6)$$

өрнек орынды болады.

Мұны практикада тексеру үшін төмендегіше өлшеулер орындалады:

1. Оң жақтағы жүктің үстіне қосымша жүк қойылады.
2. Сол жақтағы жүк, төмендегі жүк электромагнит жәрдемінде ұстау арқылы сақтап тұрылады.
3. Ортадағы және төмендегі бекіткіштерді бағанның жоғарысынан бастап дәл ретте 20см және 60см қашықтықтарда орналастырыңыз.
4. Электромагнитті өшіріп, қосымша жүк ортадағы сақинада ұстап қалынған минуттан бастап, секундомерді жүргізіп жіберіңіз.
5. Секундомер арқылы жүктердің S қашықтықты өтуі үшін кеткен уақыт есептелінеді.
6. S қашықтық ретінде төмендегі және ортадағы бекіткіштердің шкала бойынша көрсеткіштері арасындағы айырмашылықты алыңыз.
7. Ортадағы бекіткіштің күйін өзгертпей, төмендегісін ығыстырып, тәжірибені кемінде бес рет қайталаңыз.
8. Өлшенген нәтижелерді (6) өрнекке қойып, оның туралығын тексеріңіз.

3-тапсырма

Ньютонның II заңын тексеру

Егер қосымша қойылған жүктерді бір жақтан екіншісіне алсақ, жүйенің массасы өзгермейді.

Осы күйлерді төмендегіше өрнектейді:

$$F_1 = ma_1; \quad F_2 = ma_2$$

$$S_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2; \quad S_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2$$

ты жазу мүмкін. Бұдан болса:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}; \quad \frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1 t_1^2}{a_2 t_2^2}, \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$$

Демек,
$$\frac{F_1}{F} = \frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$$

1- тапсырмадағы сияқты соңғы өрнек тәжірибе жәрдемінде тексерілуі қажет.

Блоктағы жүктердің бір жағына қосымша жүк (мысалы, 10 грамм) қойылады, екінші жағына 30 граммды жүк қойылады. Мұнда: $F_1 = 20$ гр болады. Бекіткіштің түрлі күйіндегі S , t өлшеп алынады. Кейін 40 гр ($F_2 = 40$ грамм) жүк қойып, S_2 , t_2 анықталады және

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$$

туралығы тексеріледі.

?

1. Атвуд машинасында қозғалыстағы жүктер үшін энергияның сақталу заңы қандай орындалып жатқанын түсіндіріп беріңіз.
2. Үдеу деп неге айтылуын, не үшін 1-тапсырмада үдеулер бірдей болуын түсіндіріңіз?
3. Атвуд машинасында бір қалыпты қозғалыстың жүзеге келу себебін түсіндіріңіз.
4. Ньютонның екінші заңы Атвуд машинасында қандай тексеріледі?
5. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ТҮЗУ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПІШİNДЕГІ ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫН АНЫҚТАУ

Қажетті аспап және материалдар: Тығыздығы өлшенуі қажет болған түрлі геометриялық пішіндегі денелер, штангенциркуль, микрометр, таразы тастарымен.

Жұмыстың мақсаты: Әр түрлі түзу геометриялық пішіндегі денелердің массасын таразы жәрдемінде өлшеп және көлемін олардың сызықты өлшемдері арқылы анықтап, заттардың тығыздығын табудан тұрады.

Теориялық негіздеме

Бізге белгілі, Ньютонның бірінші заңына байланысты, әр түрлі дене оған басқа денелер әсер етпегенше өзінің тыныштықтағы күйін немесе бір қалыпты қозғалысын сақтайды. Денелердің

тыныштықтағы күйін немесе бір қалыпты қозғалысын сақтауы **инерция** деп аталады.

Егер денеге басқа денелер әсер етсе, яғни күштер әсер етсе және олар өзара толық компенсацияланбаса, дене өз күйін өзгертеді: тыныш күйден қозғалысқа келеді немесе бір қалыпты қозғалыстан айнымалы қозғалысқа өтеді. Басқаша айтқанда үдеумен қозғалады. Тәжірибелер анық бірдей күш түрлі денелерге әр түрлі үдеу беруін, әсер етіп жатқан күш қанша үлкен болса, дененің алған үдеуі де соншалықты үлкен болуын көрсетеді. Демек, дененің алған үдеуінің шамасы тек әсер етіп жатқан күштің шамасына емес, бәлкім денелердің кейбір жеке қасиетіне де байланысты болады. Дененің бұл қасиеті **масса** деп аталатын физикалық шамамен сипатталады.

Әдетте бір түрлі күш әсерінде кіші үдеу алған дененің массасы үлкендеу, үлкен үдеу алған дененің массасы кіші болады. Тыныш тұрған (немесе қозғалыстағы) үлкен массалы денені қозғалысқа келтіру (немесе қозғалысын өзгерту) үшін үлкендеу күш пен әсер ету қажеттігі тәжірибелерден белгілі. Бұдан, дененің массасы қаншалықты үлкен болса, ол өз қозғалысының өзгеруіне соншалықты көп кедергі жасайды деген қорытынды келіп шығуы мүмкін. Осы мағынада **дененің массасы инерция өлшеуі** деу мүмкін. Сол үшін, әдетте, массасы үлкендеу болған дене инерттілеу делінеді.

Дененің массасы осы денедегі зат мөлшеріне тура пропорционал болады. Түрлі денелердің массаларын салыстыру үшін заттың тығыздығы түсінігінен пайдаланылады.

Заттың бірлік көлемдегі массасы осы заттың тығыздығы делінеді. Егер m массалы заттың көлемі V болса, ол жағдайда сипаттамаға көре, оның тығыздығы төмендегі формуладан табылады;

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Заттардың тығыздығы олардың табиғатына және температурасына байланысты болады. Температураның артуымен заттың көлемінің кеңейуі есебіне тығыздық кемейіп барады.

Дененің массасы инерциал санақ жүйелерінде, яғни үдеусіз қозғалатын жүйелерде тұрақты шама болып есептелінеді. Жерге біріктірілген санақ жүйесі инерциал санақ жүйесі болғаны үшін дененің тығыздығы географиялық кеңдік және биіктік бойынша өзгермейді.

Заттың тығыздығын оның массасын таразы жәрдемінде тарту және көлемін геометриялық өлшеу әдісімен анықтау және бұл шамалардың мәндерін (1) формулаға келтіріп қойып есептеу жолымен табу мүмкін. Егер дене бірер қарапайым геометриялық пішінге ие болса, дененің көлемі оның сызықты өлшемдерін өлшеу арқылы анықталады.

Бұл жұмыста анық геометриялық пішінге ие болған заттардың тығыздығы анықталады.

1. Параллелоипед пішініндегі дененің тығыздығы.

Параллелоипедтің ұзындығы l , ені b және биіктігі h болсын. Мұндай пішінге ие болған дененің көлемі

$$V = lbh$$

болады. Егер массасы m болса, ол күйде дененің тығыздығы төмендегі өрнектен табылады:

$$\rho = \frac{m}{lbh} \quad (2)$$

2. Куб пішініндегі дененің тығыздығы. Қырының ұзындығы l болған куб пішініндегі дененің көлемі $V = l^3$ болғандығы үшін, оның тығыздығы

$$\rho = \frac{m}{l^3} \quad (3)$$

болады, мұнда m - дененің массасы.

3. Цилиндр пішініндегі заттың тығыздығы. Биіктігі h , радиусы R болған цилиндр пішініндегі дененің көлемі $V = \pi R^2 h$ болады, оның тығыздығы төмендегі өрнектен табылады:

$$\rho = \frac{m}{\pi R^2 h} \quad (4)$$

4. Шар пішініндегі дененің тығыздығы. Радиусы R болған шар пішініндегі дененің көлемі $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ болады, оның тығыздығы болса

$$\rho = \frac{3m}{4\pi R^3} \quad (5)$$

өрнектен табылады.

Дененің сызықты өлшемдері штангенциркуль және микрометр жәрдемінде бірнеше рет өлшеніледі.

Штангенциркуль тістері ішкі жақтарымен бір – біріне тығыз тиіп тұрса, ол күйде сызғыштағы шкаланың нөлімен нониус нөлі бетпе – бет түседі. Өлшенуі керек болған дене штангенциркуль тістері арасына денені олар қысып қоймайтын етіп жай орналастырылады, соң Е винт бекітіледі және штангенциркульдің негізгі шкаласынан

және нониусынан пайдаланып, дененің ұзындығы анықталынады (1-лаборатория жұмысына қараңыз).

Жұмыстың орындалу реті:

1. Берілген денелердің массасын рычагты таразы жәрдемінде 4-5 рет 0,0001 кг анықтыққа дейін тартып анықтаңыз.

2. Денелердің сызықты өлшемдерін штангенциркуль немесе микрометр жәрдемінде (олардың өлшеу анықтығынша анықтықта) 4-5 рет өлшеңіз.

3. (2),(3),(4) және (5) формулалардан пайдаланып, берілген денелердің тығыздықтарын есептеп табыңыз.

4. Әр бір дене үшін тығыздықтың орташа мәнін табың және кестеден пайдаланып, денелер қандай заттан жасалғандығын анықтаңыз.

5. Абсолют, салыстырмалы қателіктерді есептеңіз.

?

1. Заттың тығыздығы деп неге айтылады?

2. Тығыздық қандай бірліктерде өлшенеді?

3. Тығыздық дененің пішініне байланыстыма? Температураға ше? Географик кеңдікке ше?

4. Параллелопипед, куб, цилиндр, шар тәрізді денелердің тығыздығы қандай анықталады?

5. Жұмыстың орындалу ретін түсіндіріп беріңіз.

6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СҮЙЫҚТА ЖҮЗЕТІН ЖӘНЕ БАТАТЫН ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫН ГИДРОСТАТИКАЛЫҚ ТАРТУ ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ

Қажетті аспап және материалдар: рычагты таразы тастары мен, суда жүзетін және бататын денелер, дистилденген су салынған стакан.

Жұмыстың мақсаты: Архимед заңынан пайдаланып рычагты таразы жәрдемінде суда батушы және жүзуші денелердің тығыздығын анықтау.

Теориялық негіздеме

Сұйыққа немесе газға батырылған денені — сол дене ығыстырып шығарған сұйықтың немесе газдың салмағындай күш вертикаль жоғары итереді. Бұл ежелгі Грецияның ұлы ғалымы, математигі,

механигі Сицилия аралындағы Сиракуз қаласында біздің заманымыздан бұрын 287 жылы туған Архимед ашқан заң. Енді осы заңды түсіндіріп көрейік.

Сұйықтың ішіне формасы куб болып келген әр қабырғасы a -ға тең қатты дене батырылсын. Оның бүйір жақтарына әсер еткен қысым күштері өзара компенсацияланады да кубқа горизонталь бағытта қорытқы күш әсер етпейді. Ал жоғарғы бетке түсірілетін қысым мен төменгі бетке түсірілетін қысымның айырмасы мынаған тең:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho_{\text{сүй}} gh_2 - \rho_{\text{сүй}} gh_1 = \rho_{\text{сүй}} ga \quad (1)$$

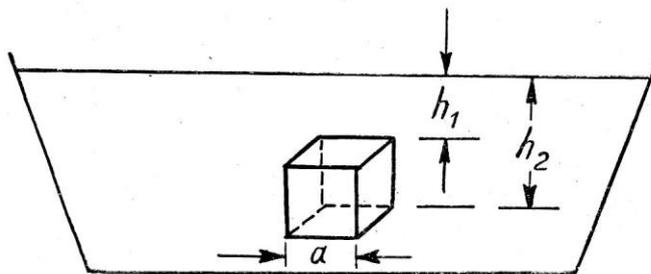
Егер осы қысымды куб жағының ауданына көбейтсек денені төменнен вертикаль жоғары итеретін күшті табамыз. Ол мынау

$$F_{\text{Арх}} = \Delta p a^2 = \rho_{\text{сүй}} ga^3 \quad (2)$$

мұндағы a^3 — кубтың көлемі. Онда (2) теңдеуінің оң жағы дене ығыстырып шығарған сұйықтың салмағы. Архимед заңына сүйеніп денелердің суға бату, жүзу, қалқу шарттарын көрсетуге болады. Расында да сұйыққа немесе газға батырылған денені оның салмағындай күш төмен тартады да, ол ығыстырып шығарған сұйықтың салмағындай күш жоғары итереді, яғни мынадай теңдеу орындалады: $\rho_{\text{дене}} \cdot \vec{g} \cdot V_{\text{дене}} = \vec{F}_{\text{томен}}$, $\rho_{\text{сұйык}} \cdot \vec{g} \cdot V_{\text{дене}} = \vec{F}_{\text{Арх}}$

Осы екі күшті салыстыра отырып мынандай қорытынды шығаруға болады. Егер: $\rho_{\text{сұйык}} < \rho_{\text{дене}}$ болса, онда дене батады, $\rho_{\text{сұйык}} = \rho_{\text{дене}}$ онда дене жүзеді, $\rho_{\text{сұйык}} > \rho_{\text{дене}}$, онда дене қалқиды.

Түзу геометриялық пішінге ие болмаған дененің көлемін практикада анықтау үшін Архимед заңынан пайдалану мүмкін. Бұл заңға орай, сұйыққа (немесе газға) батырылған дене өз көлеміне тең көлемде сұйық (немесе газ)ты ығыстырып шығарады және осы ығыстырып шығарған сұйық (немесе газ) салмағына тең мөлшерде өз салмағын жоғалтады.



11-сурет

Егер сұйықтың тығыздығы ρ_c оған батырылған дененің көлемі V болса, Архимед заңына орай, осы сұйыққа батырылған дененің салмағы $\rho_c Vg$ мәнге кемиді, бұл жерде g – еркін түсу үдеуі.

Демек, ығыстырып шығарылған сұйықтың массасы $m_c = \rho_c V$ ге, көлемі болса $V = \frac{m_c}{\rho_c}$ ға тең болады. Сұйыққа батырылған дененің көлемімен ығыстырып шығарылған сұйықтың көлемі теңдігін төмендегіні жаза аламыз: $\frac{m}{\rho} = \frac{m_c}{\rho_c}$, бұдан $\rho = \frac{m}{m_c} \rho_c$

Нақты жағдайда өлшеулер ауада өткізіледі. Сол үшін қатты дене мен сұйықтың ауада өз салмақтарынан бір бөлігін жоғалтуларын есепке алып, $\rho = \frac{m}{m_c} \rho_c$ өрнекке түзету енгізу қажет. Егер ауаның тығыздығы ρ_a болса, ол күйде $\rho = \frac{m}{m_c} \rho_c$ формула төмендегі көріністе жазылуы керек:

$$\rho = \frac{m + \rho_a V}{m_c + \rho_a V} \cdot \rho_c$$

Мұнда ығыстырып шығарылған сұйық массасының түзету енгізілген өрнегі

$$\rho_c V = m_c + \rho_a V$$

көрінісінде болады, мұннан сұйыққа (ауаға) батырылған дененің, дене ығыстырып шығарған сұйық (ауа) ның көлемі

$$V = \frac{m_c}{\rho_c - \rho_a}$$

ға тең болады. Көлемнің бұл мәнін $\rho = \frac{m + \rho_a V}{m_c + \rho_a V} \cdot \rho_c$ формулаға қойсақ, төмендегі өрнекке ие боламыз:

$$\rho = \frac{m(\rho_c - \rho_a)}{m_c} + \rho_a$$

Көз алдымызға келтірейік, қатты дененің сұйықта тартып анықталған түйінді массасы m_1 болсын. Ол күйде ығыстырып шығарылған сұйықтың массасы $m_c = m - m_1$ ге тең болады.

$$\rho = \frac{m(\rho_c - \rho_a)}{m - m_1} + \rho_a$$

формуладан көрінеді, сұйыққа бататын қатты дененің тығыздығын табу үшін оның ауадағы m және сұйықтағы m_1 түйінді массаларын өлшеу жетерлі.

Енді сұйықта жүзетін дененің тығыздығын қандай анықтау мүмкіндігін көріп шығамыз.

Көз алдымызға елестетейік, сұйықта жүзетін дененің ауадағы түйінді массасы m_2 болсын. Бұл денені ауадағы түйінді массасы m

болған бататын денеге байлап, сұйыққа батырсақ, екі дененің көлеміне тең көлемді сұйық ығыстырылып шығарылады. Егер бататын және жүзетін денелердің ауадағы түйінді массалары $M_1 = m_1 + m_2$, сұйықтағы түйінді массалары M_2 болса, ол кезде екі дененің бірге ығыстырып шығарылған сұйықтың массасы $M_1 - M_2$ ге, жүзетін дененің ығыстырып шығарылған сұйықтың массасына болса

$$m_c = (M_1 - M_2) - (m - m_1)$$

ге тең болады, мұнда m_1 -бататын дененің сұйықтағы түйінді массасы,

$$\rho = \frac{m(\rho_c - \rho_a)}{m_c} + \rho_a$$

өрнектегі m нің орнына m_2 ні, m_c ның орнына оның

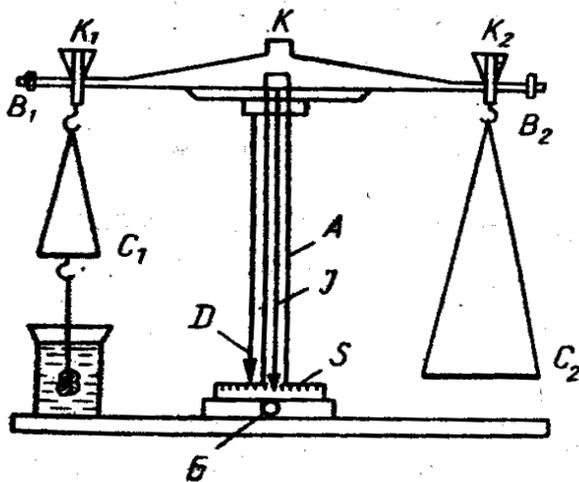
$m_c = (M_1 - M_2) - (m - m_1)$ формуладағы мәнін қойсақ, жүзетін дененің тығыздығы үшін төмендегі өрнекті келтіріп шығарамыз.

$$\rho = \frac{m_2(\rho_c - \rho_a)}{(M_1 - M_2) - (m - m_1)} + \rho_a$$

Бұл жұмыста денелердің массасы рычагты таразы жәрдемінде табылады. Рычагты таразының түзілу схемасы 12-суретте келтірілген.

Бұл таразы тең иінді және күйенте деп аталатын B_1, B_2 рычагтан құралған болып, бұл күйенте өзінің жазықтығына перпендикуляр (тік) ретте ортасына қойылған K болат призманың қырына сүйенеді.

12- сурет



Призманың қыры A бағанның үстіне орналастырылған пластинкаға сүйенеді. Күйентенің ортасындағы K призмадан бірдей ұзақтағы ұштарында C_1, C_2 таразының бір жағын асып қою үшін керек болатын құрылмалар- K_1 және K_2 призмалар бар. Ортадағы және шеткі призмалардың қырлары бір-біріне параллел болуы қажет.

Таразының бір жақ жүктері болмағанда күйенте горизонтал немесе айтарлы горизонтал жағдайда болуы керек. Күйентенің жағдайы шеткі призмаларды біріктіретін сызыққа перпендикуляр түрде күйентенің ортасына орнатылған I стрелкамен анықталады. Стрелканың ұшы A бағанның төменгі бөлігіндегі S шкала алдында

қозғалады. Күйенте горизонтал жағдайда тұрғанда стрелка шкаладағы орта сызық қарама-қарсысында тұруы керек.

Таразы жұмсалмай тұрған уақытта оны арретирлеп қою керек: таразы оның бағаны ішіндегі арнайы құрылма жәрдемінде арретирленеді, бұл құрылма таразының жақтарын және күйентені біраз жоғары көтеріп және олардың призмаларын босатып, тіреуіш ауданына басылып қажетсіз жейілуінен сақтайды. Таразыны арретирлеу немесе таразы күйентесін түсіру қажет болғанда, таразының төменгі бөлігіндегі Б бұралады.

Таразыны жұмсаудан алдын оны тура орналастыру қажет. Тура орналастырылған таразыда А баған тік тұрады. Бағанның тік немесе көлбеулігін мұндағы D дан білу мүмкін. D ның ұшымен таразы негізіне орналастырылған үштік бір – бірінің қарама – қарсысында тұруы керек. D ны бұл жағдайға таразының аяқтарындағы винттерді бұраумен келтіру мүмкін. Егер таразының бағаны тік жағдайға келтірілген болса, таразының жақтарына жүк қойылмағанда түсірілген күйентенің I стрелкасы S шкаласының орта сызығына дерлі тура келіп тұрады. Егер күйентенің стрелкасы шкаланың орта сызығына тура келмей қалса, яғни стрелка орта сызықтан екі – үш бөлімнен артық ауып кетсе, ол күйде таразыны B_1, B_2 күйентенің екі ұшындағы кішкене жез жүктерді екі жақа бұраумен туырлау мүмкін.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Таразының тура орналастырылған немесе орналастырылмағандығы тексеріледі. Егер таразы қате орналастырылған болса, жоғарыда көрсетілгендей тура орналастырылуы және стрелканың жағдайын S шкаламен белгілеп алынуы қажет.
2. Бататын және жүзуші денелерді жіпке байлап таразы жағына 12-суретте көрсетілгендей іліп, олардың ауадағы M_1, M_2 түйінді массалары 3-4 рет тартып анықталынады және орташа мәндері есептелінеді.
3. Кейін бататын денені таразы жағына ілініп, стакандағы суға батқанша түсіріледі. Мұнда таразы жақтары тепе – теңдікке келтірілгенде дене стаканның түбіне және қабырғасына тимеген дене бетінде ауа болмаған күйде суға толық батып тұруы керек. Содан кейін бататын дененің судағы m_1 түйінді

массасы 3-4 рет тартып анықталынады және орташа мәні есептелінеді.

4. Бататын денеге жүзетін денені бекітіп байланады және таразы жағына ілінеді, кейін оларды 3-те айтылғанындай, стакандағы суға батырып, олардың судағы M_2 түйінді массалары 3-4 рет тартып анықталынады және орташа мәні есептелінеді.
5. $M_1 = m + m_2$ бататын және жүзетін денелердің ауадағы түйінді массасы есептеп табылады.
6. Бөлме температурасын термометрдің атмосфера қысымын барометрдің көрсетулерінен анықтап, су және ауа үшін ρ_c және ρ_a тығыздықтарының осы жағдайға дәл мәндері тиісті кестеден жазып алынады.
7. $\rho = \frac{m(\rho_c - \rho_a)}{m - m_1} + \rho_a$ формулаға негізделіп, бататын дененің $\rho = \frac{m_2(\rho_c - \rho_a)}{(M_1 - M_2) - (m - m_1)} + \rho_a$ формулаға негізделіп жүзетін дененің тығыздығын есептеп табылады.
8. Тәжірибе жолымен анықталған тығыздықтардың мәнін кестеде берілген тығыздықтар мәнімен салыстырып бататын және жүзетін денелердің заттары анықталады.
9. Массаларын өлшеудегі абсолют және салыстырмалы қателіктер есептеп табылады.

?

1. Күйентелі таразы мен серіппелі таразының арасында қандай айырмашылық бар?
2. Күйентелі таразы мен серіппелі таразылар жәрдемінде қандай шамалар өлшенеді?
3. Архимед заңын сипаттаңыз.
4. Денелердің жүзу шарттарын түсіндіріңіз.
5. $\rho = \frac{m(\rho_c - \rho_a)}{m - m_1} + \rho_a$ және $\rho = \frac{m_2(\rho_c - \rho_a)}{(M_1 - M_2) - (m - m_1)} + \rho_a$ формулаларды келтіріп шығарыңыз.

ДЕНЕНІҢ БІР ҚАЛЫПТЫ ҮДЕМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫС КЕЗІНДЕГІ ҮДЕУІН АНЫҚТАУ

Ж ұ м ы с т ы ң м а қ с а т ы: 1. Үдемелі қозғалыста үдеу түсінігін тәжірибе негізінде бекіту. 2. Бір қалыпты үдемелі қозғалыс жасап жатқан дененің үдеуін анықтауды үйрену.

Ө л ш е у қ ұ р а л д а р ы: 1) өлшеуіш лента; 2) метроном.

М а т е р и а л д а р : 1) науа ; 2) шар; 3) ұстағышы мен қысқышы бар штатив; 4) металл цилиндр.

Теориялық негіздеме

Дененің өз орнынан қозғалмайтын басқа денелермен салыстырғандығы орнынан ығысуы, орын ауыстырулары **механикалық қозғалыс** деп аталады.

Нүкте немесе денені құрайтын кейбір бөліктерінің айналасындағы басқа нүктелер, денелер немесе басқа бөліктеріне қатынасты кеңістіктегі жағдайының өзгеруіне **механикалық қозғалыс** деп айтылады (механикалық қозғалыс барлық жерде пайда болады). Мысалы, адамның жерге қатынасты қозғалысы, велосипедшінің, поездің, ұшқыштың, масаның, оқ және снарядтың қозғалыстары механикалық қозғалыс болып саналады.

Нүктенің ең қарапайым қозғалысы – оның түзу сызық бойымен қозғалысы болып есептелінеді. Нүкте уақыт өтуімен түзу сызық бойымен ығысады, берілген сызықтағы бірер анық нүктеден ұзақтасады немесе оған жақындасады. Бұл күйде түзу сызық санақ жүйесі ретінде қабылданып, нүктенің қозғалысы оған салыстырмалы қаралады.

Бір қалыпты қозғалыстың ең қарапайым түрлері **бірқалыпты, бірқалыпты үдемелі** және **бірқалыпты баяу** қозғалыстар болып табылады.

Егер дене уақыттың бірдей аралықтарында бірдей жол жүрсе, онда мұндай қозғалысты **бірқалыпты қозғалыс** дейді. Мысалы, тегіс жердегі арықпен ағып жатқан су бірқалыпты қозғалыстың мысалы бола алады. Сағат тілінің айналуы да бірқалыпты қозғалыс. Пойыз ұзақ жолға шыққанда да бірқалыпты қозғалуы мүмкін. Ал ол қалаға жақындағанда қозғалысын бәсеңдетуі тиіс. Сонымен, пойыз бүкіл жолының бойында біраз бірқалыпты қозғалып келіп, аяғында қозғалысын баяулатып, бірқалыпсыз қозғалысқа түсуі мүмкін.

Бір қалыпты қозғалыс, яғни жылдамдығы (модулі және бағыты бойынша) тұрақты болатын қозғалыс тұрмыста жиі кездесе бермейді. Керісінше, біз уақыт өтуіне қарай жылдамдығы өзгеріп отыратын қозғалысты әлдеқайда жиі кездестіреміз. Мұндай қозғалысты **бір қалыпсыз** деп атайды.

Бір қалыпты емес қозғалыстың ерекшелігі — оның жылдамдығының айнымалы, тұрақты емес болуы.

Кез келген бірдей уақыт аралығында қозғалыс жылдамдығы сәйкес бірдей шамаға өзгеріп отыратын қозғалысты **бір қалыпты айнымалы қозғалыс** деп атайды.

Бір қалыпты айнымалы қозғалыс деп, траекториясы түзу сызықтан тұратын және лездік жылдамдығы бір қалыпты өзгертін қозғалысқа айтылады.

Егер Δv ның таңбасы жылдамдықтың таңбасымен бірдей болса, яғни уақыт өтуімен жылдамдық сан мәні жағынан артып барса, қозғалыс **бір қалыпты үдемелі қозғалыс** делінеді.

Егер Δv ның таңбасы жылдамдықтың таңбасына кері болса, яғни уақыт өтуімен жылдамдық сан мәні жағынан кеміп барса, қозғалыс **бір қалыпты кемімелі** немесе **баяуламалы қозғалыс** делінеді.

Үдеу деп, дененің лездік жылдамдығының өзгеру жылдамдығына мөлшер жағынан тең физикалық шамаға немесе дененің бірлік уақыт ішіндегі жылдамдығының өзгеруіне айтылады.

Үдеу деп жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады және ол төмендегіше бейнеленеді:

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Дененің қозғалыс соңындағы жылдамдығын жоғарыдағы формуладан табатын болсақ,

$$v = v_0 + at$$

Бастапқы жылдамдық, үдеу және қозғалу уақыты белгілі болса, дененің басып өткен жолы төмендегіше болады:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Көлбеу науамен домалайтын кішкене шардың үдеуін есептеу үшін шардың белгілі t уақытта жүріп өтетін s орын ауыстыру ұзындығын өлшейді. Бастапқы жылдамдықсыз бір қалыпты үдемелі қозғалыс кезінде $s = \frac{at^2}{2}$ болатындықтан, s пен t – ні өлшеп, шардың үдеуін анықтауға болады. Ол мынаған тең:

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

Ешбір өлшеу абсолют дәл болмайды. Оларда қашан да өлшеу құралдарының жетілмеуіне және басқа себептерге байланысты, қалай да қате кетеді. Қателіктер жіберілетін болса да, өлшеу жұмысын бірнеше әдіспен жүргізуге болады. Олардың ең қарапайымы – анықталатын шаманы, тәжірибенің шарты

өзгермейтін болғанда, бірнеше рет өлшеп тауып, олардың арифметикалық ортасын есептеу. Жұмысты осылай орындау ұсынылады.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Науаны штативтің көмегімен көкжиекпен кішкене бұрыш жасайтындай етіп бекіту керек. (13 - сурет).

Науаның төменгі шетіне металл цилиндрді қойыңдар.

2. Науаның жоғарғы шетінен метроном дыбыс берген бойда шарды жіберіп, ол цилиндрге барып соғылғанға дейін метрономның неше рет соққанын санаңдар. Тәжірибе жүргізерде метрономды минутына 120 рет соғатын етіп қойыңдар.

3. Науаның көкжиекпен көлбеулік бұрышын өзгерте отырып, шарды жібергеннен бастап оның цилиндрге барып соғылуына дейін метроном 4 рет соғатындай етуге болады.

4. Шардың қозғалыс уақытын есептеңдер.

5. Өлшеуіш лентаның көмегімен шардың s орын ауыстыру ұзындығын табыңдар. Науаның көлбеулігін өзгертпей (тәжірибе шарты өзгермеуі тиіс), метрономның төртінші соғуы мен шардың металл цилиндрге соғылған тұсын дәлдігімен алып (цилиндрді ол үшін аздап қозғауға болады), тәжірибені бес рет қайталау керек.

$$S_{\text{орт}} = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5}{5}$$

формуласы бойынша орын ауыстыру модулінің орташа мәнін, ал сонан соң үдеу модулінің орташа мәнін табыңдар:

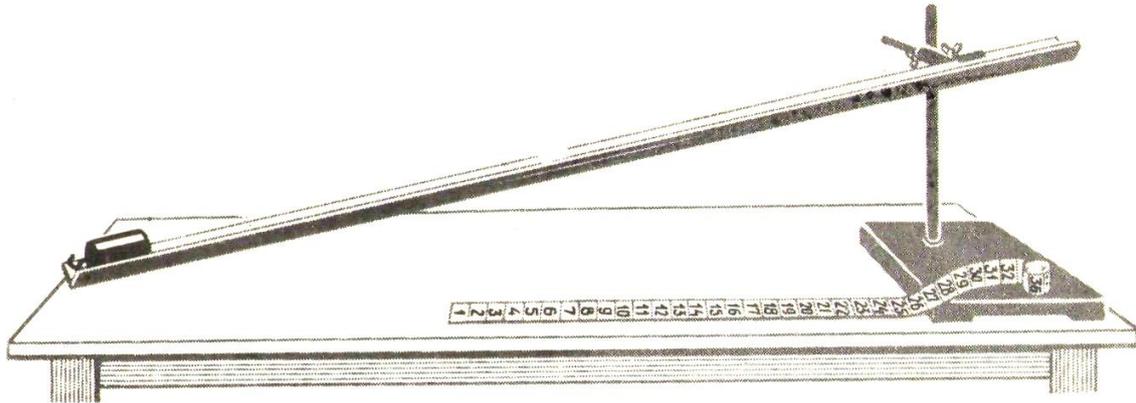
$$a_{\text{орт}} = \frac{2S_{\text{орт}}}{t^2}$$

6. $s = f(t)$ функция координаталарында s жолдың t уақытқа байланыс графигін сыз.

7. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазыңдар:

Тәжірибе нөмері	s , м	$S_{\text{орт}}$, м	Метрономның соғу саны	t , с	$a_{\text{орт}}$ м / с ²

8. Қателіктерді анықтаңдар.



13- сурет

?

1. Дене қашан жылдамдыққа ие болады?
2. Дене қашан үдеуге ие болады?
3. Не үшін дене бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыста үдеуге ие болады?
4. Дене бастапқы жылдамдықсыз қозғалғанда жол қандай табылады?
5. Траектория, жол және орын ауыстыру сипаттамаларын айтың.
6. Жұмысты орындау ретін түсіндіріңіз.
7. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

КӨКЖИЕККЕ КӨЛБЕУ БОЙЫМЕН АТЫЛҒАН ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: Дененің ұшу қашықтығының ату бұрышына байланысын тексеру.

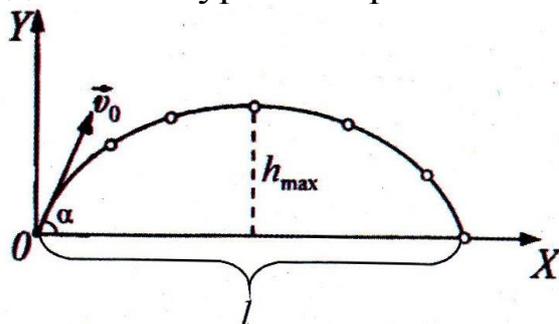
Қажетті аспап және құрылмалар: Баллистикалық пистолет, металл шар, өлшеу лентасы, 2-3 парақ ақ және қара қағаз (көшірме қағаз).

Теориялық негіздеме

Денелер горизонтал, вертикал және белгілі бұрыш астында атылуы мүмкін. Олардың мұндай қозғалыстары уақытында денеге әсер ететін күштер және олардың тең құраушысының бағыты түрліше болуы мүмкін.

Дененің сан мәні v_0 ға тең болған бастапқы жылдамдықпен көкжиекке қатысты бірегер α бұрыш астында көлбеу бойымен атайық. Ауаның кедергісі есепке алынбағанда шардың ауырлық күші әсерінде қозғалады және ол еркін түседі, яғни үдеуі $9,8 \text{ м/с}^2$ қа тең

болады. Атылған дененің қозғалысын күзеткенімізде ол алдын көкжиек бойымен атылған нүктесінен ұзақтасып жатқанын және вертикал бағытта көтеріліп жатқанын көреміз. Горизонтқа көлбеу бойымен атылған дене бір уақыттың өзінде көкжиек бойымен және вертикал бағыттармен қозғалады. Бұл қозғалыс траекториясының көрінісі төмендегі 14 - суретте көрсетілген.



14 - сурет

Көкжиекке көлбеу бойымен атылған дененің ұшу ұзақтығы l , максимал көтерілу биіктігі h_{\max} , толық ұшу уақыты $t_{\text{ұ}}$ төменде келтірілген өрнектер жәрдеміңде анықталынады:

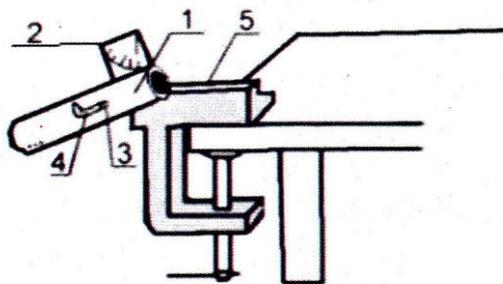
$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (1) \quad h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (2) \quad t_{\text{ұ}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (3)$$

Ұшу ұзақтығы l және көлбеу бойымен атылу бұрышы α белгілі болса, (1) өрнекке көре дененің атылу жылдамдығы төмендегіше есептелінеді:

$$v_0 = \sqrt{\frac{gl}{\sin 2\alpha}} \quad (4)$$

Құрылманың түзілісі және істеуі

Көкжиекке көлбеу бойымен атылған дене қозғалысын үйрену құрылмасының жалпы көрінісі 15-суретте көрсетілген. Суретте көрсетілген баллистикалық пистолёт құрылмасының негізі есептелінеді. Баллистикалық пистолёт төмендегі бөліктерден тұрады: пистолёт денесі (1), пистолёт денесіне орналастырылған транспортир (2), дене ішкі бөлігіне орналастырылған серіппе (3), тұтқыш (4). Тұтқыш ствол ішінде қозғалатын поршенге бекітілген. Пистолёт денесі қысқыш (5) пен бірлестіреді, 15- суреттегідей стол шетіне винт жәрдеміңде орналастырылады және пистолёт стержені стол бойымен бағытталған күйде орналастырылады. Пистолёт бұрыш өлшегіш жәрдеміңде 45° бұрыш астында орналастырылады.



15-сурет

Құрылманы жұмысқа түсіру үшін (4) тұтқышты арқаға тартып, серіппе қысылады және пистолёт стволының ішіне металл шар орналастырылады және тепкі міндетін өтейтін ілгек жәрдемінде серіппе қысылады. Ілгекті 90° бұрышқа бұрып кесікке түсіріледі. Пистолёттің үстіне өз оғында еркін 45° бұрышқа бұрыла алатын кесікті тепкі орнатылған. Тепкі сол жаққа бұрылғанда, оның кесігінде орналасқан ілгекті ығыстырып, пистолёт кесігінен шығарады. Сонда еркін стержень ұшы серіппенің серпінділік күші есебіне алдында қарай тез қозғалады және шарды күшпен тартады. Шар осы күш есебіне атылады. Шар барып түсетін стол бетіне бір парақ ақ қағаз қойылады және бетіне көшірме қағаз қапталады. Бұл болса, түскен жеріне қағазда белгі қалдыруына мүмкіндік тудырады. Пистолёт қысқышқа сондай қосылған, мұнда ол түрлі бұрыштарда орналастырылғанда да шардың центрі ығыспай қалады. Сонымен, ұшу қашықтығын өлшеуде есеп басы барлық уақыт өзгермейді.

Шардың ұшу биіктігі және ұзақтығын өлшеуде екі сантиметрлерге бөліп қойылған ұзындығы 150 см болған өлшеу лентасынан пайдаланылады.

Шарды бірнеше рет атқандан кейін көшірме қағаз алынады және ақ қағаздан шардың түскен жерлері анықталады. Аспаптар тура орналастырылғанда шардың түскен жерлері әр жерде болмайды. Сол үшін тәжірибені өте дәл анықтықта орындау керек болады.

Ескерту:

1. Тәжірибе өткізуде пистолёттен өте сақтықпен пайдалану керек.
2. Пистолётке шар орналасқанында көзбен қарау мүмкін емес!

Жұмыстың орындалу реті:

Бірінші тапсырма. Шар ұшу қашықтығының ату бұрышына байланысын үйрену.

1. Пистолётті түрлі бұрыш астында орналастырың және әр бір күйде үш, төрт рет атып көріңіз.

2. Шар түскен нүктелерді қаламмен белгілең және орташа түсу нүктесін анықтаңыз. Өлшеу лентасы мен шардың қашықтықтарын өлшең және нәтижелерін кестеге кіргізіңіз.

Бұрыш, градус есебінде	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Қашықтық, см есебінде											

3. Тәжірибеде табылған нәтижелер негізінде қорытынды шығарыңыз.

Екінші тапсырма. Бастапқы жылдамдықты анықтау.

1. Шардың бастапқы жылдамдығын анықтау үшін жоғарыда өткізілген тәжірибе нәтижелерінен пайдаланылады.
2. Пистолетті көкжиекке қатысты 45° бұрыш астында орналастырың және оған үш рет оқ салып атың, ұшу қашықтығының орташа мәнін анықтаңыз.
3. Анықталған нәтижелер негізінде шардың бастапқы жылдамдығын есептеңіз.

Үшінші тапсырма. Шар көтерілген биіктігінің атылу бұрышына байланысын үйрену.

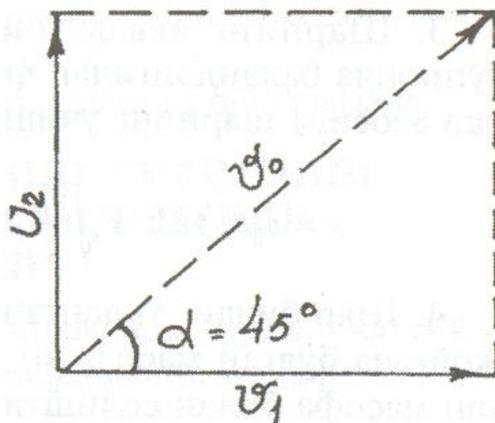
Көкжиекке қатысты 45° бұрыш астында орналастырылған шардың бастапқы жылдамдығы v_0 күрделі жылдамдық болып, оны горизонтал бағытталған бір қалыпты қозғалыс жылдамдығы v_1 және вертикал бағытталған бір қалыпты баяуламалы қозғалыстың бастапқы жылдамдығы v_2 ден тұратын ұйымдастырушыларға ажырату мүмкін.

Суреттен көрініп тұрыпты, үшбұрыш тең бұйырлы соған орай $v_1=v_2$ және Пифагор теоремасына орай $v_0^2=v_1^2+v_2^2$ болады. Шардың көтерілу биіктігі төмендегі формуладан анықталады

$$h = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_0^2}{4g}$$

Біз тексеріп жатқан вертикал бағытталған жылдамдық горизонтал жылдамдыққа тең. Соған орай, тең уақыт аралықтарында жоғарыға вертикал көтерілу биіктігі шардың горизонтал бағытта ұшып өткен қашықтығының жарымынан екі есе кіші болуы керек, яғни:

$$h = \frac{s}{4}.$$



16-сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Есептеу жолымен табылған нәтижені тәжірибеде тексеріңіз.
2. Лаборатория штативін шар атылған нүктеден $\frac{s}{2}$ қашықтықта орналастырыңыз.
3. Штативке орналастырылған және вертикал жазықтықта орналасқан сақина центрін 33,3 см биіктікте орналастырыңыз.

Ескерту:

Шар 45° бұрыш астында орналастырылғанда және қашықтық тура таңдалғанында ол сақина ішінен өтеді.

Төртінші тапсырма. Жоғарыға тік атуда шардың көтерілу биіктігін анықтау.

1. Шардың бастапқы жылдамдығын білген күйде, оның көтерілу биіктігін теориялық жолмен төмендегі формула жәрдемінде есептең

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

2. Пистолетті вертикал ату үшін орналастырың және бір неше рет атып шардың көтерілу биіктігін анықтаң.
3. Тәжірибеден табылған нәтижені теориялық есептелген нәтижемен салыстырың.

Ескерту:

1. Әдетте айырмашылық 1,2 см ден аспайды.
2. Талапкер баяндалған 4 жұмысты екі сағатта орындап болмауы мүмкін. Үлгермеген бөлім сабақтан тыс уақыттарда өздігінше атқарылады.

?

1. Бұрыш астында атылған дене жылдамдығы және ұшу ұзақтығы қандай анықталады?
2. Бұрыш астында атылған дененің ұшу ұзақтығы нелерге байланысты болады?
3. Вертикал атылған дененің бастапқы жылдамдығы және көтерілу биіктігі қандай табылады?
4. Еркін түсу үдеуінің физикалық мағынасын айтыңыз?
5. Еркін түсу үдеуі нелерге байланысты?
6. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.
7. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ГОРИЗОНТАЛЬ ЛАҚТЫРЫЛҒАН ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: ауырлық күшінің әсерінен горизонталь бағытта қозғалған денеге берілген бастапқы жылдамдықты өлшеу.

Ө л ш е у қ ұ р а л д а р ы: миллиметрлік бөлік түсірілген сызғыш.

М а т е р и а л д а р : 1) Ұстағышы және қысқышы бар штатив; 2) шарды домалататын астауша; 3) фанер тақтай; 4) шар; 5) қағаз; 6) бастырғыштар; 7) көшірме қағаз.

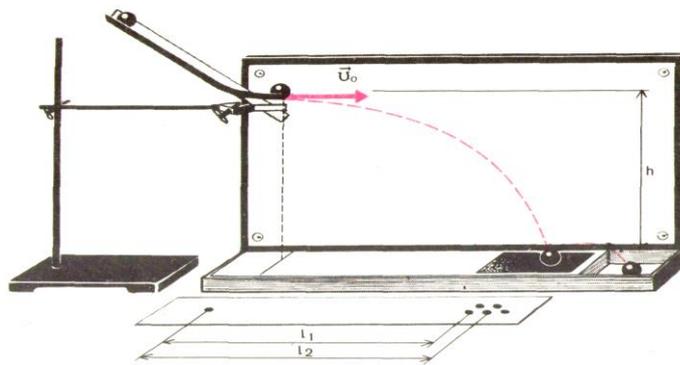
Теориялық негіздеме

Егер кішкене шар горизонталь лақтырылса, ол парабола бойымен қозғалады. Координаттың бас нүктесі үшін шардың бастапқы орнын аламыз. Х осін горизонталь, ал у осін тік төмен қарай бағыттаймыз. Онда кез келген t уақыт мезетінде $x = v_0 t$, ал $y = \frac{gt^2}{2}$ болады. Егер t -ның орнына дененің h биіктіктен түсу уақытын қойсақ, онда l ұшу қашықтығы x координаттың мәні болып табылады. Сондықтан былай жазуға болады: $l = v_0 t$; $h = \frac{gt^2}{2}$. Осыдан түсу уақыты t мен v_0 бастапқы жылдамдықты оңай табуға болады:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{және} \quad v_0 = \frac{l}{t} \quad \text{немесе} \quad v_0 = l \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Егер шарды тәжірибе шартын өзгертпей, бірнеше рет қайталап жіберсек (17–сурет), онда ескерілмейтіндей әр түрлі себептің әсерінен ұшу қашықтығы мәнінің біршама өзгешеліктері болады.

Бұл жағдайда өлшенетін шаманың мәні үшін, бірнеше тәжірибеде табылған нәтижелердің арифметикалық ортасы алынады.



17-сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Штативтің көмегімен фанер тақтайды тігінен бекітіңдер. Сол қысқышпен астаушаның шығыңқы жерінен қоса қыстырып бекітіңдер. Астаушаның имек басы горизонталь қалыпта болуы керек (17 – суретті қараң).

2. Фанерге ені 20см ден кем емес бір парақ қағазды бастырғышпен бекітіп және қондырғы табанындағы ақ қағаздың бетіне көшірме қағазды жайып қойыңдар.

3. Шарды астаушаның бір ғана жерінен бес рет қайыра жіберіп, тәжірибені қайталаңдар.

4. h биіктігі және l ұшу қашықтығын өлшеңдер. Өлшеу нәтижесін мына кестеге жазыңдар:

Тәжірибе нөмері	h , м	l , м	$l_{орт}$, м	$v_{орт}$, м/с

5. Бастапқы жылдамдықтың орташа мәнін $v_0 = l_{орт} \sqrt{\frac{g}{2h}}$ формуласы бойынша есептеңдер.

6. $x = v_0 t$, $y = \frac{gt^2}{2}$ формулаларын пайдаланып, дененің x координатының (y координаты есептелген) әрбір 0,05 с сайынғы мәнін табыңдар және фанер тақтайға бекітілген қағаз бетіне қозғалыс траекториясын салыңдар.

t, c	0	0,05	0,10	0,15	0,2
$x, м$	0				
$y, м$	0	0,012	0,049	0,110	0,190

7. Шарды астаумен домалатып жіберіп, оның траекториясы салынған параболаға жақын екеніне көз жеткізіндер.

?

1. Ауырлық күшінің әсерінен горизонталь бағытта қозғалған денеге берілген бастапқы жылдамдық қандай анықталады?
2. Бастапқы жылдамдықтың орташа мәні қандай шамаларға байланысты?
3. Горизонталь атылған дененің бастапқы жылдамдығы қандай табылады?
4. Горизонталь атылған дененің түсу уақыты қандай табылады?
5. Еркін түсу үдеуінің физикалық мағынасын айтың?
6. Еркін түсу үдеуі нелерге байланысты?
7. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.

БІРНЕШЕ КҮШТІҢ ӘСЕРІНЕН БОЛАТЫН ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЕПЕ – ТЕҢДІК ЖАҒДАЙЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: рычаг тепе – теңдік қалыпта тұрғанда оның иіндеріне түсірілген күш моменттерінің арасындағы қатысты анықтау.

Өлшеу құралдары: 1) сызғыш; 2) динамометр.

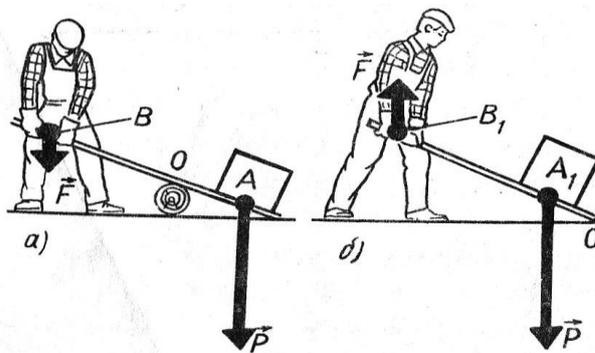
Материалдар: 1) муфталы штатив; 2) рычаг; 3) жүктер жиынтығы.

Теориялық негіздеме

Күнделікті үй тұрмысында және техникада әр түрлі жұмыстарды орындауда *қарапайым механизмдер* жиі қолданылады. Осындай механизмдердің ішіндегі ең қарапайымы және өте көп тарағаны — рычаг. 18 а) және б)-суреттерде жұмысшы жүкті көтеру үшін рычаг ретінде ломды қалай пайдаланатыны көрсетілген. Бірінші жағдайда (а) жұмысшы ломның қолмен көтеретін B ұшын күшпен төмен басады, ал екінші жағдайда (б) ол ломның қолындағы B ұшын жоғары көтереді. Жұмысшының әсер етуші F күшіне жүктің салмақ (вертикаль төмен бағытталған) P күші қарсы әсер етеді.

Жұмысшы жүкті көтергенде ломды оның тапжылмайтын бір нүктесі — тіреу болар O нүктесі — арқылы өтетін осьтен айналдыра жоғары қарай бұрады. Егер жұмысшының күші жүк салмағының қарсы әсерін жеңе алатын болса, онда жұмысшы жүкті көтереді де

жұмыс істеледі. Бұл рычагтың, айналу осі күштердің түсу B және A нүктелерінің арасында орналасқан. Рычагқа әсер ететін P және F күштерінің (а) екеуі де бір жаққа бағытталған. Бұл рычагқа әсер (б) етіп тұрған P мен F күштері A мен B нүктелеріне түсірілген және қарама-қарсы жаққа бағытталған.



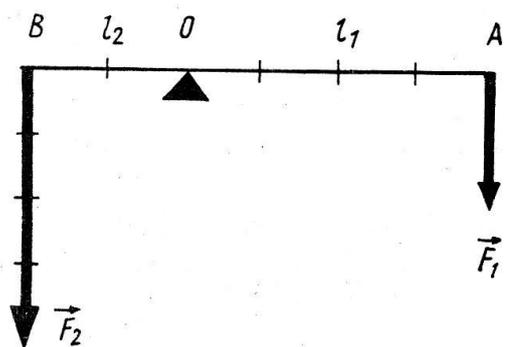
18-сурет

Рычагқа әсер ететін күштің бағытын көрсететін түзуге тіреу нүктесінен түсірілген перпендикулярдың ұзындығы **күш иіні** деп аталады. Суреттегі OA кесіндісі — P күшінің иінін, OB кесіндісі — F күшінің иінін береді. Сонымен, бұл әсер ететін күштер рычагты осьтен айналдыра екі бағытта (сағат тілінің бағытымен және оған қарсы) бұрады.

Денені көтеру үшін оған түсірілген күш дененің салмағын теңгере алатын болуы керек, сонда ғана денені көтеруге болады. Сондықтан денені рычагпен көтергенде, рычаг денеге оның салмағына тең күшпен әсер етуі қажет. Мұны іске асыру үшін біз рычагқа өзіміздің қол күшімізді оның тіреу нүктесінен белгілі бір қашықтыққа апарып түсіруіміз керек. Көлденең ілулі тұрған білеушеге, иінағашқа, рычагқа шамалары әр түрлі жүктерді іле отырып және әр жолы оған әсер еткен күштер мен бұл күштердің иіндерін өлшей отырып, оларды тепе-теңдік қалыпқа келтіруге болады.

Тікелей тәжірибелер жасалық, олардың нәтижелері: бірінші тәжірибеде иіндердің қатынасы $200 \text{ г} \cdot 20 \text{ см} = 100 \text{ г} \cdot 40 \text{ см}$; екінші тәжірибеде $200 \text{ г} \cdot 10 \text{ см} = 50 \text{ г} \cdot 40 \text{ см}$; үшінші тәжірибеде $50 \text{ г} \cdot 30 \text{ см} = 150 \text{ г} \cdot 10 \text{ см}$ болсын. Бұл соңғы өрнектерде жазылған күштің өз иініне көбейтіндісі **күш моменті** деп аталады. (Момент — латынның «моментум» — қозғау деген сөзінен алынған). Сонда бірінші тәжірибеде күш моменті $4000 \text{ г} \cdot \text{см}$, екінші тәжірибеде $2000 \text{ г} \cdot \text{см}$ үшіншіде — $1500 \text{ г} \cdot \text{см}$ болып шығады. Демек, күш моментінің өлшем бірлігі $\text{г} \cdot \text{см}$, $\text{кг} \cdot \text{м}$ екен. Рычаг тепе-тең қалпында тұру үшін оны сағат тілінің бағытымен айналдыратын

күштің моменті рычагты сағат тілінің бағытына қарсы айналдыратын күштің моментіне тең болу керек. 19-суретте



19-сурет

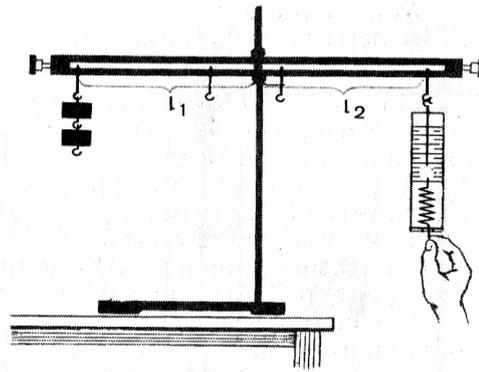
көрсетілген рычагтың айналу осі, яғни тіреу нүктесі оның ұшында болып, оған әсер етуші F_1 және F_2 күштер қарама-қарсы бағытталған, рычаг тепе-тең қалпында тұрғанда күш моменттері өзара тең болады.

F_1 және F_2 күші әсер еткенде рычаг тепе-тең қалпында тұру үшін рычаг иіндерінің әсер етуші күштерге көбейтіндісі тепе-теңдікте болуы тиіс. Ол былай жазылады: $F_1 l_1 = F_2 l_2$ (19-сурет).

Бұл ереже тек рычагтың өзіне ғана емес, кез келген рычаг тәрізді қос иінді пішіндерге де қолданылады. Мұндай жағдайда тек **күш иіні** деп тіреу нүктесінен күштің бағытын көрсететін сызыққа түсірілген перпендикулярдың ұзындығын айтады. Мысалы, автомобильдің тежеу педаліндегі әсер етуші күш иіндерінің бірі имек, екіншісі түзу болуы мүмкін.

Бір баса көрсететін нәрсе рычагты — пайдаланғанда жұмыстан ұтыс болмайды. Рычагты пайдаланғанымызда біз тек қана не күштен, не жолдан ұтамыз. Біз күшімізді ұзын иінге түсірсек, онда күштен ұтамыз, бірақ жолдан сонша есе ұтыламыз. Күшті қысқа иінге түсірсек, біз жолдан ұтамыз, бірақ күштен сонша есе ұтыламыз.

Рычаг тепе – теңдік қалыпта тұрғанда оның иіндеріне түсірілген күш моменттерінің арасындағы қатынасты анықтау үшін рычаг иіндерінің біріне бір немесе бірнеше жүк қойып, ал екіншісіне динамометрді бекітеді (20 – сурет).



20 -сурет

Динамометрдің жәрдемімен рычаг тепе – теңдікте тұратындай күш түсіретін F күшінің модулін өлшейді. Осы динамометрдің жәрдемімен P жүктің салмағының модулін де өлшейді. Рычаг иінінің ұзындығын сызғышпен өлшейді. Осыдан кейін P және F күштерінің M_1 және M_2 моменттерінің абсолют мәнін анықтайды:

$$M_1 = Pl_1 \quad \text{және} \quad M_2 = Fl_2$$

$\frac{M_1}{M_2}$ қатынасын бірмен салыстыра отырып, моменттер ережесін эксперименттік жолмен бақылау қателігі жайлы қорытынды жасауға болады.

Жұмысты орындау реті

1. Рычагты штативке орналастырып, оны ұштарындағы жылжымалы гайкалардың көмегімен горизонталь қалыпта теңестіреді.
2. Рычагтың бір иінінің бір нүктесіне жүк іледі.
3. Рычагтың екінші иініне динамометрді іліп, рычаг тепе – теңдік қалыпқа келу үшін, оған қандай күш түсіру керек екенін анықтаңдар.
4. Сызғыштың көмегімен рычаг иіндерінің ұзындықтарын өлшейді.
5. Динамометрдің көмегімен жүктің P салмағын анықтайды.
6. F және P күш монометрінің абсолют шамасын табады.
7. Табылған шамаларды кестеге жазады:

$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$P, \text{ Н}$	$F, \text{ Н}$	$M_1 = Pl_1$ Н•м	$M_2 = Pl_2,$ Н •м

8. $\frac{M_1}{M_2}$ қатынасын бірмен салыстырыңдар, моменттер ережесін эксперименттік жолмен тексеру қателігі жайлы қорытынды жасаңдар.

?

1. Рычаг тепе – теңдік қалыпта тұрғанда оның иіндеріне түсірілген күш моменттерінің арасындағы қатынасты қандай анықталынады?
2. F_1 және F_2 күші әсер еткенде рычаг тепе-тең қалпында тұру үшін рычаг иіндерінің әсер етуші күштерге көбейтіндісі тепе-теңдікте болуы тиіс. Ол қалай жазылады?
3. M_1 және M_2 моменттерінің абсолют мәні қандай анықталынады?
4. Жұмысты атқару тәртібін түсінтірің.
5. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаң

ЕРКІН ТҮСУ ҮДЕУІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МАЯТНИК ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: “g” ның мәнін тәжірибеде анықтау
Қажетті аспап және құрылмалар: математикалық маятник, секундомер, сызғыш және штангенциркуль.

Теориялық негіздеме

Егер массасын бір нүктеде шоғырланған деп алуға болатын болса, маятник нүктелік (немесе математикалық) деп аталады. Жіңішке жіпке ілінген дене математикалық маятниктің мысалы болады. Математикалық маятник дегеніміз жіңішке жіпке ілінген жүк, мұндағы жүктің массасы — жіптің массасынан әлдеқайда ауыр, ал өлшемі жіптің ұзындығынан әлдеқайда кіші. Жіпті салмақсыз деп, ал жүкті (денені) материялық нүкте деп есептеуге болатындай етіп алған. Ауытқу бұрышы аз болса математикалық маятниктің тербелістерін гармоникалық деп санауға болады.

Жіп вертикал қалыпта тұрғанда маятник тыныштықта болады. Тепе-теңдік күй дегеніміз осы (21(a) – сурет). Егер маятникті бір жағына қарай, мысалы, A қалпына дейін ауытқытып қоя берсек (21(б) – сурет), ол тербеле бастайды.

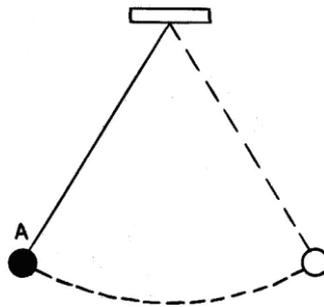
Бір карағанда маятниктің қозғалысы серіппеге бекітілген дененің қозғалысына мүлде ұқсамайтын сияқты. Дене түзу бойымен, ал жіпке ілінген жүк $A\vec{B}$ доғаның бойымен тербеледі.

Алайда егер маятникті өте аз бұрышқа ауытқытсақ, мысалы, A нүктесіне дейін емес, a нүктесіне дейін (21(в) – сурет) онда доғаның түзуден (хордадан) айырмашылығы шамалы болады. Шамалы бұрышқа ауытқыған математикалық маятниктің тербелісі серіппеге бекітілген дененің тербелісіне ұқсас («дене — серіппе» тіркесін көп жағдайда серіппелі маятник деп атайды). Ал ұқсастықтың себебі — екі жүйедегі тербелісті тудыратын күштер бір-біріне ұқсас.

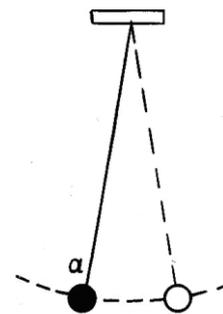
Маятник тербелісін тудыратын күш. Тепе-теңдік жағдайында (21(а) – сурет) жүкке $\vec{F}_a = m\vec{g}$ ауырлық күші және керілген жіптің серпінділік күші $\vec{F}_{серп}$ әсер етеді. Маятник тыныш тұр, ендеше, бұл күштер бірін-бірі теңгереді: $\vec{F}_a + \vec{F}_{серп} = 0$



21(а) – сурет



21(б) – сурет



21(в) - сурет

Маятник кішкентай α бұрышқа ауытқыды дейік (22-сурет). Жүкке бұрынғыша \vec{F}_a және $\vec{F}_{серп}$ күштері әсер етеді. Бірақ олар енді бірін-бірі теңгермейді. Олардың тең әсерлі күші \vec{F} жанаманың бойымен $A\vec{E}$ доғасына бағытталған. Егер келіскеніміздей, α бұрышы аз болса, онда жүк қозғалатын $A\vec{E}$ доғасының AB жарты хордасынан айырмашылығы өте аз болады. Сондықтан маятниктің жүгі хорданың бойымен қозғалады, оның, бойымен біз координат осін бағыттадық. $\vec{F}_a + \vec{F}_{серп} = 0$ теңдіктің орнына біз былай жазуға тиіспіз:

$$\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_{серп}$$

Бұл теңдікті күш векторларының $A\vec{K}$ доғасының жанамасына түсірілген проекциялары үшін жазамыз. Бірақ, α бұрышының

мардымсыз екенін ескеріп, ол проекцияларды X осіне түсірілген проекциялар деп есептеуге болады: $F_x = (F_a)_x$

Тең әсерлі \vec{F} күшінің F_x проекциясы \vec{F}_a ауырлық күшінің $(F_a)_x$ проекциясына тең, өйткені $\vec{F}_{серпн}$ серпінділік күшінің жанамаға түсірілген проекциясы нөлге тең.

22-суреттен $(F_a)_x$ модулі жөнінен $mg \sin \alpha$ -ға тең екені көрініп тұр. OBA үшбұрышынан $\sin \alpha = \frac{x}{l}$ екені шығады, мұндағы x — жүктің тепе-теңдік күйден ауытқуы, l — аспаның ұзындығы. Сонда алдыңғы өрнекті былай жазуға болады: $F_x = -\frac{mg}{l}x$

“-” таңбасы \vec{F} күші ығысуға қарсы бағытталғанын білдіреді.

Маятниктің тербеліс периоды. \vec{F} күші дегеніміз маятникті тербелуге мәжбүр ететін күш. $F_x = -\frac{mg}{l}x$ формуладан бұл күштің серіппелі маятникті тербелуге мәжбүр еткен $(F_{серпн})_x = -kx$ серпінділік күшіне ұқсас екені көрініп тұр. Айырмашылығы мұнда серіппенің қатандығы k -ның орнында $\frac{mg}{l}$ тұр. $\vec{F}_{серпн}$ күші сияқты, \vec{F} күші дененің тепе-теңдік қалпынан x ауытқуына пропорционал және ығысуға қарама-қарсы бағытталған $(F_x = -\frac{mg}{l}x)$. Математикалық және серіппелі маятниктің ұқсас болу себебі осында. Бірдей себептер бірдей салдарға келтіреді. Бұл жағдайда математикалық маятниктің мәнін шығарып алу үшін $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

формуласындағы k -ның орнына $\frac{mg}{l}$ -ді қоямыз. Сонда математикалық маятник тербелісінің T периоды мынаған тең:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

бұл формуладан математикалық маятниктің тербеліс периоды ілінген жүктің массасына және тербеліс амплитудасына (егер ол аз болса!) тәуелсіз екені шығады. Жердің өзіміз тұрған орындағы еркін түсу үдеуі g тұрақты шама болып табылады, маятниктің тербелісі тек аспаның ұзындығымен анықталады.

Кез келген маятниктің белгілі бір тербеліс периоды болатындықтан, маятниктерді сағаттардың жүрісін реттеу үшін пайдаланады. Тербеліс периоды 2 с (маятникті үлкен сағат) не тербеліс периоды 1 с («шынжырлы») маятниктер қолданылады.

Геологиялық барлауда маятниктің орны бөлек. Жер шарының әр нүктесінде g -ның мәні әр түрлі екені белгілі. Олай болатын себебі Жер—нағыз домалақ шар емес. Сонымен қатар, кен жыныстарының тығыз қабаттары, мысалы, кейбір металл рудалар жатқан орындарда g -ның мәні өте жоғары. Математикалық маятникті пайдаланып, g - ды дәл өлшеу арқылы кейде осындай кен қазбаларын табуға мүмкіндік береді.

Егер тәжірибе нәтижесінде T және l ді анықтап алсақ: g -ның

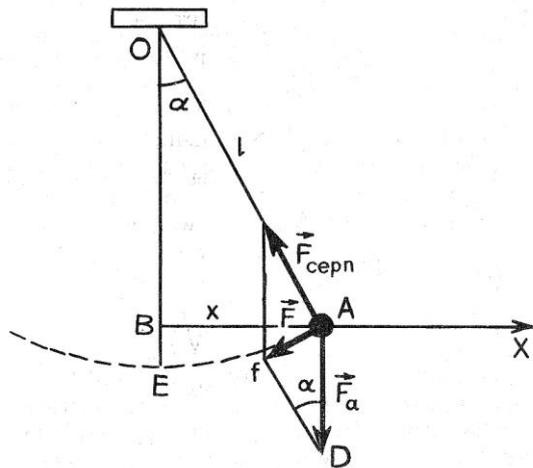
$$\text{мәнін } T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

формуладан табуымыз мүмкін. Формуланың екі жағын квадратқа көтереміз:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$$

Бұл формулада:

$$g = \frac{4l}{T^2} \pi^2$$



22-сурет

Бұл жерде: $T = \frac{t}{n}$ ді формулаға қойсақ, нәтижеде “ g ” ны есептеу үшін

негізгі формула:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell n^2}{t^2}$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Алдымен миллиметрлі сызғыш жәрдемінде маятник жібінің OB арасындағы l ұзындығын өлшейміз.
2. Шардың диаметрі штангенциркуль жәрдемінде бір неше рет өлшеніп, орташа мәні табылады және радиусы анықталады. Ол

уақытта маятник ұзындығы төмендегіше есептелінеді:

$$L = l + \frac{d}{2} \text{ немесе } L = l + r$$

3. Маятник тербеліс периодын табу үшін шарды бір жақа шамамен $5-6^0$ бұрышқа аударып, жай қойып жіберіп тербелтіреді. Осы уақыттың өзінде секундомерді да істетіп жібереміз. Тербеліс үшін кетген уақыт анықталады.
4. Маятниктің тербеліс периодын табу үшін маятник тербелісін кемінде үш рет қайталау керек және $T = \frac{t}{n}$ – формуладан есептелінеді.

Бұл үш рет алынған мәліметтердің орташасын кестеге кіргіземіз:

№	l	N	t	T	g	Δg	ε
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
Орт.							

?

1. Математикалық маятник деп неге айтылады?
2. Физикалық және математикалық маятниктің бір-бірінен айырмашылығы неде?
3. Маятник тербелісін тудыратын күш қандай күш деп ойлайсыз?
4. g – ның физикалық мағынасын айтып беріңіз?
5. Не үшін маятникті тепе – теңдік жағдайынан $5-6^0$ бұрышқа бұру мүмкін? Одан үлкенірек бұрышқа бұрсақ не болады?
6. Тәжірибеде математикалық маятниктің тербеліс периоды қандай анықталынады?
7. Маятниктің тербелістері не үшін сөнгіш болады?
8. Еркін түсу үдеуін қандай шамалар жәрдемінде анықтау мүмкін?
9. Жер шарының әр түрлі нүктелерінде g -ның мәні бірдей ма?
10. Период, жиілік және амплитуда туралы түсінік беріңіз.
11. Жұмысты атқару тәртібін айтып беріңіз.
12. Жұмысшы формуланы келтіріп шығарып беріңіз.

САҚИНА ЖӘРДЕМІНДЕ ЖЕР ТАРТЫЛЫС КҮШІНІҢ ҮДЕУІ “g” – НЫ ЕСЕПТЕУ

Жұмыстың мақсаты: сақина жәрдемінде тартылыс күші үдеуін анықтау.

Қажетті аспап және құрылмалар: сақина, штангенциркуль, секундомер.

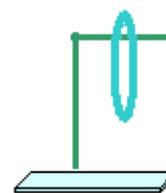
Теориялық негіздеме

Егер әр қандай дене ауырлық центрінен өтпеген горизонтал оське асып қойылса, ауырлық центріне қойылған M момент әсерінде тербелме қозғалыста болады.



23(а)-сурет

$$M = mgl \sin \varphi; \vec{P} = m\vec{g}$$



23(б)-сурет

Жоғарыда көрсетілгендей, бекітілген « M » момент әсерінде тербеле алатын қатты дене физикалық маятник делінеді (23(б)-сурет).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K}{mgl}} \quad (1)$$

Бұл жерде K – инерция моменті, ℓ – ауырлық центрі мен дене асылған ось арасындағы қашықтық, m – маятник массасы, g – ауырлық күшінің үдеуі.

(1) ден g – ны табайық
$$g = \frac{4\pi^2 K}{mT^2} \quad (2)$$

Тербелістегі дене сақиналардан тұратын болса, R_1 – ішкі радиус, R_2 – сыртқы радиус. Жазық сақинаның ауырлық центріне қатынасты инерция моменті

$$K_c = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2) + mR_1^2 = \frac{1}{2} m(3R_1^2 + R_2^2). \quad (3)$$

болады.

Штейнер теоремасына орай, кезкелген тербеліс осіне қатынасты алынған инерция моменті « K » мен дене массасы ауырлық центрінен

тербеліс осіне дейін болған қашықтық квадратының жиындысына тең:

$$K = K_c + mR_1^2$$

«**K**» ның мәнін (2) ге қойып,

$$g = \frac{2\pi^2(R_1^2 + R_2^2)}{R_1 T^2} \quad (4)$$

Тербеліс периоды **T**, сақинаның ішкі және сыртқы радиустары **R₁** және **R₂** ны білген күйде **g** – ны есептеу мүмкін.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Штангенциркуль мен ішкі және сыртқы радиустар (**R₁** және **R₂**) өлшенеді.
2. Оқытушы жағынан берілген тербелістер саны үшін кеткен уақыт өлшеп алынады және период $T = \frac{t}{n}$ формуламен есептелінеді.
3. Өлшеулер кемінде үш рет қайталанылады.
4. Тәжірибе екі сақина үшін жеке – жеке орындалады.
5. Қателіктер есептелінеді.

Төмендегі кесте толтырылады:

№	d ₁ R ₁	D ₂ R ₂	N	t	T	g	Δg	$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g} * 100\%$
1								
2								
3								
4								
5								
орт								

?

1. Физикалық маятник деп неге айтылады?
2. Физикалық маятниктің тербеліс периодын табу формуласын жазыңыз.
3. Маятник деп неге айтылады?
4. “g” неге байланысты?

5. Соңғы (4) формуланы келтіріп шығарыңыз.
6. Инерция моменті не?
7. Штейнер теоремасын түсіндіріңіз.
8. Инерция моменті дене пішініне байланыстыма?
9. Не үшін Жердің түрлі нүктелерінде “g” ның мәні әр түрлі болады?
10. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ЕРКІН ТҮСУ ҮДЕУІН ФИЗИКАЛЫҚ МАЯТНИК ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: физикалық маятниктің тербеліс заңдылықтарын үйрену және призмаға ілінген сақина жәрдемінде еркін түсу үдеуінің мәнін тәжірибеде анықтау.

Қажетті аспап және материалдар: 1.Сақина. 2.Сақинаны ілу үшін призма орнатылған құрылма 3. Штангенциркуль. 4.Секундомер.

Теориялық негіздеме

Ауырлық центрінен өтпеген горизонталь ось айналасында еркін тербеліс жасайтын массив қатты дене **физикалық маятник** деп аталады.

Көрінісі 24(а)- суретте бейнеленген және В горизонтал оске (сызбаға перпендикуляр) орналастырылған массив дене физикалық маятник бола алады. Оны тепе-теңдік қалпынан φ бұрышқа бұрсақ, ол ауырлық центрі С нүктеге қойылған P ауырлық күшінің P_t тангенциал құраушысы әсерінде еркін тербеле бастайды. Егер аспаның үйкелісі өте кіші болса, маятник өте ұзақ уақыт тербеледі. Маятниктің С ауырлық центрі COD шеңбер доғасын сызады.

Маятникті тепе-теңдік қалпына қайтарушы күш $F = P_t = -P \sin \varphi = -mg \sin \varphi$ (1), мұнда m -маятниктің массасы. «Минус» белгі үшін күш бағыты мен φ бұрылу бұрышының бағыттары әрқашан қарама-қарсы екендігін білдіреді. Кіші бұрыштарға бұрылуда

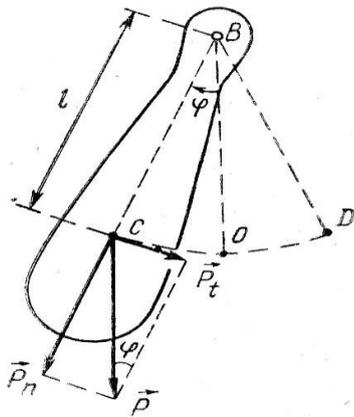
$$(\varphi = 5 - 6^\circ) \sin \varphi \approx \varphi. \quad (2).$$

Ол күйде

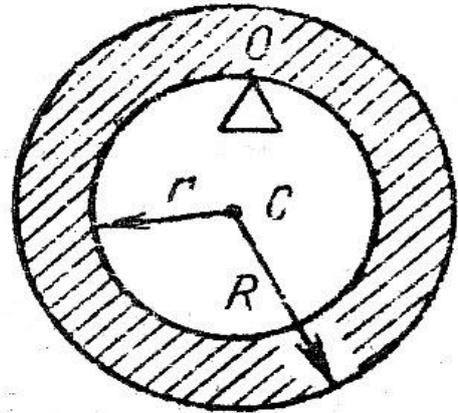
$$F = -mg\varphi = -mg \frac{x}{l} \quad (3),$$

мұнда $x=OC$ маятник ауырлық центрінің тепе-теңдік қалпынан доға бойымен жылжуы, $l = BC$ маятник ұзындығы (ілу нүктесінен ауырлық центріне дейінгі қашықтық). (3) формуладан көрінуінше,

қайтарушы күш ығысуға пропорционал және таңбасы оған кері, яғни ол квазиэластик күш. Демек, маятниктің тербелісі гармоникалық тербеліс болады.



24(a)-сурет



24(б)-сурет

Шеңбер бойымен қозғалыс динамикасының негізгі заңына орай F қайтарушы күштің M моменті төмендегідей өрнектеледі:

$$M = Fl = I\beta, \quad (4)$$

Мұнда I -маятниктің тербеліс осіне қатысты инерция моменті, β - бұрышты үдеуі. Гармоникалық тербеліс қозғалыс кинематикасынан белгілі,

$$\beta = \frac{a}{l}, a = -\omega^2 x, \quad (5)$$

мұнда a -маятниктің үдеуі, ω -маятник тербелістерінің дөңгелектік жиілігі. Сонымен,

$$F = \frac{I\beta}{l} = \frac{Ia}{l^2} = -\frac{I}{l^2} \omega^2 x. \quad (6)$$

$F = -mg\varphi = -mg \frac{x}{l}$ және $F = \frac{I\beta}{l} = \frac{Ia}{l^2} = -\frac{I}{l^2} \omega^2 x$. формулаларды салыстырып, төмендегіні жазу мүмкін:

$$\frac{mg}{l} = \frac{I\omega^2}{l^2}, \quad (7)$$

бұдан физикалық маятниктің дөңгелек жиілігі және тербелістер периоды өрнегін табамыз:

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}} \quad \text{және} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}, \quad (8)$$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$, формуладан көрінуінше, физикалық маятниктің T тербеліс периоды, I инерция моменті, m массасы және тербеліс

осінен центріне дейінгі l қашықтықты анықтап, Жер шарының кез келген нүктесі үшін g еркін түсу үдеуін анықтау мүмкін.

Физикалық маятникпен бірдей периодты математикалық маятниктің ұзындығы физикалық маятниктің келтірілген ұзындығы деп аталады. $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$, формуланы математикалық маятниктің

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (9)$$

тербелістер периоды мен салыстырып, физикалық маятниктің келтірілген ұзындығы

$$l_k = \frac{I}{ml} \quad (10)$$

екендігін көру мүмкін.

О нүктесінде призмаға сүйеніп, вертикал жазықтықта тербеле алатын түзу бұрышты төртбұрыш пішініндегі кесіндіге ие болған сақинаны физикалық маятник деп қарау мүмкін (24(б)-сурет). Мұндай маятниктің толық тербеліс периоды төмендегі формула мен анықталады:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgr}}, \quad (11)$$

мұнда g іліну нүктесінен маятниктің ауырлық центріне дейін болған қашықтық, яғни сақинаның ішкі радиусы.

Сақинаның іліну нүктесінен өткен оске қатысты алынған инерция моменті Штейнер теоремасына негізделіп төмендегідей болады:

$$I = I_0 + mr^2, \quad (12)$$

мұнда $I_0 = m\frac{(R^2 + r^2)}{2}$ сақинаның ауырлық центрінен тербеліс осіне параллел етіп өткізілген оске қатысты алынған инерция моменті, R -сақинаның сыртқы радиусы. Демек,

$$I = m\frac{R^2 + r^2}{2} + mr^2 = \frac{mR^2}{2} + \frac{3}{2}mr^2. \quad (13)$$

$I = I_0 + mr^2$, формулаға $I = m\frac{R^2 + r^2}{2} + mr^2 = \frac{mR^2}{2} + \frac{3}{2}mr^2$ формуладан I дің мәнін қойып, төмендегі теңдікті түземіз:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R^2 + 3r^2}{2gr}}, \quad (14)$$

Сақинаның ішкі диаметрін d мен, сыртқы диаметрін D мен белгілеп және $R = \frac{D}{2}$ және $r = \frac{d}{2}$ екендігін біліп, ол кезде (14)

формулананы квадрат түбірден шығарып, төмендегі көріністе жазу мүмкін:

$$T^2 = \pi^2 \frac{D^2 + 3d^2}{gd}. \quad (15)$$

Бұдан еркін түсу үдеуі төмендегідей болады:

$$g = \pi^2 \frac{D^2 + 3d^2}{T^2 d}. \quad (16)$$

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Сақинаның сыртқы және ішкі диаметрлерін штангенциркуль жәрдемінде 5-6 рет өлшеп, олардың орташа мәні анықталады.
2. Сақинаны призмаға асып, оны тепе-теңдік қалпынан $5-6^\circ$ бұрышқа бұрып тербелме қозғалысқа келтіріледі. Сақина 3-4 рет толық тербелгеннен кейін, ол тепе-теңдік қалпынан максимал шектелген уақытта секундомерді жүргізіп, N рет (50-100) толық тербеліс үшін кеткен t уақыт анықталады және толық тербеліс периоды $T = \frac{t}{N}$ өрнектен табылады.
3. Ішкі және сыртқы диаметрлердің және толық тербеліс периодының мәнін білген кезде (16) формула жәрдемінде еркін түсу үдеуінің мәні табылады.
4. Толық тербелістер санын түрліше таңдап, тәжірибе 5-6 рет қайталанады және еркін түсу үдеуінің орташа мәні есептелінеді.
5. Еркін түсу үдеуін анықтауда жол қойылған абсолют және салыстырмалы қателіктер анықталады.

?

1. Қандай маятник физикалық маятник делінеді? Оның қандай түрлерін білесіз?
2. Маятникті тепе-теңдік қалпына қайтарушы күш қандай өрнектеледі?
3. Физикалық маятниктің тербеліс периоды өрнегін келтіріп шығарыңыз.
4. Еркін түсу үдеуін қандай шамалар жәрдемінде анықтаймыз?
5. Физикалық маятниктің келтірілген ұзындығы дегенде нені түсінесіз? Не үшін маятниктің N толық тербелістер санын көп алу керек?
6. Физикалық маятниктің тербеліс центрі деп неге айтылады? Оны қандай анықтау мүмкін?
7. Штейнер теоремасын сипаттаңыз.

8. Жұмысшы формуланы келтіріп шығарып беріңіз.

МАХОВИК ДОҢҒАЛАҚТЫҢ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІН АНЫҚТАУ

Ж ұ м ы с т ы ң м а қ с а т ы : Маховик доңғалақ инерция моментін тәжірибеде анықтау.

Қажетті аспап және құрылмалар: математикалық маятник, секундомер, сызғыш және штангенциркуль.

Теориялық негіздеме

Қатты денелер абсолют қатты дене және деформацияланатын қатты дене болып екіге бөлінеді. Абсолют қатты дене деп қозғалыс кезінде кез келген екі нүктесінің ара қашықтығы өзгермейтін денені айтады. Абсолют қатты дене деген шартты ұғым. Бірақ қатты дененің бойынан екі материалдық нүктені қарастырсақ, ол қозғалған кезде нүктелердің өз орындарынан ауытқуының шамасы олардың ара қашықтығынан анағұрлым аз болса, мұндай денені абсолют қатты дене деп қарастыруға болады.

Қатты дененің кеңістікте қозғалуының алты еркіндік дәрежесі бар, бұлар - үш ілгерілемелі, үш айналмалы қозғалыстың еркіндік дәрежелері. Қатты дененің ілгерілемелі қозғалысын материалдық нүкте қозғалысының теңдеуімен анықтауға болады, яғни

$$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}_{сырт} \text{ немесе } m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_{сырт}$$

Бұл жерде материалдық нүкте ретінде қатты дененің массалар центрін қарастырамыз.

Қатты дененің айналмалы қозғалысын анықтайтын теңдеу **моменттер теңдеуі** деп аталады. Жоғарыдағы теңдеудегі шамаларды олардың моменттерімен алмастырсақ моменттер теңдеуі шығады. Атап айтқанда қозғалыс мөлшерін қозғалыс мөлшерінің моментімен (L), күшті күш моментімен (M), ал массаны инерция моментімен (I) алмастырса жеткілікті, яғни моменттер теңдеуінің түрі мынадай болады:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}_{сырт} \text{ немесе } I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{M}_{сырт}$$

Жүйенің оське қатысты **инерция моменті** ($I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$) деп нүктелер массаларының олардың осьтен ара қашықтығының квадратына көбейтінділерінің қосындысына тең шаманы айтады:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i R_i^2$$

Инерция моменті – шеңбер бойымен қозғалыстағы дененің инерттілігін сипаттайтын физикалық шама.

Демек,

- 1) Айналу центріне қатысты күш моменті M күшпен айналу центрінен күш бағытына түсірілген перпендикуляр ұзындығының көбейтіндісіне тең.
- 2) Айналу центріне қатысты материялық нүктенің инерция моменті I нүкте массасымен айналу центрінен осы денеге дейін болған қашықтық квадратының көбейтіндісіне тең.

Егер уақыт өтуімен күш мөлшері немесе бағыты өзгерсе, күш моменті және бұрыштық үдеулер уақыттың функциясы болып қалады, бірақ олар арасындағы байланыс $M = I \cdot \beta$ сияқты болады.

Шеңбер осіне ие болған қатты денеге жанама күш әсер етсе, онда ол шеңбер бойымен қозғалысқа келеді. Оның айналдырушы моменті

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}]$$

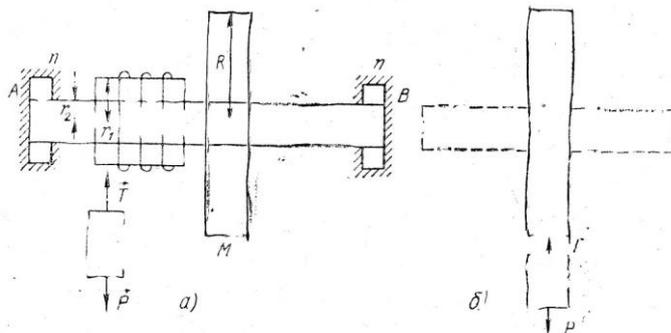
өрнектен анықталынады. \vec{r} радиус вектор күш бағытына перпендикуляр болған күйде айналдырушы момент модулі $M = F \cdot r$ көрінісінде жазылады. Шеңбер бойымен қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуіне орай бұл моментті және мынадай өрнекте жазу мүмкін:

$$M = I\varepsilon.$$

$M = F \cdot r$ және $M = I\varepsilon$ ті салыстырсақ $I = \frac{Fr}{\varepsilon}$ өрнек пайда болады.

Бұл өрнек тәжірибеде маховик доңғалақтың инерция моментін анықтау мүмкіндігін береді.

Доңғалақ осіне оралған және екінші ұшына жүк асылған жіп оны шеңбер бойымен қозғалысқа келтіреді. Бұл қозғалыс барысында жүйеге бір неше күш әсер етеді. Олардың тең әсер етушісі жүйеге үдеу береді (25- сурет)



25-сурет

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$$

Егер жүктің төменге бағытталған қозғалыс бағыты оң деп алынса және үйкеліс күші есепке алынбаса, ол күйде $\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$ өрнекті мынадай түрде жазамыз:

$$F = P - T \quad \text{және} \quad ma = mg - T$$

Жіптің керулік күші маховик доңғалаққа жанама түрде әсер етіп оны айналтырады.

$I = \frac{Fr}{\varepsilon}$ және $F = P - T$ және $ma = mg - T$ өрнектерден маховик доңғалақтың инерция моментін есептеу өрнегін табамыз:

$$I = \frac{m(g-a)r}{\varepsilon}$$

Маховик доңғалаққа керулік күшінен басқа және үйкеліс күші әсер етеді. Бұл күштің мәнін жүйенің тепе – теңдік күйінен шығарушы минимал жүктің салмағы P_0 мен анықталынады.

Үйкеліс күшін есепке алсақ $I = \frac{m(g-a)r}{\varepsilon}$ өрнек мына түрде жазылады:

$$I = \frac{[m(g-a) - m_0g]r}{\varepsilon}$$

Жанама күш әсерінде маховик доңғалақтың алған тангенциал үдеуі жүктің ілгерілемелі қозғалысындағы үдеуге тең: $a_\tau = a$ онда доңғалақтың бұрыштық үдеуі $\varepsilon = \frac{a}{r}$ өрнек пен анықталады.

Шеңбер бойымен қозғалысының тангенциал және бұрыштық үдеулерін анықтауда бастапқы жылдамдықсыз бір қалыпты үдемелі қозғалыс тендеулерінен пайдаланылады:

$$\alpha = \frac{2h}{t^2}, \quad \varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}$$

Бұл өрнекті есепке алған күйде $I = \frac{[m(g-a) - m_0g]r}{\varepsilon}$ өрнек

төмендегіше жазылады:

$$I = mr^2 \left[\frac{gt^2}{2h} \left(1 - \frac{m_0}{m} \right) - 1 \right]$$

немесе доңғалақтың радиусы оның диаметрі арқылы өрнектелсе

$$I = \frac{md^2}{4} \left[\frac{gt^2}{2h} \left(1 - \frac{m_0}{m} \right) - 1 \right] \quad \text{өрнек келіп шығады.}$$

Жүйеде пайда болған үйкеліс күшін энергияның сақталу заңынан пайдаланып анықтау мүмкін. Жіпке асылған жүк ең жоғары күйде болғанда $W_n = mgh$ потенциал энергияға ие болады. Жүктің қозғалыс барысында бұл энергия үйкеліс күшін жеңуге

және жүйе кинетикалық энергиясын арттыруға жұмсайды.

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + F_{\text{үйк}}h$$

$\frac{mv^2}{2}$ - ілгерілемелі қозғалыс жасап жатқан жүктің, $\frac{I\omega^2}{2}$ - айналып жатқан жүйенің кинетикалық энергиясы, $F_{\text{үйк}}h$ үйкеліс күшінің атқарған жұмысы. Үйкеліс күшін мынадай анықтау мүмкін. Р жүк h_1 , биіктіктен түскеннен кейін маховик доңғалақтың өз инерциясы бойынша айналады және жүк h биіктікке көтеріліп, $W_n^1 = mgh_2$ потенциалдық энергияға ие болады. Потенциалдық энергияның айырмашылығы үйкеліс күшінің орындаған жұмысына тең.

$$mgh_1 - mgh_2 = F_{\text{үйк}}(h_1 + h_2)$$

бұдан үйкеліс күшін табамыз:

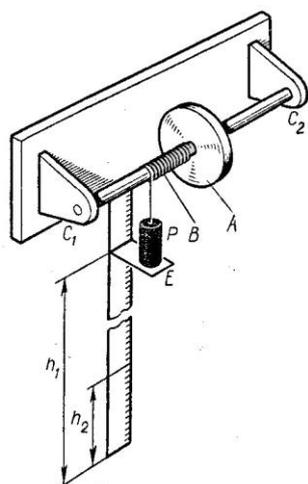
$$F_{\text{үйк}} = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$$

Жоғарыдағыдай, қозғалыс бастапқы жылдамдықсыз үдемелі болғандықтан ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалыс кинематикасы теңдеулерінде жылдамдықтар $v = \frac{2h_1}{t}$ және $\omega = \frac{2h_1}{2t}$ өрнектерінен анықталады. Осы бірліктерді және үйкеліс күші $F_{\text{үйк}} = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$ өрнегін $mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + F_{\text{үйк}}h$ формулаға қойып, инерция моментін есептеу формуласын жазамыз:

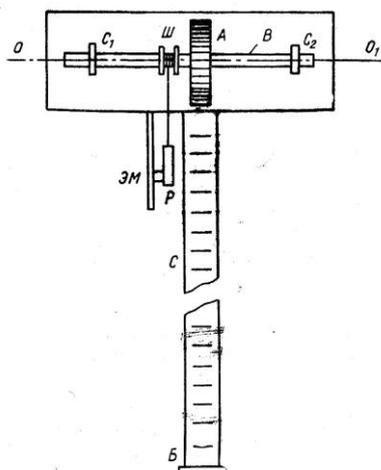
$$I = mr^2 \left[gt^2 \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right]$$

Өлшеулер және өлшеу нәтижелерін есептеу

1. Маховик доңғалақ, шкив, остің радиустары R , r_1 , r_2 жүйені тепе – теңдік күйінен шығарушы минимал жүк массасы m_0 анықталынады (26- сурет).



26-сурет



2. Сантиметрлі масштаб және сызғыш жәрдемімен h_1 биіктік және штангенциркуль мен шкив диаметрі өлшеніп, оның радиусы есептелінеді.

3. Жүк құрылмаға орналастырылып, жүйе қозғалысқа келтіріледі және жүктің h_1 , биіктіктен түсу уақыты жазып алынады.

4. Жүк ең төменгі нүктеге түсіп, қайтып жоғарыға көтерілгенде оның биіктігі h_2 өлшенеді.

5. Құрылмаға басқа массалы жүктер қойылып 3 және 4 пункттер қайталаынады.

6. $I = \frac{md^2}{4} \left[\frac{gt^2}{2h} \left(1 - \frac{m_0}{m} \right) - 1 \right]$ және $I = mr^2 \left[gt^2 \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right]$ өрнектерден жүйе инерция моменті есептелінеді және есептеу қателіктері анықталады.

7. Өлшенген және есептелген шамалар кестеге түсіріледі.

N	m, кг	r, м	t, с	h_1 , м	h_2 , м	F, Н	I , кг м ²	I , кг м ²	I_0 , кг м ²

8. Системаның инерция моменті $I_0 = \frac{1}{2} [M(R_1^2 + r_1^2) + m_0(R_2^2 + r_2^2) + mr^2]$ өрнектен есептелінеді және тәжірибеде анықталған мәні мен салыстырылады.

$$\Delta = \pm \frac{I_0 - I}{I} 100 \%$$

?

1. Инерция моменті және күш моменті жайлы түсінік беріңіз.

2. Айналып тұрған қатты дене үшін динамиканың негізгі заңын түсіндіріңіз.
3. Маховик доңғалақтың инерция моментін есептеу өрнегін жазың және түсіндіріп беріңіз.
4. Есептеу формуласын шығарыңыз
5. Жұмыстың орындалу ретін түсіндіріңіз.

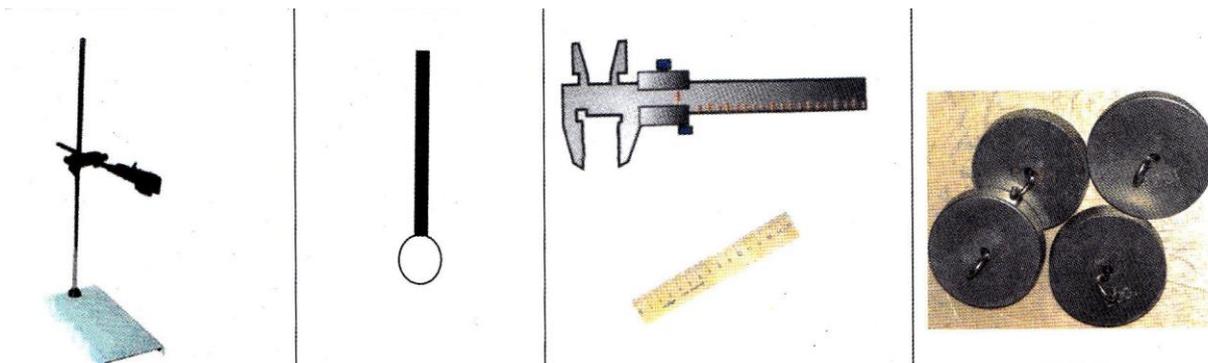
ЮНГ МОДУЛІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Денелердің созылу деформациясын ұйрену және Юнг (серпінділік) модулін анықтау

Керекті аспап және құрылмалар: штатив(қысқышы мен), ұзындығы 30-40 см болған резина жіп, штангенциркуль немесе миллиметрлі металл сызғыш, ілгек, массасы анық болған жүктер жиынтығы(27-сурет).

Теориялық негіздеме

Қатты денелердің атом және молекулалары олардың өзара әсер күштері жиындысы 0-ге тең болатын тепе - теңдік түрінде болады. Атомдар бір-біріне жақындағанда итеру күші, алыстағанда тартылыс күші артады. Бұл жағдай қатты денелердің механикалық беріктігі, яғни дененің пішіні және көлемінің өзгеруіне қарсылық көрсету қабілетін белгілейді. Дененің созылуына атомдар арасындағы тартылыс күштері, қысылуына болса итеру күштері қарсылық етеді.



27-сурет

Қатты денеге қойылған механикалық сыртқы әсер атомдарды тепе - теңдік күйден ығыстырады және дененің пішінін және көлемін өзгертеді, яғни оны деформациялайды. ***Сыртқы күштер әсерінен дененің пішіні және өлшемдерінің өзгеруіне деформация делінеді.*** Табиғатта абсолют қатты дене жоқ. Сондай болуына қарамай, көбінесе, сезіп болмайтын дәрежедегі өте кішкентай деформациялармен жұмыс көруге де тура келеді. Мысалы, кірпішті

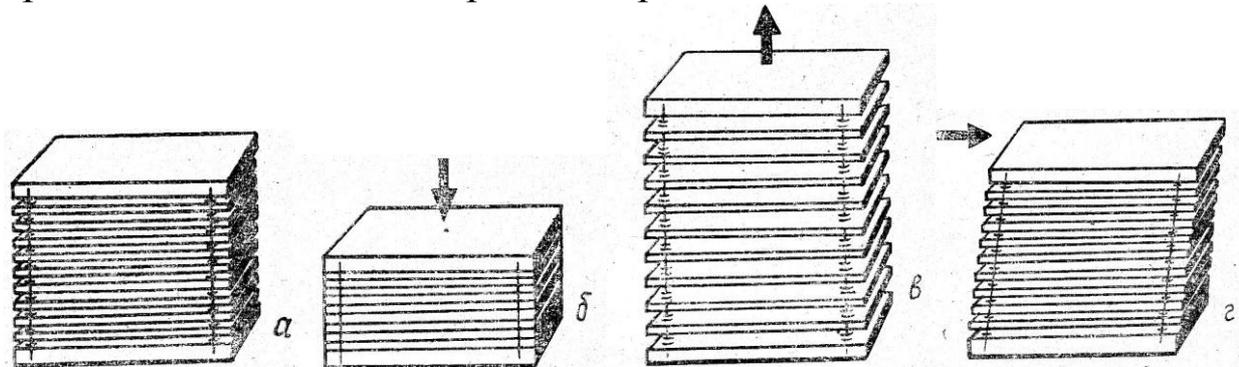
басқанымызда оның биіктігі шамамен $\frac{1}{20000}$ см кемиді. Бұндай деформацияда көрші атомдар шамамен $2 \cdot 10^{-14}$ см-ге жақындайды!

Бірақ кейбір конструкцияларда деформация біраз сезілерлі болады. Мысалы, Шатландиядағы Форт жағасына салынған көпірді көтеріп тұратын 3км ұзындықтағы полат арқандар 3м-ге ұзайған.

Күнделікті тәжірибеден белгілі, дененің деформациялану дәрежесі дене қандай материалдан жасалғанына, күштің үлкендігі мен қойылу нүктесіне байланысты. Бірдей өлшемді түрлі материалдар-ағаш, болат, алюминий пластиналарының деформациялануы, ұзындығы, қалыңдығы және кеңдігі әртүрлі болып, бірдей материалдан жасалған пластинкалардың деформациялануын тәжірибеде күзетіп, бұған оңай сену мүмкін.

Қатты денелерде пайда болатын деформациялар негізінен, 5 түрде болады: созылу, сығылу, жылжу, бұралу және иілу. Деформацияның бұл түрлерін тексеру үшін бұрыштары бойынша бірдей серіппемен бекітілген бірнеше ағаш пластинкалардан тұратын қатты дененің моделінен пайдаланамыз (28-сурет).

Сығылу және созылу деформацияларында пластинкалар бір-біріне параллель түрде қалады және бір көршілес жұп пластинкалар арасындағы қашықтық бірдей өзгереді.



28-сурет

Әдетте көтеру крандарының, канат жолдарының тростары, буксир тростары, музыка аспаптарының торлары созылып деформацияланады. Ғимараттардың колонналары(бағандары), қабырғалары және фундаменттері қысылып деформацияланады.

Үстінгі пластинканы өз-өзіне параллель ығыстырып және төменгі пластинканы қозғалмайтын түрде сақтап, ығыстыру деформациясын пайда ету мүмкін. Мұнда барлық пластинкалар сондай орналасады, олар арасындағы қашықтық өзгермейді. Ығысу деформациясы, мысалы, металл конструкцияларын біріктіретін заклепка және болттарда болады. Өте кең тарқалған ығысу

деформациясын қағазды, картонды және темір листтерді қайшымен кесуде кездестіру мүмкін.

Моделдің үстінгі пластинкасын вертикал ось айналасында бұрышқа бұрғанда бұрылу деформациясын күзетуге болады. Мұнда пластинкалар арасындағы қашықтық өзгермейді, бірақ пластинкалардың бастапқы бір түзу сызықта жатқан нүктелері енді бұл тура сызықта болмайды. Бұралу деформациясы гайкаларды бұрап кіргізуде және машина валдары істегенде пайда болады.

Иілу деформациясының бір ұшы бекітілген, екінші ұшына жүк асылған брускада күзету мүмкін. Иілу ғимараттарындағы, көпірлердегі екі жағы тіреуіштерге бекітілген шекарада да болады. Ең үлкен иілу шамасы x иілу дәрежесі делінеді.

Сыртқы әсер күші денеден алынғаннан кейін осы дене өзінің алдыңғы пішініне қайтса мұндай деформация серпінділік деформациясы делінеді.

Сыртқы күштер әсері тоқтатылғаннан кейін да деформация сақталып қалса, мұндай деформация серпімсіз деформация делінеді.

Деформацияланған дененің тура келген қимасында оның пішіні және өлшемінің өзгеруіне кедергі болатын серпінділік күштері әсер етеді. Серпімсіз деформацияланған дененің кристалл түзілісі өзгеріп алдыңғы күйіне қайтпайтын күйге өтеді. Бұл кезең қайтымсыз болады. *Бірақ бағыт бойынша деформация өлшемі абсолют деформация мәнінің дененің осы бағыт бойынша бірінші өлшеміне салыстырмалылығы салыстырмалы деформация делінеді.*

Бір ұшы бекітіп қойылған біртекті стержень (немесе резина жіп)ге оның осі бағытында бетке қаратып күш қойылса, ол созылу деформациясына ұшырайды. Созылу деформациясының мүлдем ұзаруы төмендегі өрнек жәрдемінде анықталынады:

$$\Delta l = l - l_0$$

мұнда, l_0 - стерженнің бастапқы ұзындығы, l - кейінгі ұзындығы.

Сондай-ақ салыстырмалы ұзару $\varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ өрнек жәрдемінде

анықталынады. Салыстырмалы ұзару бастапқы ұзындық бірлігінің қаншаға ұзарғандығын көрсететін физикалық шама.

Деформацияланған дененің күйі кернеу деп аталатын арнайы шамамен сипатталады. Сан мәні жағынан F серпінділік күші модулінің осы дене көлденең қимасының ауданы S ке қатынасына

тең физик шама кернеу делінеді және оны төмендегідей бейнелейміз:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Халықаралық өлшеу бірліктер жүйесі (СИ) да кернеу бірлігі ретінде $1 \text{Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ қабылданған. Серпінділік күші S ауданға тік немесе жанама күйінде бағытталған болуына қарап оны қалыпты немесе жанама кернеу деп жүргізіледі.

Деформациялану диаграммасы делінгенде кернеулер немесе жүктемемен материалдың деформациялануы арасындағы байланыс графигі түсініледі.

Созылу диаграммасы. Созылу деформациясын қолдау үшін үйреніліп жатқан материалдан жасалған стержень арнайы құрылмалар жәрдемінде созып көріледі. Бұнда үлгінің ұзаруы және онда пайда болатын кернеу өлшеніледі. Тәжірибе нәтижелеріне негізделіп σ кернеудің ε салыстырмалы ұзайуына байланыс графигі сызылады. Бұл график созылу диаграммасы барлық денелер үшін барлық уақытта бірдей көріністе болмауы мүмкін.

Гук заңы. Деформацияланған денеде пайда болатын серпінділік күші әрдайым мүлдем ұзаруға тура пропорционал болады. Бұл қорытынды **Гук заңы** деп аталады және төмендегі математикалық формула арқылы бейнеленеді:

$$F_{\text{сер}} = -k\Delta l$$

мұнда k – пропорционалдық коэффициенті болып, ол деформацияланып жатқан дененің табиғатына және геометриялық өлшемдеріне байланысты. k - дененің серпінділік қасиеттерін мөлшер жағынан сипаттайтын физикалық шама болып, оған **дененің қатаңдығы** делінеді.

Тәжірибенің көрсетуінше деформациялар өте кіші болғанда σ кернеу ε салыстырмалы ұзаруына тура пропорционал. Бұл байланысты төмендегідей жазу мүмкін.

$$\sigma = E|\varepsilon| \quad (2)$$

Бұл формулада ε салыстырмалы ұзарудың модулі алынған, өйткені Гук заңы созылу деформациясында $\varepsilon < 0$ болатын сығылу деформациясында қанағаттандырады. Гук заңының өрнегінде қатынасатын E пропорционалдық коэффициент **серпінділік модулі** немесе **Юнг модулі** делінеді. Деформациялар өте кіші болғанда σ

кернеу және ε салыстырмалы ұзаруды өлшеп Юнг модулі (2) формуладан анықталады.

Көп жұмсалатын материалдар үшін Юнг модулі тәжірибеде анықталған, мысалы хром никелді болат үшін $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па, алюминий үшін $E=7 \cdot 10^{10}$ Па. Е қанша үлкен болса, басқа параметрлер бірдей болғанда стержень соншалық кем деформацияланады. Юнг модулі материалдың серпінді созылу деформациясына кедергі көрсету қабілетін бейнелейді.

(2) формуладай жазылған Гук заңын басқа көрініске келтіру мүмкін. Бұл үшін (2) формулаға $\sigma = \frac{F}{S}$ және $\varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ өрнектерін қойып төмендегі теңдікті аламыз:

$$\frac{F}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0}$$

мұндағы: $F = \frac{|\Delta l|SE}{l_0}$ үлгіге әсер ететін күш, $\frac{SE}{l_0} = k$ - үйреніліп жатқан дене қатаңдығы.

Сонымен стерженнің k қатаңдығы юнг модулімен стержен көлденең қимасының ауданының көбейтіндісіне тура және стерженнің ұзындығына кері пропорционал.

$E = \frac{Fl_0}{S\Delta l}$ формуладан Юнг модулі есептеп табылады.

Қондырғының түзілісі және жұмыс істеуі

Денелердің созылу деформациялануын үйрену және Юнг (серпінділік) модулін анықтау құрылмасының көрінісі 29 –суретте көрсетілген.

Құрылма штатив, ілгек, резина, миллиметрлі металл сызғыштардан тұрады. Сондай-ақ, резинаның ұзындығын өлшеу үшін сызғыш және диаметрін өлшеу үшін штангенциркуль берілген. Резинаның бір ұшы штативтің қысқышына бекітілген. Жүк асу үшін екінші ұшына ілгек орнатылған.

Құрылманы жинап болғаннан кейін, ілгекке жүк асылады және өлшеу жұмыстары алып барылады. Ілгекке ілінетін жүктер саны арттырып тәжірибе жалғастырылады.

Жұмысты орындау реті:

1. Резина жіп штатив қысқышына орнатылады.
2. Резина жіптің екінші ұшына ілгек орнатылады.
3. Резина жіптің ұзындығы сызғыш жәрдемінде өлшенеді. (l_0)

4. Резина жіптің диаметрі штангенциркуль жәрдемінде өлшенеді. (d).
5. Массасы анық болған жүктерден бірі резина жіптің ұшына ілгекке ілінеді. (Ілінген жүктің ауырлығы сан мәнінен резина жіпте пайда болатын серпінділік күшінің шамасына тең болады, яғни $F=mg$).
6. Жүк асылғаннан соң резина жіптің ұзындығы сызғыш жәрдемінде өлшенеді(1).
7. $\Delta l = l - l_0$ өрнектен резина жіптің мүлдем ұзаруын есептейміз.
8. Жүктер санын арттырып тәжірибе қайталанады.
9. $\varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0}$ өрнектен резина жіптің салыстырмалы ұзаруы есептелінеді.
10. $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ өрнекке негізделіп резина жіптің көлденең қимасының ауданы табылады.
11. $\sigma = \frac{F}{S}$ өрнектен резинада пайда болатын механикалық кернеу есептелінеді.
12. $E = \frac{Fl_0}{S\Delta l}$ формуладан Юнг модулі есептеп табылады.



29- сурет.

13.Тәжірибеден алынған нәтижелер негізінде төмендегі кесте толтырылады

№	l_0	l	Δl	ε	d	S	σ	E
Жүктер саны 1еу								
Жүктер саны 2еу								
Жүктер саны 3еу								

?

1. Деформация деп неге айтылады?
2. Деформация қашан пайда болады?
3. Деформацияның түрлерін айтыңыз.
4. Гук заңын түсіндіріңіз.
5. Материалдың серпінділік модулі нелерге байланысты?
6. Абсолют және салыстырмалы ұзару деп неге айтылады?
7. Юнг модулінің физикалық мағынасын түсіндірің және ол қандай бірлікте өлшенеді?
8. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.
9. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз

ТҮРЛІ ДЕНЕЛЕРДІҢ СЫРҒАНАУ ҮЙКЕЛІС КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Сырғанау үйкеліс коэффициентін тәжірибеде анықтау.

Керекті аспап және құрылмалар: Сырғанау – үйкеліс коэффициентін тексеретін дене (ағаш, металл, резина), сызғыш.

Теориялық негіздеме

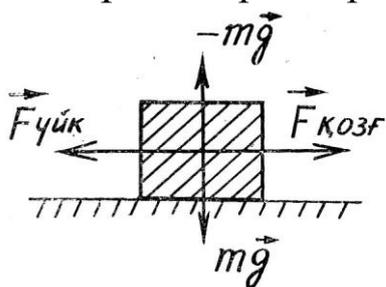
Үйкеліс күші. Беттескен екі қатты дене өзара салыстырмалы қозғалысына өздері кедергі жасайтыны күнделікті өмірден белгілі. Мысалы, тақтайдың бетімен сүйрете қозғалған екінші тақтай, қар үстінде жылжыған шана өздері беттесіп тұрған дене тарапынан көрсетілген кедергі күшіне ұшырайды. Осы денелерді қозғау үшін сол кедергі күштерін жеңетіндей сыртқы күштің әсер етуі қажет. Міне осындай беттескен екі дененің арасында пайда болған өзара әсер күшін **үйкеліс күші** деп атайды. Үйкеліс күші әрдайым сол беттесіп тұрған екі дененің өзара салыстырмалы қозғалысқа келуіне кедергі жасайды, яғни үйкеліс күшінің бағыты дененің қозғалу бағытына қарама-қарсы болады. Үйкеліс күші өзара беттесіп тыныштық күйде тұрған денелердің арасында да болады, ол **тыныштық үйкеліс күші** деп аталады. Ол күштің арқасында Жер бетіндегі денелер, құрылыстар, үй ішіндегі заттар өз орнында қозғалмай тұр. Сондықтан үйкеліс күші тек қана зиянды емес, оның пайдалы жақтары да көп. Егер беттескен екі дененің арасына сұйық немесе әр түрлі қоймалжың май тәрізді басқа заттар енгізілмесе, онда бұл екі дененің арасындағы үйкелісті **құрғақ үйкеліс** деп атайды.

Қатты денелер бірінің бетімен бірі қозғалғанда олардың арасында пайда болатын үйкелісті **құрғақ үйкеліс** деп атайды. Үйкеліс күші электромагниттік күштер қатарына жатады. Тыныштық үйкеліс күші бір дененің екінші бір денемен жанасу бетіне түсірілген күшке перпендикуляр бағытталады, ал сырғанау үйкеліс күшінің бағыты жанасатын денеге қатысты қозғалыс жылдамдығы бағытына қарама-қарсы болады. Үйкеліс күшінің әсерінен дене жылдамдығының модулы кемиді.

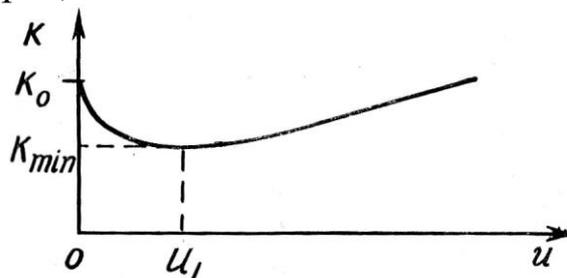
Жоғарыда келтірілген құбылыстың бәрі сырғанау үйкелісінің мысалдары.

Енді үйкеліс күштерінің қандай жағдайда көбейіп, азаятынын, қандай физикалық шамалардан тәуелді болатынын, қандай жағдайларда пайдалы және зиянды болатынын қарастырайық.

Бірінші мысал: Горизонталь беттің үстінде, массасы m **қатты** дене жатыр. Осы дене мен горизонталь беттің арасындағы үйкеліс күшін қарастырайық (30-сурет).



30-сурет



31-сурет

Үйкеліс күші бетке түсірілген қысым күшіне пропорционал болады. Бұл анықтама тәжірибеден алынған мәліметтер арқылы дәлелденген. Қысым күші деп бетке түсірілген кез келген күштің сол бетке перпендикуляр құраушысын айтады. Біздің мысалымызда горизонталь бетке салмақ күші түсіп тұр және ол бетке перпендикуляр бағытталған. Олай болса бұл бетке түсірілген қысым күшінің мәні де салмақ күшіне тең. Жоғарыда келтірілген анықтамаға сүйеніп мынадай теңдеу жазуға болады:

$$F_{үйк} = kN = kmg$$

мұндағы $F_{үйк}$ — үйкеліс күшінің сан мәні, N — қысым күшінің сан мәні, k — үйкеліс коэффициенті (сырғанау үйкелісі үшін k — атаусыз коэффициент. Ол тек екі беттің өңделуіне, беттескен денелердің тегіне тәуелді).

Бұл теңдеу скалярлық теңдеу, сондықтан үйкеліс күшінің бағытын бұл теңдеуден анықтай алмаймыз. Үйкеліс күшінің

бағыты әруақытта дененің қозғалыс бағытына қарама-қарсы болатынын білеміз. Олай болса, денені қандай бағытта болмасын сүйрете қозғасақ, сол қозғалысқа қарама-қарсы бағытталған модулі $F_{\text{үйк}} = kN$ үйкеліс күші пайда болады. Егер сыртқы күштің сан мәні осы үйкеліс күшінен артық болса дене қозғала бастайды, ал артық бола алмаса дене өз орнында қалады. Бір дененің өзін әр түрлі бетпен қозғалысқа келтіру үшін әр түрлі күш жұмсалатыны күнделікті өмірден белгілі. Мысалы шананы басылған қар үстімен, жылтыр мұз үстімен, немесе асфальттың бетімен сүйрету үшін әр түрлі күш жұмсау керек. Барлық жағдайда қысым күші бірдей, ол шананың салмағына тең. Сонда үйкеліс күшін өзгертіп тұрған үйкеліс коэффициенті. Жылтыр мұз бен шана табанының арасындағы үйкеліс коэффициенті келтірілген үш мысалдың ішіндегі ең азы, сондықтан шана жылтыр мұз үстімен аз ғана күштің әсерімен жылжиды, ал асфальт пен шана табанының арасындағы үйкеліс коэффициенті басқаларға қарағанда көп. Сондықтан шананы асфальт үстінде сүйрету үшін көбірек күш жұмсау қажет. Сонымен егер

$|\vec{F}_{\text{козғаушы}}| \leq |\vec{F}_{\text{үйк}}|$ болса дене тыныштық қалыпта қалады, егер

$|\vec{F}_{\text{козғаушы}}| > |\vec{F}_{\text{үйк}}|$ болса дене қозғалысқа келеді.

Үйкеліс коэффициенті. Сырғанау үйкеліс коэффициенті беттескен денелердің тегіне, беттердің өңделу сапасына ғана емес, сонымен қатар беттескен денелердің өзара салыстырмалы жылдамдығына тәуелді. Ол тәуелділігінің жалпы түрі графикте керсетілген (координат осьтеріндегі k — үйкеліс коэффициенті, u — беттескен денелердің өзара салыстырмалы жылдамдығы). Графикте керсетілгендей (31-сурет) k_0 — тыныштық үйкеліс коэффициенті дененің салыстырмалы жылдамдығы қозғалыс кезінде белгілі бір u_1 жылдамдықтан анағұрлым артқанға дейін қозғалыс кезіндегі үйкеліс коэффициентінен артық болады. Әдетте сырғанаған денелердің жылдамдығы u_1 ден кем болады. Сондықтан денені орнынан қозғау үшін көп күш жұмсауға тура келеді, ал орнынан бір қозғалса оны әрі қарай жылжыта беру үшін аз күш жұмсалатыны графиктен көрініп тұр.

Сырғанау — үйкеліс коэффициентінің Амонтон — Кулон заңы төмендегіше:

$$F_{\text{үйк}} = kN$$

формула арқылы бейнеленіп, бұл жерде, k – үйкеліс коэффициенті, N – қалыпты қысым күші.

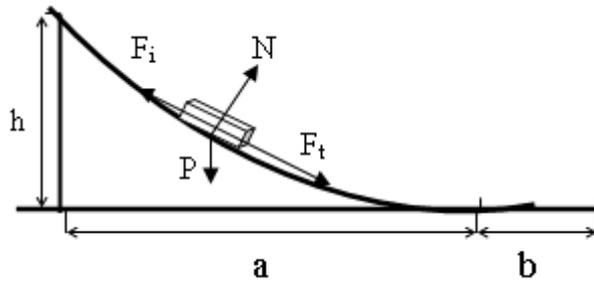
Бұл жұмыста сырғанау – үйкеліс коэффициентін энергияның сақталу заңы арқылы табылады. Егер m массалы денені h биіктіктен қойып жіберсек, ол сырғанап 3 нүктеге келеді. Ол күйде энергияның сақталу заңына негізделіп:

$$mgh = A_{1,2} + A_{2,3}$$

Бұл жерде $A_{1,2}$ – көлбеулікте үйкеліс күшінің атқарған жұмысы болып, $A_{1,2} = kmga$ ға тең. $A_{2,3}$ – горизонтал көлбеудегі үйкеліс күшінің атқарған жұмысы болып, $A_{2,3} = kmgb$ ға тең, мұнда a – көлбеу проекциясының ұзындығы. $A_{1,2} + A_{2,3}$ өрнектерін $mgh = A_{1,2} + A_{2,3}$ формулаға қойып,

$mgh = kmga + kmgb$ ны табамыз және бұдан:

$$K = \frac{h}{a + b}$$



32-сурет

Жұмысты орындау реті

Әр түрлі биіктіктен денені түсіріп a және b қашықтықтар өлшеп алынып кестеге жазылады.

1. Металл және ағаш үшін

№	H	a	b	K	ΔK	ε
1						
2						
3						
Орт						

2. Металл және металл үшін

№	h	a	b	K	ΔK	ε
1.						

2.						
3.						
Орт						

3. Металл және резина үшін.

№	h	a	b	K	ΔK	ε
1.						
2.						
3.						
Орт						

?

1. Үйкеліс түрлері, үйкеліс пайда болуы үшін физикалық себептерді түсіндіріңіз.
2. Үйкеліс күші деп неге айтылады? Үйкеліс коэффициенті нелерге байланысты?
3. Үйкелістің пайдалы және зиянды жақтарын түсіндіріңіз.
4. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.
5. Жұмысшы формуланы келтіріп шығарыңыз.
6. Берілген қайсы дене үшін үйкеліс коэффициенті үлкен, не үшін?
7. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ТМ -21 А ҚОНДЫРҒЫ ЖӘРДЕМІНДЕ ҮЙКЕЛІС КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Қажетті аспап және материалдар: 1. ТМ-21 А қондырғы. 2. Түзу бұрыш кесінді метал науа. 3. Әртүрлі заттардан жасалған шар және цилиндрлер. 4. Штангенциркуль. 5. Миллиметрлі қағаз.

Жұмыстың мақсаты: ТМ-21 А қондырғының құрылысын, істеу принципін үйрену және сол қондырғы негізінде әртүрлі цилиндр тәрізді және шар тәрізді денелердің тыныштықтағы, сырғанау үйкеліс коэффициенттерін анықтау.

Біреу дене, мысалы, ағаш тақтайша көлбеу жазықтықта тұрған жағдайды көріп шығайық. (33(a)-сурет).

Суреттен

$$F_n = P \cos a, F_t = P \sin a \quad (1)$$

екендігі көрініп тұрыпты, бұл жерде F_n және F_t лар P ауырлық күшінің нормал және тангенциал құраушылары, a - жазықтықтың горизонтқа көлбеулік бұрышы, a ның кіші мәндерінде тақтайшаны қозғалысқа келтіруші F_t күш тыныштықтағы F_{max} максимал үйкеліс күшінен кіші болады және тақтайша көлбеу жазықтық бетінде тыныш күйде болады. a бұрышты жай ғана арттырылса, F_t күш те артады және бірер a_0 бұрышта $|F_t| = |F_{max}|$ болады. a_0 - **үйкеліс бұрышы** деп аталады.

Төмендегі

$$F_{max} = P \sin a_0 = k F_n = k P \cos a_0 \quad (2)$$

қатынастан пайдаланып, тыныштықтағы үйкеліс коэффициенті мен a_0 үйкеліс бұрышы арасындығы байланысты төмендегідей өрнектеу мүмкін:

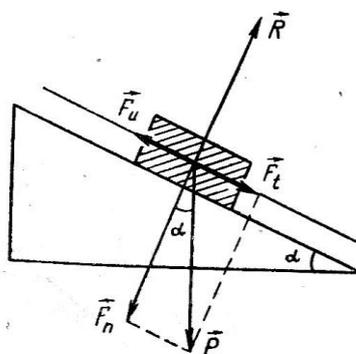
$$k = \operatorname{tg} a_0 \quad (3)$$

Жазықтықтың көлбеулігі $a > a_0$ болғанда тақтайша көлбеу жазықтық бойымен сырғанай бастайды. Сырғанау үйкеліс күші де Кулон заңына мойынсұнады. Сол үшін

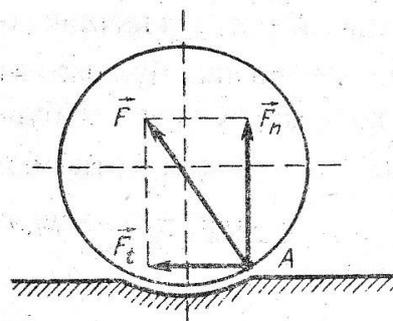
$$F_{cu} = k_c F_n \quad (4)$$

болады, мұнда F_{cu} – сырғанау үйкеліс күші, k_c – сырғанау үйкеліс коэффициенті.

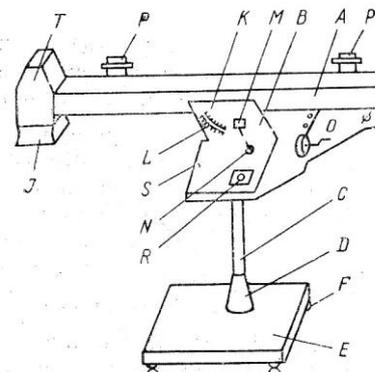
Сырғанау үйкеліс коэффициенті де дененің затына және сырғанаушы беттердің күйіне, сондай-ақ, олардың салыстырмалы қозғалыс жылдамдығына байланысты болады. Егер қозғалыс жылдамдықтары онша үлкен болмаса, k_c сырғанау үйкеліс коэффициенті тұрақты деп және k коэффициентке тең ($k_c = k$) деп есептеу мүмкін.



33(а)-сурет



33(б)-сурет



33(в)-сурет

Домалау үйкеліс сырғанау сияқты қозғалыстағы үйкеліске кіреді. Домалауда (мысалы, цилиндр немесе шардың жазықтық бойынша домалауында) денелердің жанама нүктелері тек бір мезгіл ғана бір – біріне тиеді және денелерден бірі ұрыну нүктесінен өтетін лездік ось айналасында айналады.

Домалау үйкелістің келіп шығу себебі төмендегіше. Цилиндр немесе шар жазықтық бойынша домалағанда оларда серпінді болмаған деформация жүзеге келеді және деформацияланған жазықтық жағынан денеге қозғалысқа қарама – қарсы бағытталған құраушысына ие болған \vec{F} реакция күші әсер етеді (33(б)-сурет). Бұл күш қойылған А нүкте біраз алдынға ығысады, күштің әсер сызығы болса вертикалдан арқаға бұрылады. Реакция күшінің нормаль \vec{F}_n нормаль құраушысы \vec{N} қысым күшіне қарама-қарсы бағытталған, яғни $\vec{F}_n = -\vec{N}$, тангенциал құраушысы \vec{F}_t болса домалау үйкеліс күші $\vec{F}_{o,y}$ есептелінеді, яғни $\vec{F}_{o,y} = \vec{F}_t$. Бұның нәтижесінде тіреуіш реакциясының шар(немесе цилиндр) дің айналу осіне салыстырмалы моменті пайда болады, бұл болса шардың айналуына кедергі жасайды. Бұл момент домалау үйкеліс күштерінің моменті деп аталады.

Кулон үйкеліс заңына орай, домалау үйкеліс күштерінің М моменті төмендегіше жазылуы мүмкін:

$$M = k_g N,$$

мұнда k_g - домалау үйкеліс күштері моментінің коэффициенті.

Бұл коэффициент k және k_c коэффициенттерден айырмашылық етеді, өйткені ол өлшемді шама болып, негізінде тіреуіш қысым күшінің дененің айналу осіне қатысты иінін білдіреді.

Бұл лаборатория жұмысында ТМ-21 қондырғыдан пайдаланып, тыныштықтағы, сырғанау үйкеліс коэффициенттерін анықтау мақсат етіп қойылған. Қондырғы түзілісінің принципіал схемасы 33(в)-суретте келтірілген.

ТМ- 21 А қондырғы жұмысшы ұзындығы 1400 мм лі А платформадан құралған болып, ол С түтік және D қабат жәрдемінде Е массив негізге орналастырылған В құйма корпусқа шарнир жәрдемінде бекітілген. Е массив негіз биіктік бойынша туырланатын төрт тіреуішпен тәмінділген. Платформаны 0^0 (горизонтал күй) ден 45^0 ға дейінгі аралықта кезкелген күйде орналастыру мүмкін. Платформаның көкжиекке бұрылма бұрышын К шкала және L индекс (нониус) бойынша есептеу мүмкін. Платформаны бірер

көлбеу жағдайда қолмен орналастырылады. Бұл үшін алдын М және N ұстағыштар босатылып, платформаны қажетті бұрышқа бұрады. Кейін N ұстағышты бекіткен күйде O маховикті бұрап, платформаның бұрылма бұрышын анық мәнге қойылады және M ұстағыш жәрдемінде платформа осы күйде орнатылады. Платформаны бұру механизмі корпус ішінде орналасқан. Платформа жұмысшы бетінің горизонталдығы шойынмен тексеріледі және F тіреуіштер жәрдемінде туырланады. Платформа бетінің бүйірінде екі PP^1 тұйық контакттар орналастырылған болып, оларды платформа ұзындығы бойынша бір – бірінен 100 мм аралығында орналасқан арнайы резьбалы тесіктерге көшіріп орналастыру мүмкін. Контакттар S панелге орналастырылған үзгіш R электросекундомермен тәмінделген. Аспапты вилька және тумблер жәрдемінде ток көзіне қосылады. Платформаның сол ұшында үлгілердің жұмсақ ұрылуын тәміндейтін амортизаторлы T тұтқыш орналастырылған. Үлгілер I қапқа келіп түседі.

Ескерту!

Қондырғымен істеу уақытында техника қауіпсіздігі ережелеріне мойынсұну керек. Қондырғы жерге қосылған болуы керек.

Төменде ТМ – 21 қондырғыда тыныштықтағы, сырғанаудағы коэффициенттерін анықтау тәжірибелерінің сипаттамасы берілген.

1) Тыныштықтағы үйкеліс коэффициентін анықтау

Жұмыстың орындалу реті:

1. А платформаны горизонтал күйде орналастырылады және шойынмен тексеріледі.
2. Қондырғы ток көзіне қосылады.
3. Цилиндрден бірін платформа бетіне (оң ұшына жақын) негізімен орналастырылады.
4. Платформа жай көлбеулетіп барылады (мұнда М және N ұстағыштар босатылған күйде болады) және цилиндр қозғалысқа келуі (ығыса бастауы) нен алдын тоқтатылады, М және N ұстағыштар жәрдемінде бекітіледі. К шкаладан L нониустан α_0 үйкеліс бұрышының мәні анықталынып, жазып алынады.
5. Тыныштықтағы үйкеліс коэффициенті $k = tg \alpha_0$ формуладан есептеп табылады.
6. Берілген үлгі үшін тәжірибе кемінде үш рет қайталанасы және k ның орташа мәні табылады.

7. Қалған басқа үлгілер үшін де тәжірибе жоғарыда айтылған тәртіпте орындалады.

2) Сырғанау үйкеліс коэффициентін анықтау

Егер платформаны $\alpha > \alpha_0$ бұрыш астында орналастырып, оның бетінде негізімен орналастырылған цилиндрді еркін қойып жіберсек, цилиндр платформа бойынша сырғанап, бір қалыпты қозғалыспен төменге қарап түсе бастайды. Цилиндрдің қозғалыс теңдеуі

$$ma = F_t - F_{c.u}$$

көріністе болады. (33(a)-суретке қара), бұл жерде m және a цилиндрдің массасы және үдеуі

$$F_t = mg \sin \alpha, F_{c.u} = k_c F_n = k_c mg \cos \alpha$$

Демек, $ma = mg \sin \alpha - k_c mg \cos \alpha$

Цилиндрдің бастапқы жылдамдығы нөлге тең болғанынан, оның a үдеумен уақыт ішінде өткен қашықтығын

$$s = \frac{at^2}{2}$$

көрінісінде өрнектеу мүмкін. $ma = mg \sin \alpha - k_c mg \cos \alpha$ және $s = \frac{at^2}{2}$ ден k_c сырғанау үйкеліс коэффициентін алсақ,

$$k_c = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2s}{gt^2 \cos \alpha}$$

қатынасын жаза аламыз.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Платформа М және N ұстағыштар және О маховик жәрдеміңде горизонтқа қатынасты бірер $\alpha > \alpha_0$ бұрыш астында орнатылады. К шкаладан a ның мәні жазып алынады.
2. Р контакттар бір – бірінен 800 -1000 мм қашықтықта орналастырылып, бекітіледі.
3. Цилиндрді негізімен бастапқы күйіне – платформаның жоғарығы ұшына орналастырып, қозғалысқа келуі үшін қолдан қойып жіберіледі. Платформа бетімен цилиндр сырғанап бірінші контактты үзгенде электросекундомер жұмысқа түседі. Цилиндр қозғалысын жалғастырып, екінші контактты үзгенде, электросекундомер тоқтайды. Контакттар арасындағы s қашықтық және электросекундомердің көрсетуінен цилиндрдің осы қашықтықты өтуі үшін кеткен t уақытты анықтап жазып алады.

4. s, t, a шамалардың мәнін білген күйде $k_c = tg \alpha - \frac{2s}{gt^2 \cos \alpha}$ формуладан пайдаланып k_c сырғанау үйкеліс коэффициенті есептеп табылады.

5. Берілген үлгі үшін тәжірибе кемінде үш рет қайталанады және k_c ның орташа мәні есептеледі.

6. Басқа берілген цилиндрлер үшін де жоғарыда айтылған тәртіпте тәжірибе өткізіледі және k_c ның орташа мәндері табылады.

7. Әр бір түр үлгі үшін анықталған тыныштықтағы және сырғанау үйкеліс коэффициенттерінің мәндері өзара салыстырылады және тиісті қорытынды шығарылады.

?

1. ТМ-21 А қондырғының түзілісін түсінтіріңіз.

2. $k = tga_0, k_c = tg \alpha - \frac{2s}{gt^2 \cos \alpha}$ формулалардың мазмұнын айтып беріңіз.

3. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.

4. Жұмысшы формуланы келтіріп шығарыңыз.

5. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СҰЙЫҚТЫҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫН ПИКНОМЕТР ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

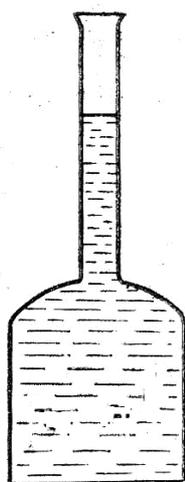
Жұмыстың мақсаты: Сұйық заттардың тығыздығын пикнометр жәрдемінде анықтауды үйрену.

Қажетті аспап және материалдар: 1. Таразы тастарымен. 2. Пикнометр. 3. Таза су құйылған ыдыс. 4. Тексерілетін сұйық құйылған ыдыс. 6. Термометр. 7. Барометр.

Теориялық негіздеме

Пикнометр - анық температурадағы көлемі ыдыс бетіне cm^3 немесе мл лерде жазып қойылған, температура өзгеруімен көлемі өзгермейтін шишадан жасалған түрлі пішіндегі ыдыстар. Әр қандай пикнометрдің мойнында оның бетінде жазылған көлемнің шекарасын білдіретін сызықша болып, тексерілетін сұйық осы сызыққа дейін толтырылады (34-сурет).

Зат тығыздығын пикнометр жәрдемінде табуда бірінші $\rho = \frac{m}{V}$ формуладан турадан-тура пайдаланып болмайды. Себебі, денені ауада таразы жәрдемінде өлшегенде бұл дене ауырлығының кемейуі есепке алынбаса, есептелген нәтиже



34-сурет

ізделініп жатқан шаманың анық өлшемінен айырмашылық етеді. Сол үшін $\rho = \frac{m}{V}$ өрнекке өзгерту кіргізіп, ізделініп жатқан шама мәнін тәжірибеде анықтауға мүмкіндік беретін жұмысшы формуланы келтіріп шығарамыз.

Айталық, бос пикнометрдің массасы m және пикнометрдің таза сумен біргеліктегі массасы M болсын, ол күйде пикнометрдегі таза судың массасы $M - m$ ге тең болады. Температураны есепке алмасақ, таза судың граммдар есебіндегі массасы осы таза судың см^3 есебіндегі көлеміне тең болады. Сол үшін пикнометрдің

V ішкі көлемі сан жағынан $\frac{M - m}{\rho_c}$ ға тең, мұнда ρ_c – судың

тығыздығы, демек, пикнометрге құйылған таза судың массасы $M - m = \rho_c V$ болады. Сондай-ақ, тексерілетін сұйық жайлы да жоғарыдағыдай пікір жүргізіп, пикнометрге құйылған бұл сұйықтың массасы үшін де осы қатынасты аламыз: $M_1 - m = \rho V$, бұл жерде M_1 сұйық пен пикнометрдің массасы, ρ - сұйықтың тығыздығы.

Жоғарыдағы пікірлерден пайдаланып, $\rho = \frac{m}{V}$ өрнекті төмендегідей жазамыз:

$$\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} \rho_c$$

Енді денелер ауада өлшенгенде олардың салмағы кеміп баруын есепке алған күйінде пікірді жалғастырамыз.

Егер пикнометрдің ішкі көлемі V , тәжірибе уақытындағы қысым және температураға дәл келетін ауаның тығыздығы ρ_a деп алынса, ол күйде $\rho_a V$ ығыстырып шығарылған ауаның массасы болады. Сұйықтың тепе – теңдікке келтіретін таразы тастарының тығыздығын ρ_m деп алсақ, таза суды тепе – теңдікке келтіретін таразы тастары ығыстырып шығарған ауа массасы $(M - m) \frac{\rho_a}{\rho_m}$ болады.

Енді таза сумен таразы тастары тепе – теңдікте болуы үшін

$$\rho_c V - \rho_a V = (M - m) \frac{(M - m)}{\rho_m} \rho_a$$

немесе

$$V(\rho_c - \rho_a) = (M - m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right)$$

деп жаза аламыз. Осыған ұқсас, сұйық үшін де

$$\rho V - \rho_a V = (M_1 - m) \frac{(M_1 - m)}{\rho_m} \rho_a$$

немесе
$$V(\rho - \rho_a) = (M_1 - m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$$

шартты жаза аламыз,
$$V(\rho_c - \rho_a) = (M - m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$$
 және

$$V(\rho - \rho_a) = (M_1 - m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$$
 теңдеулерді мүше-мүше бөліп, төмендегі

$$\frac{\rho_c - \rho_a}{\rho - \rho_a} = \frac{M - m}{M_1 - m}$$

өрнектен

$$\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} (\rho_c - \rho_a) + \rho_a$$

ны жазамыз.

Сонымен, $\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} (\rho_c - \rho_a) + \rho_a$ соңғы формула жәрдемінде сұйықтың шын тығыздығын есептеу мүмкін.

Жұмысты орындау реті:

1. Алғаш бөлмедегі қысым және температураны анықтап жазып алынады.
2. Жақсы құрғатылған пикнометрдің m массасы таразыда 3-4 рет өлшеп алынады.
3. Пикнометрдің мойнындағы сызыққа дейін таза су құйып, оның M массасы таразыда 3-4 рет өлшеп алынады.
4. Пикнометрдегі таза суды ыдысқа құйып, кейін оған тексерілетін сұйық құйылады. Оның да пикнометрмен біргеліктегі M_1 массасын таразыда 3-4 рет өлшенеді.
5. Кестелерден белгілі температураға дәл ρ_c және ρ_a ның мәндерін тауып жазылады.
6. $\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} (\rho_c - \rho_a) + \rho_a$ формуладағы барлық шамалардың мәндерін орнына қойып, сұйықтың ρ тығыздығы есептеп табылады.
7. Массаларды өлшеудегі абсолют және салыстырмалы қателіктер есептеледі.

?

1. Пикнометр қандай аспап, оның жәрдемінде сұйық тығыздығы қандай анықталынады?

2. $\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} \rho_c$ формуланы келтіріп шығарыңыз.
3. $\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} (\rho_c - \rho_a) + \rho_a$ формуланы келтіріп шығарыңыз.
4. Жұмысты атқару тәртібін түсіндіріңіз.
5. Жұмысшы формуланы келтіріп шығарыңыз.
6. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫН ПИКНОМЕТР ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: қатты денелердің тығыздығын пикнометр жәрдемінде анықтауды үйрену.

Қажетті аспап және материалдар: 1.Таразы тастарымен. 2.Пикнометр. 3.Таза су құйылған ыдыс. 4.Тексерілетін қатты дене (ас тұзы және басқалар). 5.Термометр. 6.Фильтр қағаз немесе материал.

Теориялық негіздеме

Қатты денелердің тығыздығын табуда 34-суретте көрсетілген пикнометрден пайдаланылады. Мұнда және осыған мән беру керек, пикнометрге сұйық құйып дене салынғанда сұйық пикнометр мойынындағы сұйықтан жоғары көтерілмеуі керек.

Көз алдымызға келтірейік, таза су құйылған пикнометрдің суымен бірге массасы M болсын. Егер пикнометрдің массасы m_n , ішіндегі таза судың массасы m_c болса, ол күйде $M = m_n + m_c$ болады. Енді суы бар пикнометрге тексеріліп жатқан қатты денені саламыз. Мұнда қатты дене судың бір бөлігін ығыстырып шығарады, оны шприц немесе пипетка жәрдемінде алып тасталады. Пикнометрдің таза су және қатты денемен бірге массасы M_1 болсын. Егер қатты дененің массасын m мен, пикнометр ішінде қалған судың массасын m_c^1 мен белгілесек, ол күйде $M_1 = m_n + m + m_c^1$ болады. $M - M_1$ айырма төмендегі өрнекке тең болады:

$$M - M_1 = m_c - m_c^1 - m,$$

бұдан қатты дене көлеміне тең көлемді сұйықтың, яғни қатты дене, ығыстырып шығарған сұйықтың массасы

$$m_c - m_c^1 = M - M_1 + m$$

ге тең екендігі келіп шығады, қатты дененің иелеген көлемі төмендегіше болады:

$$V = \frac{m_c - m_c^1}{\rho_c} = \frac{M - M_1 + m}{\rho_c}$$

мұнда ρ_c - таза судың анық бір температурадағы тығыздығы.

Көлемнің $V = \frac{m_c - m_c^1}{\rho_c} = \frac{M - M_1 + m}{\rho_c}$ формуладағы мәнін $\rho = \frac{m}{V}$

өрнекке қойсақ, қатты дененің тығыздығы төмендегіге тең болады:

$$\rho = \frac{m}{M - M_1 + m} \rho_c$$

Қатты дененің $\rho = \frac{m}{M - M_1 + m} \rho_c$ формула жәрдемінде

есептелген тығыздығы шамамен есептеледі, өйткені бұл формулаға денені ауада өлшегенде оның салмағының кемейіні есепке алатын түзету енгізілмеген. ρ ның шын мәнін табуға мүмкіншілік беретін формуланы келтіріп шығарамыз.

Айтайық, ρV тексеріліп жатқан қатты дененің шын массасы, $\rho_a V$ қатты дене ығыстырып шығарған ауаның массасы, $m \frac{\rho_a}{\rho_m}$ қатты денені тепе – теңдік күйге келтіретін таразы тастары ығыстырып шығарған ауаның массасы, $\frac{M - M_1 + m}{\rho_m} \rho_a$ таза суды тепе – теңдікке келтіретін тастар ығыстырып шығарған ауаның массасы болсын, мұнда ρ_m - таразы тастарының тығыздығы; ρ_a - ауаның тығыздығы. Қатты дене ауада таразыда өлшенгенде төмендегі тепе – теңдік шарты орындалуы керек.

$$\rho V - \rho_a V = (m - m) \frac{\rho_a}{\rho_m}$$

немесе $V(\rho - \rho_a) = m \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$

Бұл формуланы су үшін жазамыз:

$$V(\rho_c - \rho_a) = (M - M_1 + m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right),$$

$V(\rho - \rho_a) = m \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$ және $V(\rho_c - \rho_a) = (M - M_1 + m) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)$

теңдеулерді мүшеме – мүше бөліп

$$\frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} = \frac{m}{M - M_1 + m}$$

формуланы жаза аламыз. Бұдан

$$\rho = \frac{m}{M - M_1 + m}(\rho_c - \rho_a) + \rho_a$$

жұмысшы формула пайда болады.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Қатты дененің m массасы таразыда 3-4 рет өлшеп алынады.
2. Пикнометрге таза су құйып, таза сумен пикнометрдің біргеліктегі M массасы таразыда 3-4 рет өлшенеді.
3. Таза су құйылған пикнометрге қатты дене салынады және дене ығыстырып шығарған судың бір бөлігін алып тастап (көлем тұрақты болуы керек), пикнометрдың таза су және қатты денемен біргеліктегі M_1 массасы таразыда 3-4 рет өлшенеді.
4. ρ_c және ρ_a ның анық температурадағы және атмосфера қысымына дәл келетін мәндерін кестеден жазып алынады.
5. Өлшеп табылған және кестеден алынған шамалардың мәндерін $\rho = \frac{m}{M - M_1 + m}(\rho_c - \rho_a) + \rho_a$ формулаға қойып, қатты дененің тығыздығының мәні есептеп табылады.
6. Кестеден пайдаланып, тығыздықтың бұл мәні қайсы затқа тиісті екендігі анықталады.
7. Массаларды өлшеудегі абсолют және салыстырмалы қателіктер есептеп анықталады.

?

1. Пикнометр қандай аспап, ол жәрдемінде қатты дененің тығыздығы қандай анықталады?
2. $\rho = \frac{m}{M - M_1 + m} \rho_c$ формуланы келтіріп шығар.
3. $\rho = \frac{m}{M - M_1 + m}(\rho_c - \rho_a) + \rho_a$ формуланы келтіріп шығар.
4. Пикнометр жәрдемінде қатты дененің көлемі қандай анықталады?
5. Атқарылған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ҚАРАПАЙЫМ МЕХАНИЗМДЕРДІҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: көлбеу жазық жәрдемінде қарапайым механизмдердің пайдалы әсер коэффициентін тәжірибеде анықтау

Қажетті аспап және материалдар: 1.Көлбеу жазық аспабы. 2.Ілгегі бар ағаш және алюминий тақтайшалар. 3.Таразы тастарымен. 4.Масштабты сызғыш.

Теориялық негіздеме

Сыртқы күштің әсерінен дене кеңістіктің бір нүктесінен екінші нүктесіне орын ауыстыратын болса, онда сыртқы күш денені жылжыту кезінде жұмыс істейді. Ол жұмыс күшпен орын ауыстыру векторының скалярлық көбейтіндісіне тең шама:

$$A = \vec{F} \cdot \Delta\vec{R} = |\vec{F}| |\Delta\vec{R}| \cos(\vec{F} \wedge \Delta\vec{R})$$

Механикалық жұмыс $Dж = H \cdot m$ де бейнеленеді.

Әр қандай машина жұмысы толық пайдалы болмайды. Жұмыстың бір бөлігі сөзсіз, пайдасыз кетеді. Мысалы, барлық машина және механизмдерде барлық уақыт үйкеліс күштері бар болып, бұл күштерді жеңу үшін орындалатын жұмыс пайдасыз есептеледі. Сол үшін әр бір машинаның қаншалық нәтижелі істеуін сипаттау үшін пайдалы әсер коэффициенті түсінігі енгізіледі. Машинаның η пайдалы әсер коэффициенті деп, A_n пайдалы жұмыстың орындалған A жалпы жұмысқа болған қатынасына айтылады, пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) % терде бейнеленеді. Сипаттамаға көре,

$$\eta = \frac{A_n}{A} \%$$

болады. Бұдан көрініп тұрыпты, ПӘК жалпы орындалған жұмыстың қанша бөлігі пайдалы жұмысқа айналғанын көрсетеді. Бұл жұмыста көлбеу жазықтық аспабы мысалында ПӘКі анықталады.

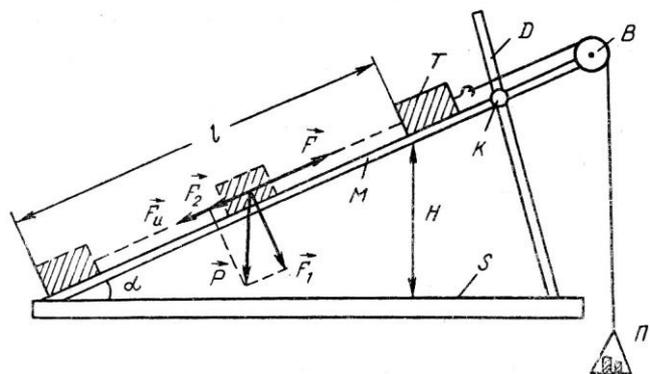
Көлбеу жазық аспабының түзілісі 35- суретте көрсетілген. S массив негізге беті бір қалыпты етіп жасалған M тақтайша ұшынан бірер α бұрыш астында орнатылған болып, тақтайшаның көлбеулігін D стерженьдегі k винт жәрдемінде өзгерту мүмкін. M тақтайшаның екінші ұшына қозғалмайтын B шығыр орнатылған. Шығыр арқылы өткізілген жіптің бір ұшы көлбеу жазықтық бетіне қойылған T денеге, екінші ұшы болса Π жағына байланған. Егер таразының сол жағына тастар қойылса, дене көлбеу жазықтық бойымен қозғалысқа келеді.

Суреттен көрініп тұрыпты, денені қозғалысқа келтіретін \vec{F} күш шама жағынан \vec{P} ауырлық күшінің \vec{F}_2 құраушысы мен дене

қозғалғанда оған қарсылық ететін \vec{F}_y үйкеліс күштерінің жиындысына тең болғанда, яғни

$$\vec{F} = \vec{F}_2 + \vec{F}_y$$

шарт орындалғанда, дене бір қалыпты қозғалыс жасайды. Ол күйде денені көлбеу жазықтықтың төменгі ұшынан жоғары ұшына дейін сырғанатып алып шығуда орындалған толық жұмыс $A = Fl$ болады, мұнда l - көлбеу жазықтықтың ұзындығы.



35-сурет

Бұл жұмыстың \vec{F}_y күшін жеңу үшін орындалған бөлігі пайдасыз. Денені көлбеу жазықтықтың H биіктігіне тең биіктікке көтеруде орындалған жұмыс, пайдалы жұмыс есептелінеді, яғни

$$A_n = PH$$

Демек, $\eta = \frac{A_n}{A} \%$ формуланы төмендегіше жазу мүмкін:

$$\eta = \frac{PH}{Fl} 100\%$$

Бұл формулаға кірген шамаларды тәжірибеде тікелей өлшеп ПӘК анықтау мүмкін. Бұл үшін көлбеу жазықтық аспабы суретте көрсетілгендей горизонтал күйде орналастырылып, төмендегі тәртіпте жұмыс орындалады.

Жұмысты орындау реті:

1. Ағаш тақтайшаның m массасы таразыда 3-4 рет өлшеп алынады және $P = mg$ ауырлығы есептеп табылады.

2. Таразы жақтарының m_n массасы өлшенеді.

3. Ағаш тақтайшаны көлбеу жазықтықтың төменгі бөлігіне орналастырып, тақтайшаны жайғана түртіп жіберілгенде бір қалыпты қозғалысқа келгенше таразы жағына тастардан қойылады

және тастардың массасы m_m анықталады. Тәжірибені 3-4 рет қайталап, m_m ның орташа мәні есептеледі.

4. Тақтайшаны қозғалтушы \vec{F} күш таразы жағымен тастардың ауырлығына тең болғаны үшін $F = (m_m + m_n)g$ есептеп табылады.

5. Масштабты сызғыш жәрдемінде көлбеу жазықтықтың H биіктігі мен l ұзындығын суретте көрсетілгендей өлшеп алынады.

6. $\eta = \frac{PH}{Fl} 100\%$ формуладан пайдаланып ПӘК есептеп табылады.

7. К винт жәрдемінде көлбеу жазықтықтың биіктігін 4-5 рет өзгертіріп, әр бір күй үшін ПӘК анықталады.

8. Көлбеу жазықтықтың биіктігі мен ПӘК тің арасындағы байланысты бейнелейтін $\eta = f(H)$ графикті сызып, сипатталады.

9. Алюминий тақтайшамен де жоғарыдағы тәртіпте тәжірибе өткізіледі және мұнда да $\eta = f(H)$ график сызып сипатталады.

?

1. Механикалық жұмыс деп неге айтылады және қандай бірліктерде өлшенеді?

2. Жалпы жұмыс және пайдалы жұмыс дегенде нені түсінесіз?

3. ПӘК деп неге айтылады және ол қандай параметрлерге байланысты?

4. Не үшін (2) шарт орындалғанда тақтайша бір қалыпты қозғалыс жасайды?

5. $\eta = f(H)$ ты бейнелейтін графикті сипаттап беріңіз.

6. Көлбеу жазықтықтың ПӘКін қандай арттыру мүмкін?

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ СЫРҒАНАУ ҮЙКЕЛІС КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Трибометр жәрдемінде түрлі қатты денелер арасындағы сырғанау үйкелісінің коэффициентін анықтауды үйрену.

Қажетті аспап және приборлар: Трибометр, үйкеліс коэффициенті анықталатын ағаш және металл білеулер, таразы және таразы тастары, шайтан, штангенциркуль.

Теориялық негіздеме

Денелердің өзара тиіп тұрған беттері арасында пайда болатын және олардың қозғалысына кедергі жасайтын күш **үйкеліс күші** деп

аталады. Бұл күш денелер бетімен бағытталған қозғалысқа қарсы болады.

Үйкеліс екі түрде болады: сыртқы және ішкі үйкеліс. Сыртқы үйкеліс екі қатты дене бетімен өзара тиіп тұрған нүктелерде болады.

Беттері тиіп тұрған екі дене бір – біріне қатынасты орын ауыстырған уақытта пайда болатын үйкеліс күштері **сыртқы үйкеліс** күштері делінеді.

Денелер өзара бір – біріне салыстырмалы қозғалмайтын болғанда олар арасындағы үйкеліс тыныш үйкеліс болады.

Бір жеке дененің (мысалы, сұйық немесе газдың) бөліктері арасындағы өзара үйкеліс күші **ішкі үйкеліс күші** делінеді.

Сыртқы үйкеліс: тыныш күйіндегі (тыныштықтағы) үйкеліс, сырғанау үйкеліс және домалау үйкеліс көріністерінде болады.

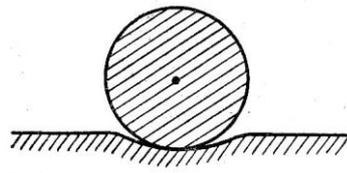
Дене салыстырмалы тыныштықта тұрғанда үйкеліс күші оны бір жерде ұстап тұрады. Бұл күш дененің тұрған жерінен қозғалуына қарсылық етеді және оны **тыныштықтағы үйкеліс күші** делінеді. Тыныштықтағы үйкеліс күшінің шамасы және бағыты дененің сырғанауын жүзеге келтіруі мүмкін болған сыртқы күштің шамасы және бағыты мен анықталады.

Тыныштықтағы үйкеліс күші түрлі шамаға ие болуы және бір – біріне тиіп тұратын беттерде түрлі бағыттарды алуы мүмкін, бірақ шамасы бойынша **тыныштықтағы максимал үйкеліс күші** деп аталатын күштен үлкен бола алмайды. Сыртқы күш тыныштықтағы максимал үйкеліс күшінен үлкен болмағанша дененің сырғанауы жүзеге келмейді.

Денелер қозғалғанда сырғанау үйкеліс пайда болады. Қатты денелердің бірі тыныш тұрып оның үстінде екінші дене домалағанда пайда болатын үйкеліс **домалау үйкеліс** делінеді. Домалау үйкеліс болуына негізгі себеп, домалап жатқан дене салмағы нәтижесінде жүзеге келетін деформация. Қысым нәтижесінде бетте тереңдік пайда болады, дене бетке ұрылу нүктесінде біраз жазық түрге келеді (36-сурет). Бұл күй дененің домалауын күрделентіреді.

Сұйықтық және газдардың өзара қозғалысында ішкі үйкеліс (тұтқырлық) пайда болады. Дене бір қалыпты қозғалғанда үйкеліс дененің тартылыс күшіне тең болады, яғни:

$$F = F_{\text{үйк}}$$



36- сурет

Ол күйде динамиканың негізгі заңын төмендегідей жазу мүмкін:

$$F + F_{\text{үйк}} = ma$$

Бұнда F - дененің тартылыс күші; $F_{\text{үйк}}$ - үйкеліс күші; a - үдеу; m - дене массасы.

Ең үлкен үйкеліс күші дене тыныш тұрғанда болады. Сырғанау үйкеліс орынды болғанда үйкеліс күші тартылыс күшіне пропорционал болады және дене бір қалыпты, үдеусіз қозғалады, яғни

$$F_{\text{үйк}} = \mu N,$$

мұнда μ - үйкеліс коэффициенті.

Егер трибометр үстіндегі білеуді қозғалтушы F күш $F_{\text{үйк}}$ сырғанау үйкеліс күшінен үлкен болса, білеу үдеуге ие болады. Егер $F_{\text{үйк}} > F$ болса, ол уақытта қозғалыс баяуламалы болып, дене жай тоқтап қалады. Егер $|F_{\text{үйк}}| = |F|$ болса, ол күйде білеу бір қалыпты қозғалыс жасайды. Демек, білеуді бір қалыпты қозғалысқа келтіріп, сырғанау үйкеліс күшін анықтау мүмкін. Бұл үшін білеуді жай тартып жібергенде, ол бір қалыпты қозғалысқа келгенше таразыға тастарды қойып бару керек. Бұл уақытта білеуді қозғалтушы F күш таразы тастарымен таразы жағының ауырлығының жиындысына тең болады, яғни:

$$F = P_T + P_{T,ж}$$

мұнда P_T - таразы тастарының ауырлығы; $P_{T,ж}$ - таразы жағының ауырлығы.

Үйкеліс күші сан мәні жағынан қозғалтушы күшке тең болғаны үшін $F_{\text{үйк}} = P_T + P_{T,ж}$ деп жаза аламыз. $P_T = m_T g$, $P_{T,ж} = m_{T,ж} g$ екендігін есепке алсақ (бұл жерде m_T - таразы тастарының массасы, $m_{T,ж}$ - таразы жағының массасы), ол күйде $F_{\text{үйк}} = (m_T + m_{T,ж})g$ болады.

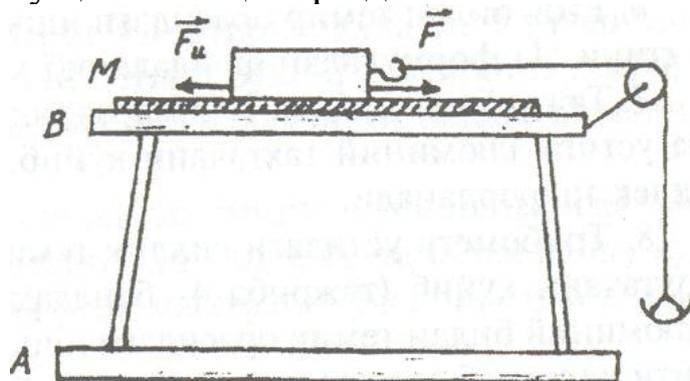
Сырғанау үйкеліс коэффициентінің өрнегін төмендегідей көріністе жазу мүмкін:

$$k = \frac{(m_T + m_{T,ж})g}{mg} = \frac{m_T + m_{T,ж}}{m},$$

бұл жерде m - білеудің массасы, $P = mg$ білеудің ауырлығы.

Қондырғының түзілісі және істеуі

Сырғанау үйкеліс күштері трибометр деп аталатын аспап жәрдемінде өткізілген тәжірибелер негізінде анықтау мүмкін. Трибометрдің түзілісі 37-суретте көрсетілген. Ұзындығы 60-50 см және ені 10-15 см болған А столдың үстіне бір - біріне параллел күйде В білеу және тегіс бетті М металл жатқызылған. В білеудің шетіне үйкеліссіз қозғалатын V шығыр орнатылған. Тегіс бет үстінде ағаш немесе металл білеу (жүк)ді қозғалысқа келтіру үшін оған байланған жіп шығыр арқылы өткізіліп оның екінші ұшындағы Р таразы жағына таразының тастары қойылады және ауырлық күші әсерінде білеу қозғалысқа түседі.



37-сурет

Мұнда ауырлық күші әсерінде жіптің керулігі артады және бұл күш есебіне тегіс жазықтық үстіндегі білеу қозғалысқа түседі. Ауырлық күшінің шамасына дәл ретте білеу тез немесе жай қозғалуы мүмкін. Бұл тәжірибені өткізу кезеңінде таңдалады.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Лаборатория жұмысын оқып үйреніңіз.
2. Трибометрді горизонтал күйде орналастырыңыз және М металл тегіс бет үстіне шайтанды орналастырып оның горизонталдығын тексеріңіз.
3. Ағаш және металл білеудің m_n массаларын (жеке-жеке) және таразы жағының m_n массасын таразыда 3-4 рет өлшеп анықтаң және олардың орташа арифметикалық мәндерін анықтаңыз.
4. Білеулерден бірін мысалы, ағаш білеуді трибометр үстіне қойың және оның ілгегіне жіпті іліп, блок арқылы өткізіңіз және жіптің екінші ұшына таразы жағын байлаңыз.
5. Таразы жағына таразы тастарынан қойып, денені жоғарыда айтылғандай бір қалыпты қозғалысқа келтіріңіз. Ол бір қалыпты қозғалысқа келген күйде таразы жағына қойылған таразы тастарының m_T массасын анықтаңыз.

6. Ағаш пен темір арасындағы үйкеліс коэффициентін жоғарыдағы формуладан пайдаланып есептеңіз.

7. Тәжірибені кемінде 4-5 рет қайталаң. Ағаш білеудің үстіне алюминий білеуді қойып, тәжірибе жоғарыдағыдай (4 пункттегідей) қайталаңады.

8. Трибометр үстіндегі тегіс темір үстіне алюминий білеу қойып (тәжірибе 4 пункттегідей қайталаңады) алюминий мен темір арасындағы үйкеліс коэффициенті есептеп табылады.

9. Темір білеу орнына алюминий білеу алып, оның үстіне ағаш білеу қойып (тәжірибе 4 пункттегідей қайталаңады) және алюминий мен ағаш арасындағы үйкеліс коэффициентін анықтаңыз.

10. Әр бір күй (ағаш, темір, алюминий және темір) үшін үйкеліс коэффициенттерінің орташа мәндерін есептеңіз.

11. Абсолют және салыстырмалы қателіктерді есептеңіз.

?

1. Үйкеліс күші деп неге айтылады және бұл күш қашан пайда болады?

2. Үйкеліс коэффициенті не және бірлігі қандай?

3. Сыртқы үйкеліс түрлерін айтың және қайсы үйкеліс түрінде үйкеліс коэффициенті үлкен болады?

4. Ішкі үйкеліс деп неге айтылады?

5. Үйкеліс коэффициенті қандай физикалық шамаларға байланысты болады?

6. Жұмысты орындау тәртібін түсіндіріңіз.

7. Орындалған жұмыстан қорытынды шығарың.

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛЫСЫ ДИНАМИКАСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ЗАҢДАРЫН ТӘЖІРИБЕДЕ ТЕКСЕРУ

Жұмыстың мақсаты: Обербек маятнігі жәрдемінде қатты дене шеңбер бойымен қозғалысы динамикасының негізгі заңдарын тексеру.

Қажетті аспап және материалдар: Обербек маятнігі, ұзындығы 2 метр келетін масштабты сызғыш, бірнеше дана 100-200 граммдық жүктер, штангенциркуль, секундомер.

Теориялық негіздеме

Қазіргі заман физикасында қатты дене дегенде кристалл структураға ие болған денелер түсініледі. Бөлшектері бір – біріне қатынасты ығыспайтын, яғни деформацияланбайтын қатты дене **абсолют қатты дене** делінеді.

Қатты дененің кез келген қозғалысын ілгерілемелі қозғалыстың және қозғалмайтын осьтен айналудың қосындысы түрінде қарастыруға болады. Қатты дененің, денемен байланысты түзу өзіне-өзі параллель болып қалатын қозғалысы **ілгерілемелі** қозғалыс деп аталады; ілгерілемелі қозғалыс кезінде қатты дененің барлық нүктелері бірдей уақыт мезетінде бірдей орын ауыстырулар жасайды; осының арқасында барлық нүктелердің берілген мезеттегі лездік жылдамдықтары мен үдеулері бірдей болады. Сондықтан қатты дененің ілгерілемелі қозғалысын қарастыруды осы дененің бір нүктесінің ғана қозғалысын қарастырумен алмастыруға болады. Қатты дененің қозғалмайтын осьтен айналуы кезінде оның түрліше нүктелері айналу осіне перпендикуляр жазықтықтарда шеңберлер сызады; бұл шеңберлердің центрлері осьте жатады; сондықтан қатты дененің айналуын сипаттаған кезде нүктенің шеңбер бойымен қозғалысын қарастырған кездегі формулаларды пайдалануға болады.

Шеңбер бойымен қозғалыстағы дененің негізгі заңы төмендегідей бейнеленеді:

$$M = J * \varepsilon \quad (1). \quad J = m * r^2 \quad (2).$$

мұнда, **M** – денеге әсер ететін күштердің айналу осіне қатынасты алынған моменті, **J** – дененің инерция моменті, ε - дененің бұрыштық үдеуі. ε ні (1) – ші өрнектен төмендегідей жазу мүмкін:

$$\varepsilon = \frac{M}{J} \quad (3).$$

Бұл формулада тізбектің өзара байланысын Обербек маятнигі жәрдемінде тексереміз.

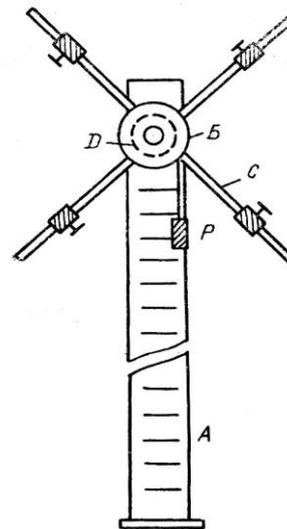
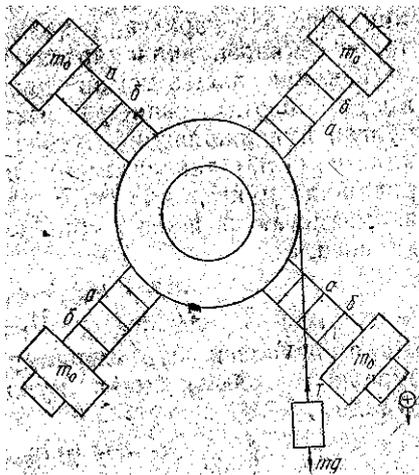
Обербек маятнигі А бағанға орнатылған Б (бір) бұрышқа кіргізілген және горизонтал ось айналасында еркін айнала алатын крест пішінінде бекітілген С стержендер-крестовиналардан тұрады (көрші стержендер бір–біріне перпендикуляр, 38-сурет). С стержендерге айналу центрінен бірдей қашықтықта **m** массалы жүктерді орналастыру мүмкін. Жүктерді стержендер бойынша ығыстыру арқылы маятниктің инерция моменті өзгертіледі.

Крестовинаның айналу осіне D шығырық орналастырылған болып, шығырыққа жіп оралған, жіптің екінші ұшы Р жүкке байланған.

Жүктің ауырлығы әсерінде жүзеге келген жіптің керулік күші крестовинаға айналтырушы момент әсер етіп, оны бір қалыпты үдемелі шеңбер бойымен қозғалысқа келтіреді.

Р жүктің шамасын әр түрлі таңдап, маятникке әсер ететін күш моментін өзгерту мүмкін. Крестовинаның шеңбер бойымен бұрыштық үдеуінің шамасын Р жүктің t түсу уақытына қарай бағалау мүмкін. Егер жүктің А баған бойынша түсу биіктігі h және түсу уақыты t болса, жүктің қозғалыс үдеуі төмендегідей табылады: $a = \frac{2h}{t^2}$

$$a = \frac{2h}{t^2}$$



38-сурет

a үдеуді білген күйде крестовина осіне орнатылған D - шығырықтың радиусын өлшеп, оның бұрыштық үдеуін және күш моментін табу мүмкін: $\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{2h}{rt^2}$ (4).

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{2h}{rt^2} \quad (4).$$

$$P = m \cdot (g - a); \quad M = P \cdot r = m (g - a) r \quad (5).$$

Айналушы жүйе инерциясы бойынша (4) және (5) формулалар жәрдемінде ε және M табылғаннан кейін жүйенің инерция моменті төмендегідей табылады:

$$I = mr^2 t^2 \frac{g - \frac{2h}{t^2}}{2h}$$

Жүйенің инерция моментін өзгертпей, тік түсетін жүктің шамасын өзгертумен жүйедегі күш моментін өзгерту мүмкін. Кейін

маховик стержендеріндегі 2 немесе 4 дана жүк орналастырып, оның күш моменттерін бір түрде сақтаған күйде, жүктерді айналу осыне дейін моментін асыру немесе кеміту мүмкін.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Штангенциркуль жәрдемімен шығырық диаметрі D өлшеніп, оның радиусы $r = \frac{D}{2}$ анықталынады.

2. Маятниктің бір қалыпты айналуы және жіптің ұзындығы жетерліше екендігі тексеріледі. Маятник айналтырылып, жүк орналастырылған құрылманы h биіктікке көтеріледі және h қашықтық сызғыш жәрдемінде өлшенеді.

3. Маятник стержендері жүктерсіз болған күйде құрылмаға m_1, m_2 массалы тастар қойылып, оның түсу уақыты есептелінеді.

4. Әр бір күй үшін ε, M және J шамалар анықталынады. Стержендердегі жүктерді алып, яғни жүйенің инерция моментін тұрақты етіп, жіп ұшына байланатын екі түрлі жүк үшін (5) және (4) формулалардан, маховиктің ε_1 және ε_2 бұрыштық үдеулерін табамыз, кейін M_1, M_2 күш моменттерін табамыз.

5. Табылған мөлшерлер төмендегіше пропорцияны қанағаттандыруы қажет:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

Күш моментін өзгертпей сақтап жіп ұшындағы жүк ауырлығын өзгертпей тұрып, маховиктегі ығыстыру жолымен бұлардың екі күйі үшін (3) және (4) формулалар жәрдемінде $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ бұрыштық үдеулерді табамыз. Табылған нәтижелер төмендегі

пропорцияны қанағаттандыруы қажет:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{J_1}{J_2}$$

6. Өлшенген және есептелген шамалар төмендегі кестеге жазылады.

7. Шеңбер бойымен қозғалыс динамикасы негізгі заңын тексерудегі салыстырмалы қателік: $\varepsilon = \pm \frac{x-y}{y} \cdot 100\%$ өрнек пен

есептелінеді, бұл жерде: $x = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, y = \frac{M_1}{M_2}$.

N	m, (кг)	t,(с)	h, м	ε , рад*с ⁻²	M,Н*м	J,кг*м ²	ε ,100%

1							
2							
3							
4							
5							
орт							

?

1. Инерция моменті және күш моменті жайлы түсінік беріңіз.
2. Сзықты және бұрыштық шамалар арасындағы қатынастарды түсіндіріңіз.
3. Айналыстағы қатты дене үшін динамиканың негізгі заңының математик өрнегін жазыңыз.
4. Энергияның баланс формуласын жазыңыз.
5. Айналыстағы қатты дененің кинетикалық энергиясы неге тең?
6. Бұрыштық жылдамдық және бұрыштық үдеудің сипаттамасын беріп, формуласын жазыңыз.
7. Бұрыштық жылдамдық және бұрыштық үдеудің бірліктерін айтың.
8. Инерция моменті және күш моменті қандай бірліктерде өлшенеді?
9. Жұмыстың орындалу тәртібін түсіндіріңіз.
10. Орындалған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СЕРПІНДІЛІК КҮШІ МЕН АУЫРЛЫҚ КҮШІНІҢ ӘСЕРІНЕН ДЕНЕНІҢ ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛЫСЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: бірнеше күштің әсерінен дене шеңбер бойымен қозғалғанда, олардың тең әсерлі күші дене массасының үдеуге көбейтіндісіне тең екеніне көз жеткізу: $F = ma$.

Өлшеу құралдары: 1) миллиметрлік бөлік түсірілген сызғыш; 2) секундтық тілі бар сағат; 3) динамометр.

- Материалдар:** 1) ұстағышы мен сақинасы бар штатив;
2) мықты жіп; 3) радиусы 15 см шеңбер сызылған бір бет қағаз;
4) механикадағы жиынтықтан алынған жүк.

Теориялық негіздеме

Табиғаттағы өзара әсер күштерінің тегі төртеу ғана болатынын барлығымыз білеміз. Күнделікті өмірде кездестіріп жүрген кез келген күштің сол төрт күштің біріне негізделетінін дәлелдеуге болады. Мысалы, біз білетін тартылыс күші, салмақ, ауырлық күштерінің тегі гравитациялық күш екенін білеміз. Дене бөлшектері бір – бірімен тартылыс күштерінің бірі арқылы байланысып тұратынына күмән жоқ. Егер осы денені созу немесе қысу арқылы бөлшектердің ара қашықтығын өзгертсек бөлшектердің өзара әсері де өзгереді.

Оған қоса қатты денелердің көпшілігі кристалл күйде болады, яғни атомдар белгілі бір тәртіппен реттеліп орналасады. Дене өз атомдарының осы реттелген күйін сақтауға тырысады. Енді ол денені иіп немесе созсақ, онда өзінің бастапқы күйіне қайтып келтіруге бағытталған күш пайда болады. Міне осы қатты дененің өз күйін сақтауға тырысқан ішкі реакция күшін **серпімділік күші** деп атайды. Мысалы, болат серіппені созсақ, оны созып тұрған сыртқы күшке қарама – қарсы серіппені бастапқы қалыпқа келтіруге тырысқан ішкі серпімділік күші пайда болады. Сыртқы күштің әсерін тоқтатсақ серпімділік күші серіппені өзінің бастапқы қалпына қайтып алып барады. Көптеген аморфты қатты денелерде ішкі серпімділік күш өте аз болады, мысалы, алюминий, жұмсақ темір, таза мыс, қорғасын т.б. ішкі серпімділік күші денені аз ғана күшпен шексіз соза беруіне мүмкіндік бермейді. Сыртқы күштің әсерімен серпімді денені қаншалықты созуға болатынын тағайындайтын заң – Гук заңы. Серіппені өзінің тепе- теңдік қалпынан x ұзындыққа созу үшін

$$\vec{F} = -kx\vec{n} \quad (1)$$

күш жұмсау қажет, мұндағы k - серіппенің серпімділік коэффициенті, ол серіппенің тегіне, құрылысына тәуелді, \vec{n} - бірлік вектор. Оның бағыты \vec{F} күшіне қарама – қарсы бағытталған.

Гук заңының скалярлық түрі мынандай:

$$F = -kx \quad (2)$$

Бүкіл әлемдік тартылыс күші көрінісінің бірі – дененің Жерге тартылу күші, ол **ауырлық күші** деп аталады. Жердің массасын $M_{ж}$ арқылы, дененің массасын $m_{д}$ арқылы белгілейік. Сонда бүкіл әлемдік тартылыс заңына сәйкес денеге әсер ететін күшті мына формуламен табуға болады:

$$F = G \frac{M_{ж} m_{д}}{R^2} \quad (3)$$

міне, бұл ауырлық күші. Ол Жер центріне бағытталған.

Егер дене Жер бетінде болса немесе оған жақын орналасса, онда (3) формуладағы R қашықтық – бұл $R_{ж}$ - Жер радиусы. Сонда денеге ауырлық күші беретін үдеу, біз g деп белгілеген еркін түсу үдеуі, ал

ол өлшеу көрсеткендей шамамен $9,8 \frac{м}{с^2}$ -қа тең. Ньютонның екінші заңы бойынша

$$g = \frac{F}{m_{д}} = G \frac{M_{ж}}{R_{ж}^2} \quad (4)$$

Бұл өрнектен еркін түсу үдеуінің дене массасына тәуелді еместігін көреміз, демек, ол барлық денелер үшін бірдей. Ауырлық күшінің, демек, жалпы бүкіл әлемдік тартылыс күшінің тамаша қасиеті, міне, осында. Оның ғажаптығы сонда, Ньютонның екінші заңы бойынша үдеу дене массасына кері пропорционал болуы керек. Ньютонның бүкіл әлемдік тартылыс заңы бұл таңқаларлық жайды былай түсінтіреді: бүкіл әлемдік тартылыс күші өзі әсер ететін дененің массасына пропорционал болғандықтан да барлық денелерге бірдей үдеу береді.

Сонымен, ауырлық күші үшін бұрын алынған мына

$$F_a = mg$$

тендеуін жазуға болады.

Неліктен, қандай жағдайларда дене шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалады? Бұл сұраққа Ньютонның екінші заңы жауап береді. Мұндай қозғалыста центрге тартқыш үдеу траекторияның

барлық нүктелерінде модулі бойынша бірдей және $\frac{v^2}{r}$ - ге тең.

Сондықтан күш дене қозғалған шеңбердің центріне қарай

бағытталады және модулі бойынша тұрақты, әрі $\frac{mv^2}{r}$ - ге тең

болады.

Бірнеше күштің әсерінен дене шеңбер бойымен қозғалғанда, олардың тең әсерлі күші дене массасының үдеуге көбейтіндісіне тең екеніне көз жеткізу ($F=ma$) үшін конустық маятникті пайдаланылады (39(a) - сурет). Жіпке ілінген денеге (онымыз механикадағы жүктер жиынтығының бірі) ауырлық күші \vec{F}_1 мен серпінділік күші \vec{F}_2 әсер етеді. Олардың тең әсерлі күші $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

Жүкке центрге тартқыш

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

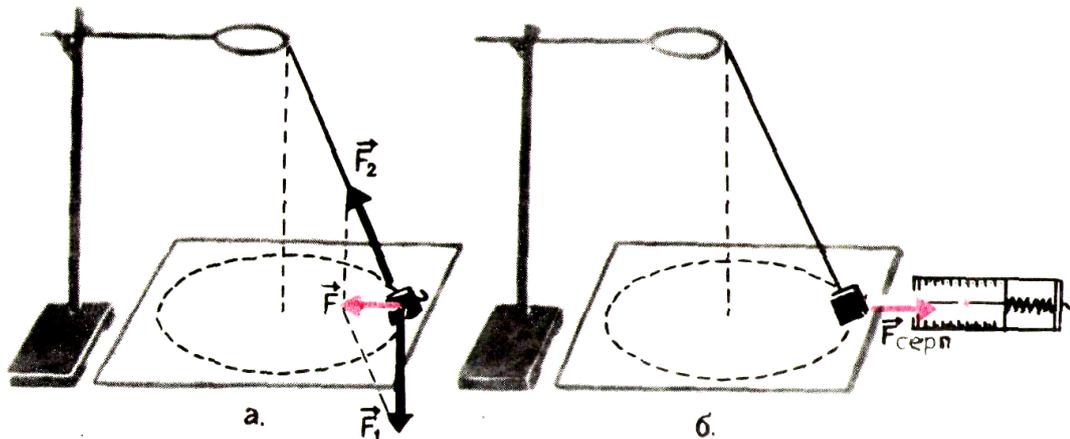
үдеу беретін де осы \vec{F} күші (r – бойымен жүк айналатын шеңбердің радиусы. T – оның айналу периоды).

Периоды табу үшін белгілі бір N айналым жасалатын t уақытты табу қолайлы. Сонда $T = \frac{t}{N}$ және

$$a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} r$$

\vec{F}_1 және \vec{F}_2 күштерінің, тең әсерлі \vec{F} күшінің модулін өлшеу үшін, оны суретте (39(б) - сурет) көрсетілгендей динамометр серіппесінің $\vec{F}_{\text{серп}}$ серпінділік күшімен теңгеру керек.

Ньютонның екінші заңы бойынша $\frac{F}{ma} = 1$. Тәжірибеден табылған $F_{\text{серп}}$, m және a шамаларының мәндерін осы теңдікке қойғанда, теңдіктің сол жағы өзгеше болуы мүмкін. Бұл жағдай эксперименттің қателігін анықтауға мүмкіндік береді.



39 - сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Ұзындығы 45 см жіпті жүкке байлап, штативтің сақинасына іліп қойыңдар.

2. Бір талапкер жіпті ілінген жерінен екі саусағымен ұстап, маятникті айналдырады.

3. Екінші талапкер жүк айнала қозғалатын шеңбердің r радиусын лентамен өлшейді. (Шеңберді қағазға алдын ала сызып алып, осы шеңбер бойынша маятникті қозғап жіберуге болады).

4. Секундтық тілі бар сағаттың көмегімен маятниктің T айналу периодын анықтаңдар.

Ол үшін маятникті айналдырып тұрған талапкер оның айналымдарының ырғағымен нөл, нөл және с.с. деп дауыстап айтып тұрады. Қолында сағаты бар екінші талапкер сағаттың секундтық тілі бойынша санауды бастайтын ыңғайлы мезетті дөп басып, «нөл» дейді, сонан соң бірінші талапкер айналым санын дауыстап санайды. 30 – 40 айналымды санап алғаннан соң, t уақыт аралығын белгілеп қояды.

5. Салыстырмалы қателігі 0,015 – тен артпағанда $\pi^2 = 10$ деуге болатынын ескере отырып, үдеудің орташа мәнін (1) формула бойынша есептеп шығарыңдар.

6. Тең әсерлі \vec{F}_1 күшін динамометр серіппесінің серпінділік күшімен теңгере отырып, оның модулін өлшеңдер.

7. Өлшеу нәтижелерін кестеге жазыңдар:

Тәжірибе нөмері	t, c	t_{opt}, c	N	$m, кг$	$r, м$	$a, \frac{m}{c^2}$	$F_{серп}, Н$

8. $\frac{F_{үйк}}{ma}$ қатынасын 1 - мен салыстырыңдар және денеге әсер етіп, оған центрге тартқыш үдеу беретін күштердің векторлық қосындысын эксперименттік жолмен тексерілгендегі қателік жайлы қорытынды жасаңдар.

?

1. Серпінділік күші жайлы мәлімет беріңіз.

2. Ауырлық күші жайлы мәлімет беріңіз.

3. Неліктен, қандай жағдайларда дене шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалады?

4. Серпінділік күші мен ауырлық күшінің әсерінен дененің шеңбер бойлай қозғалысын зерттеу үшін орындалатын жұмыс ретін айтып беріңіз.

5. $a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} r$ формуласын келтіріп шығарыңыз.

6. . Орындалған жұмысқа қорытынды жасаңыз.

МЕХАНИКАЛЫҚ ЭНЕРГИЯНЫҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: екі шаманы - серіппеге бекітілген дене құлап түскендегі потенциалдық энергиясының кемуін және созылған серіппенің потенциалдық энергиясының артуын салыстыру.

Өлшеу құралдары: 1) Серіппесінің қатандығы 40 Н/м болатын динамометр; 2) Өлшеуіш сызғыш; 3) механикадағы жиынтықтан алынған жүктің массасы ($0,100 \pm 0,002$) кг – ға тең.

Материалдар: 1) белгілегіш; 2) ұстағышы мен қысқышы бар штатив.

Теориялық негіздеме

Бір – бірімен ғана өзара әсерлесетін денелердің энергиясы қандай болатынын қарастырайық. Мұндай жүйелер **тұйықталған жүйелер** деп аталатынын біз білеміз. Мұндай жүйенің кинетикалық та, потенциалдық та энергиясы болуы мүмкін. Кинетикалық энергиясы болатын себебі, жүйе құрамындағы денелер қозғалыста болуы мүмкін. Ал потенциалдық энергиясы болатын себебі, жүйе құрамындағы денелер бір-бірімен өзара әсерлеседі. Жүйе энергиясының екі түрі де уақыттың өтуіне байланысты өзгереді.

Өзара әсерлесетін денелердің бір уақыт мезетіндегі потенциалдық энергиясын E_{p1} арқылы, ал олардың сол уақыт мезетіндегі жалпы кинетикалық энергиясын E_{k1} арқылы белгілейік.

Осы денелердің басқа бір уақыт мезетіндегі сәйкес потенциалдық және кинетикалық энергиялары E_{p2} және E_{k2} болсын.

Егер денелер серпінділік күшімен немесе ауырлық күшімен өзара әсерлесетін болса, онда осы күштердің атқаратын A жұмысы денелердің потенциалдық энергиясының теріс таңбамен алынған өзгерісіне тең болатындығы тағайындалған еді:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}) \quad (1)$$

Екінші жағынан, кинетикалық энергия туралы теоремаға сай бұл күштің жұмысы кинетикалық энергияның өзгерісіне тең:

$$A = E_{k2} - E_{k1} \quad (2)$$

Энергия бір түрден екінші түрге айналады. (1) және (2) теңдіктердің сол жағында бірдей шама — жүйе құрамындағы денелердің өзара әсерлесу күшінің жұмысы тұр. Демек, оң жағы да бір-біріне тең:

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \quad (3)$$

Бұл теңдіктен денелердің қозғалысы және өзара әсерлесуі нәтижесінде кинетикалық және потенциалдық энергияның біреуі артса, екіншісі кемейе отырып, өзгертіндігі көрінеді. Оның біреуі қаншаға артса, екіншісі соншаға кемейеді. Бұдан энергия бір түрден басқа бір түрге *айналатындай* болып көрінеді. Энергия деп аталатын шаманың ең басты ерекшелігі де, міне осында: энергияның түрі көп және олар бір-біріне айналады. Бірақ оның ешқайсысы туралы да ол сақталады деп айтуға болмайды.

Толық механикалық энергия. Толық механикалық энергияның сақталу заңы. Егер энергияның екі түрінің бірі дәл қаншаға кемейсе, екіншісі соншаға артса, онда бұл энергияның екі түрінің қосындысы өзгеріссіз қалады деген сөз. Мұны (3) формуладан көреміз, оны былай жазуға болады:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1} \quad (4)$$

Теңдіктің сол жағынан денелер жүйесінің белгілі бір уақыт мезетіндегі кинетикалық және потенциалдық энергияларының қосындысын, ал оң жағынан басқа бір уақыт мезетіндегі сол қосындыны көреміз. Бұл қосынды жүйенің *толық механикалық энергиясы* деп аталады. Ауырлық күші әсер ететін денелер жүйесі үшін, мысалы, «Жер — құлап келе жатқан дене» немесе «Жер — жоғары лақтырылған дене» жүйесі үшін ол қосынды мынаған тең:

$$mgh + \frac{mv^2}{2}$$

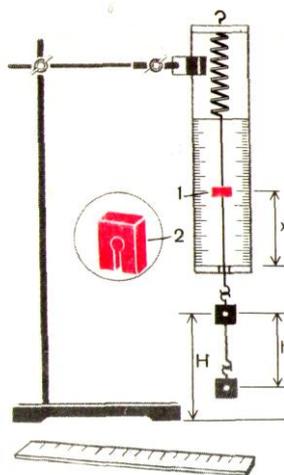
Егер жүйе құрамындағы денелер арасында серпінділік күші әсер етсе, онда толық механикалық энергия былай жазылады:

$$\frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

(4) теңдік тұйықталған жүйенің толық механикалық энергиясы өзгермейтінін, *сақталатынын* көрсетеді. Энергияның *сақталу заңының* мәні де осында.

Бір-бірімен тартылыс күші немесе серпінділік күші арқылы әсерлесетін денелердің тұйықталған жүйесінің толық механикалық энергиясы, осы жүйе құрамындағы денелердің кез келген қозғалысы кезінде өзгеріссіз қалады.

Энергияның түрленуі және жұмысы. Кинетикалық энергияның артуына немесе потенциалдық энергияның соншалықты мөлшерде кемеюіне бірдей жұмыс жұмсалатындықтан, жұмысты бір түрден екінші түрге айналған энергияға тең деген ұйғарымға келеміз. Біз күштің оң жұмысы потенциалдық энергияның кемеюіне тең екенін көрдік. Бірақ толық энергияның сақталу заңы бойынша потенциалдық энергия кинетикалық энергияға айналмай, өздігінен кемеймейді!



40-сурет

Жұмыс үшін 40 – суретте көрсетілген қондырғы пайдаланылады. Ол - штативке бекітілген 1 белгілегіші бар динамометр. Динамометр серіппесінің ұшы ілмегі бар сым таяқшамен жалғасады. Белгілегіш (ол үлкейтілген масштабпен жеке көрсетілген – 2 цифрымен белгіленген) – центріне дейін пышақпен тілінген тозағаштан жасалған жеңіл пластинка (өлшемдері $5 * 7 * 1,5$ мм). Оны динамометрдің сым таяқшасына кигізеді. Белгілегіш таяқшаны бойлай аз үйкеліспен қозғалады, бірақ үйкелістің шамасы белгілегіш төмен түсіп кетпейтіндей болуы керек. Бұған жұмыс басталмай тұрып көз жеткізу керек. Ол үшін белгілегішті шкаланың төменгі шетіне тежеуші құрсауға орналастырады. Сонан соң серіппені созып барып, қоя береді. Белгілегіш сым таяқшамен

қоса жоғары көтеріліп барып, серіппенің ең үлкен ұзаруын белгілейді.

Егер динамометрдің ілмегіне ілінген жүкті серіппе созылмайтын етіп көтерсек, онда жүктің, мысалы, үстел бетіне қатысты потенциалдық энергиясы mgh шамасына тең болады. Жүк түскенде ($x = h$ қашықтыққа төмендегенде) оның потенциалдық энергиясы $E_1 = mgh$ шамасына кемейеді, ал серіппе деформацияланғанда оның потенциалдық энергиясы $E_2 = kx^2 / 2$ шамасына артады.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Механикадағы жиынтықтан алынған жүкті динамометрдің ілмегіне мықтап бекітеді.

2. Серіппеге түскен салмақты азайтып, жүкті қолмен көтереді және белгілегішті құрсаудың төменгі жағына орналастырады.

3. Жүкті төмен түсіреді. Жүк төмен түсе келе, серіппені созады. Жүкті ағытып алып, белгілегіштің тұрған орнына қарап серіппенің x ең үлкен ұзаруын сызғышпен өлшейді.

4. Тәжірибені бес рет қайталайды.

5. $E_{1орт} = mgh_{орт}$ және $E_{2орт} = \frac{kx_{орт}^2}{2}$ шамаларын есептеп шығарады.

6. Өлшеу нәтижелерін кестеге жазады:

Тәжірибе нөмері	x_{max}, M	$x_{орт} = h_{орт}$	$E_{1орт}, Дж$	$E_{2орт}, Дж$	$\frac{E_{1орт}}{E_{2орт}}$

7. $\frac{E_{1орт}}{E_{2орт}}$ қатынасын бірмен салыстырып және энергияның сақталу заңын тексеру қателігі жайлы қорытынды жасаңдар.

?

1. Энергия бір түрден екінші түрге айналады ма?
2. Толық механикалық энергияның формуласы қандай көріністе?
3. Энергияның сақталу заңының мазмұнын айтып беріңіз.
4. Жұмыстың орындалу ретін түсіндіріңіз.

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ СЕРПІНДІЛІК(ЮНГ) МОДУЛІН ИІЛУДЕН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: арнаулы құрылма жәрдемінде түрлі заттардан жасалған түзу төртбұрыш қыймалы стержендердің жүк әсерінде иілуін өлшеп, иілу серпінділік модулін анықтау.

Қажетті аспап және материалдар: Серпінділік модулін анықтау үшін құрылма, ұзару индикаторы, серпінділік модулі анықталынатын стержендер, штангенциркуль, 1м ұзындықтағы масштабты сызғыш, 2 кг ға дейін болған әр түрлі массалы жүктер.

Теориялық негіздеме

Сыртқы күштер әсерінде қатты дене бөлшектерінің салыстырмалы орналасуындағы әр қандай өзгеріс дененің сызықты өлшемдерін және пішінін өзгертеді, яғни дене деформацияланады. Сыртқы күштер әсері тоқтатылғаннан кейін деформацияланған қатты дене өзінің бастапқы күйін тіктей алса, мұндай деформация серпінділік деформация және дене бастапқы күйін тіктей алмаса, мұндай деформация серпінсіз деформация делінеді. Серпінді деформацияланған денеде барлық уақытта қалдық деформация болады. Қалдық деформацияның бастапқы ізі пайда бола басталған күйде серпінділік шекарасына ие болған болады.

Қатты дене деформациясының созылу (немесе қысылу), иілу, ығысу және бұрылу деформацияларына бөлінеді. Барлық түрдегі серпінділік деформацияларда төмендегі заңдар орынды болады:

1. Деформация шамасы сыртқы күштің шамасына туры пропорционал болады.

2. Сыртқы күштің таңбасы өзгерсе, деформация шамасының таңбасы ғана өзгереді, бірақ абсолют мәні өзгермейді.

3. Бір қанша сыртқы күштер әсер еткенде жалпы деформация әр бір күштің әсерінде пайда болатын деформация жиындысына тең болады.

Бұл жұмыста алюминий және ағаштан жасалған стержендерден пайдаланып, осы заттардың серпінділік модулін тәжірибеде анықталынады.

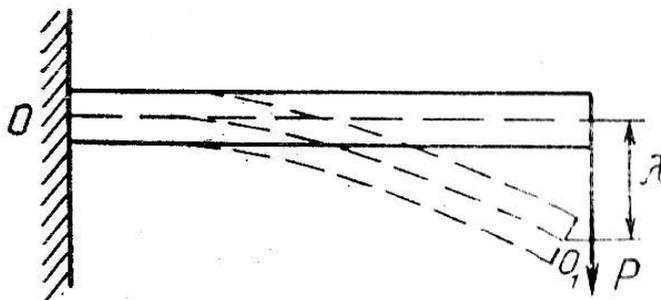
Егер түзу серпінді стерженнің бір ұшын қабырғаға кіргізіп қатты бекітіп, оның екінші ұшына P жүк қойылса, ол күйде стерженнің жүк қойылған ұшы төмендейді, яғни стержень иіледі (41-сурет).

Бұл күйде стерженнің үсткі қабаттары созылады, төменгі қабаттары қысылады, нейтрал қабат деп аталатын ортадағы бірер

(OO_1) қабаттың ұзындығы болса өзгермейді, ол тек азғана иіледі. Стержень еркін ұшының ығысуы λ иілу стреласы делінеді. Жүк қанша үлкен болса, иілу стреласы да сонша үлкен болады, бұдан басқа иілу стерженінің пішіні және өлшемдеріне және оның серпінділік модуліне байланысты болады. Есептеулердің көрсетуінше, екі ұшы қатты тіреуіштер үстіне еркін қойылған түзу төртбұрыш қыймалы стерженнің серпінділік модулі

$$E = \frac{PL^3}{4av^3\lambda} = \frac{mgL^3}{4ab^3\lambda}$$

ға тең екен, мұнда $P = mg$ – стерженнің ортасына қойылған жүктің салмағы, L – стерженнің тіреуіштеріне қойылған нүктелері арасындағы қашықтық, b – стерженнің қалыңдығы. a – стерженнің ені.

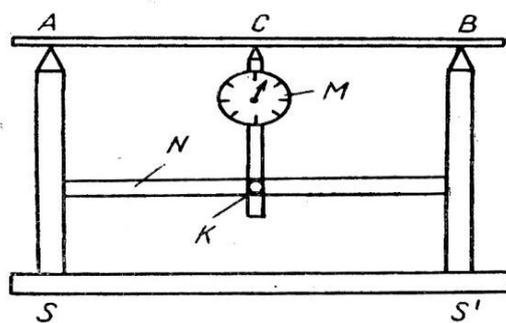


41-сурет

$$E = \frac{PL^3}{4av^3\lambda} = \frac{mgL^3}{4ab^3\lambda} \quad \text{формулаға кірген шамаларды тікелей}$$

тәжірибеде өлшеп, серпінділік модулін есептеп табу мүмкін. Бұл мақсатта түзілісі 42-суретте келтірілген қондырғыдан пайдаланамыз.

Қондырғы екі ұшында вертикал бағаны болған SS^1 массив бекітуші негізден тұратын, бағандардың үстіне қырларын параллел етіп болат призмалар қойылған. Тексеріліп жатқан материалдан жасалған стержень бағандар үстіндегі призмаларға сондай қойылады, оның ортасы А және В нүктелер арасындағы қашықтықтың ортасына туры келсін. С нүктеде стерженнің λ иілу стреласы тік бағандарды бірлестіретін N горизонталь стерженге орнатылған М ұзару индикаторы жәрдемінде өлшенеді.



42-сурет

Индикаторды К винтті босатып, тік бағытта ығыстыру мүмкін. Индикатордың стрелкасы дөнгелек шкала бетінде ығысу мүмкіншілігіне ие. Дөнгелек шкаладағы бөлімдердің саны 100 болып, әр бір бөлімнің мәні 0,01 мм ге тең. Стержень жүк әсерінде иілгенде индикатор стреласы шкала бойынша бір рет толық айналса, λ иілу стреласы 1 мм ге тең болады.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Стерженнің b қалыңдығын және a - енін штангенциркуль жәрдемінде өлшейміз.
2. Стерженді призмалар үстіне қойып, А және В нүктелер аралығы L қашықтықты масштабты сызғыш жәрдемінде өлшеп алынады.
3. Ұзару индикаторын К винт жәрдемінде сондай орналастырылады, оның өткір ұшы стержень бетіне еркін тиіп тұрсын. Кейін индикатордың сыртқы сақинасын бұрап, оның стрелкасын шкаланың нөліне келтіріледі.
4. Стерженнің үстіне 0,5 кг; 1 кг; 1,5 кг және 2 кг массалы жүктер қойып, әр қойғанда стерженнің λ иілу стреласының шамасын индикатор стрелкасының көрсетуінен жазып алынады.
5. Кейін 4- пунктте келтірілген тапсырманы кері ретте орындалады, яғни стержендегі жүктерді біреулеп 0,5 кг нан ала барып, мұнда да әр алғанда стерженнің қанша иілгенін белгілеп отырады.
6. Жүк шамасы өзгеруі мен иілу стреласының өзгеруін көрсететін графикті сызып, олар арасында сызықты байланыс барлығы (Гук заңының орынды екендігі) на сенім білдіреді.
7. λ иілу стреласының әр бір жүк үшін анықталған мәнін және

басқа өлшеп алынған шамаларды $E = \frac{PL^3}{4ab^3\lambda} = \frac{mgL^3}{4ab^3\lambda}$ формулаға қойып, стержень затының серпінділік модулі есептеп табылады.

8. Серпінділік модулінің орташа мәнін есептеп, физикалық шамалар кестесінен пайдаланып, стержень қандай заттан жасалғандығы анықталынады.
9. Тәжірибеде жол қойылған абсолют және салыстырмалы қателіктер есептелінеді.

?

1. Деформация деп неге айтылады?
2. Деформацияның қандай түрлерін білесіз?
3. Гук заңын сипаттап беріңіз.
4. Юнг модулінің физикалық мазмұнын түсіндіріңіз.
5. Қатты денелердің серпінділік және серпімсіз деформациялары табиғатын түсіндіріңіз.
6. Стержень үстіне үлкен массалы жүкті қойып не үшін тәжірибе өткізу мүмкін емес?

МЕХАНИКА ПӘНІНЕН ТЕСТ СҰРАУЛАРЫ

1. Уақыт өтуіне қарай оның басқа денелерге қатысты кеңістіктегі орын алмастыруын ... деп аталады.

а) қозғалыс	б) ілгерілемелі қозғалыс
в) *механикалық қозғалыс	г) шеңбер бойымен қозғалыс
2. Абсолют қозғалмайтын дененің болуы мүмкін бе?

а) иә	б) * болмайды
в) болады	г) шеңбер бойымен қозғалыс
3. Дене қозғалысы уақытында қалдырған ізіне ... деп аталады

А) *траектория	б) жол
В) ығысу	г) орын ауыстыру
4. Дене қозғалыс траекториясының ұзындығына ... деп аталады.

а) траектория	б) *жол
в) ығысу	г) орын ауыстыру
5. Дененің бірлік уақыт ішінде басып өткен ара қашықтығына ... деп аталады

а) *жылдамдық	б) үдеу
в) күш	г) қозғалыс
6. Бірлік уақыт ішінде дене жылдамдығының өзгеруіне ... деп айтылады.

а) жылдамдық	б) *үдеу
в) күш	г) қозғалыс

7. Дененің жұмыс атқарғандағы қабілетін сипаттайтын физикалық шамаға ... деп айтылады

- а) *энергия
в) жұмыс
- б) қуат
г) күш моменті

8. Дененің өз қозғалысы бойынша алған энергиясына ... деп аталады

- а) *кинетикалық энергия
в) ішкі энергия
- б) потенциалдық энергия
г) қуат

9. Денелердің өзара әсер энергиясына ... деп аталады

- а) кинетикалық энергия
в) ішкі энергия
- б) *потенциалдық энергия
г) қуат

10. Кинетикалық энергия үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * $\frac{mv^2}{2}$
в) Fs
- б) mgh
г) ma

11. Потенциалдық энергия үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * mgh
в) Fs
- б) $\frac{mv^2}{2}$
г) ma

12. Механикалық жұмыс үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * Fs
в) Fv
- б) mgh
г) ma

13. Қуат үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * Fv
в) Ft
- б) mgh
г) ma

14. Бір қалыпты қозғалыста дене ... ге ие болмайды

- а) жылдамдық
в) күш
- б) *үдеу
г) қозғалыс

15. Денені жерге тартушы күшке ... деп аталады

- а) *ауырлық күші
в) үйкеліс күші
- б) серпінділік күші
г) қозғалыс күші

16. Денелер беті арасында пайда болатын үйкеліске ... үйкеліс деп айтылады

- а) * сыртқы
в) тыныш
- б) ішкі
г) сырғанау

17. Серпінділік күші үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз

- а) * $-k\Delta l$
в) ma
- б) kN
г) mg

18. Үйкеліс күші үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз

- а) * kF_N
б) $-kx$

в) mg

г)ma

19. Дене массасы мен оның жылдамдығының көбейтіндісіне ... деп айтылады

а) *импульс

б) масса

в) ауырлық

г) тығыздық

20. 0,5 үдеумен жоғарыға тік көтеріліп жатқан m массалы дененің ауырлығы неге тең?

а) 2mg

б) *1,5 mg

в) 0 mg

г) 0,5mg

21. Екі пойыз бір – біріне қарап 54 км/сағ және 72 км/сағ жылдамдықпен қозғалып жатыр. Бірінші пойыздағы пассажирдің есебіне қарағанда екінші пойыз оның жанынан 4 с та өткен. Екінші пойыздың ұзындығын табың.

а) 4м

б) 20м

в) *140м

г) 200м

22. $v=10$ м/с жылдамдықпен ұшып бара жатқан граната жарылып, $m_1=0,6$ кг және $m_2=0,4$ кг массалы бөлектерге бөлініп кетті. Гранатаның үлкен бөлігі алғашқы бағытта $v_2=25$ м/с жылдамдықпен қозғалған болса, кіші бөліктің жылдамдығы v_2 ні табың.

а) *15м/с

б)115 м/с

в) 125 м/с

г)12,5 м/с

23. 0,2 м амплитуда мен тербелісте болған 2 м ұзындықтағы математикалық маятниктің тепе – теңдікпен өтіп жатқан центрге тартқыш үдеуі неше $\frac{m}{c^2}$ болады? $g=10 \frac{m}{c^2}$

а) * 1

б)0,1

в) 0,2

г)0,4

24. Ньютон неше дина?

а) * 1×10^5 дина

б) 1×10^7 дина

в) 1×10^6 дина

г) 1×10^4 дина

25. Сыртқы күштер әсерінен дене көлемі және пішіні өзгеруіне ... делінеді.

а) * деформация

б) үдеу

в) күш

г) бұралу

26. Нүктенің 4 секундта жүрген жолын анықтаңыз. $v = 2 \frac{m}{c}$.

а) 3 м

б) 12 м

в) 4 м

г) *8м

37. Рычаг ережесін кім тапқан?

а) Герон

б) Аристотель

в) *Архимед

г) Ньютон

38. Көлбеу жазықтың формуласын тап.

а) * $F = \frac{hmg}{s}$

б) $F = \frac{Rmh}{s}$

в) $F = \frac{mg}{2}$

г) $\frac{F}{l}$

39. Шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалатын материялық нүктенің сызықты жылдамдығы 2 м/с және бұрыштық жылдамдығы 5 рад/с болса, центрге тартқыш үдеуді анықтаң.

а) $2 \frac{m}{c^2}$

б) * $10 \frac{m}{c^2}$

в) $5 \frac{m}{c^2}$

г) $2.5 \frac{m}{c^2}$

40. Ауаның құрамында неше % азот, неше % оттегі бар?

а) 92 % азот, 31% оттегі

б) *78% азот, 21% оттегі

в) 42 % азот, 22% оттегі

г) 51% азот, 49% оттегі

41. Энергияның неше түрі бар?

а) * кинетикалық және потенциалдық

б) кинетикалық және ауырлық

в) күш, кинетикалық және потенциалдық

г) 6 түрі бар

42. Архимед күшінің формуласын тап.

а) $F = vkh$

б) $F = hgp$

в) * $F_A = \rho_c Vg$

г) $F = mg$

43. Атмосфералық қысымды ең бірінші рет қайсы ғалым нешінші жылы ашқан?

а) *1608 жылы Е. Торричелли

б) 1609 жылы Паскаль

в) 1605 жылы И. Ньютон

г) 1606 жылы Архимед

44. Арба және ондағы жүктің массасы бірге 100 кг. Оны 500 Н күшпен 10 метр жылжытты. Орын ауыстыруға вертикаль 10 Н күш әсер етті. Дене 10 метр жылжыды. Орындалған жұмысты есепте.

а) *2000 Дж

б) 200 Дж

в) 20 Дж

г) 300 Дж

45. Рычаг күшінің формуласын тап.

а) * $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

б) $M = F l$

в) $\frac{F}{m}$

г) $\frac{F}{l}$

46. Механикалық жұмыс деп нені айтамыз?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) *қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

47. Ньютонның екінші заңының тұжырымдамасын көрсетің.

а) $a = F \cdot m$

б) * $a = \frac{F}{m}$

в) $a = \frac{m}{F}$

г) $A = F S$

48. Рычаг дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) *жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

49. Энергия дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) * Денелердің жұмыс орындай білу қабілеті

50. Диффузия дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) *бір заттың молекулаларының екінші затқа, екінші заттың молекулаларының бірінші затқа өтуі

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

51. Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дене қандай траекториямен қозғалады? Ауаның кедергісін ескермеңіз.

а) *тармақтары төмен бағытталған парабола бойымен

б) тармақтары төмен бағытталған гиперболола бойымен

в) тармақтары жоғары бағытталған параболола бойымен

г) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

г) құстың қауырсынының үдеуі үлкен

59. Нүктенің кинематикалық теңдеуі $X=5t+20$ болса, бұл нүкте қалай қозғалады?

а) бір қалыпсыз

б) * бір қалыпты

в) шеңбер бойымен

г) білмеймін

60. Бастапқы жылдамдығы 10 м/с дене $a=-2\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ үдеумен қозғалады.

Дененің 8 секундта жүрген жолын анықтаңыз.

а) * 16м

б) 15м

в) 25м

г) 14м

61. 1- ғарыштық жылдамдық нешеге тең?

а) * 7,9км /с

б) 11,2 км / с

в) 16,7км / с

г) 14км/с

62. СИ бірліктер системасында күш бірлігі етіп не қабылданған?

а) * Н

б) м

в) Дж

г) Па

63. Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дене қандай траекториямен қозғалады? Кедергіні ескермеуге болады.

а) *парабола бойымен

б) гиперболоа бойымен

в) шеңбер бойымен

г) бағытпен

64. 4 км/сағ та берілген жылдамдықты м/ с та бейнелең.

а) 10 м/с

б) *15 м\с

в) 20 м\с

г) 25 м\с.

65. Дененің жылдамдығы сан мәнінен басқа және не мен сипатталады?

а) * бағыт пен

б) бағыт және сан мәнімен

в) бағыт жоқ

г) сан және бағыт мәнімен

66. 6- класстағы «қатты дененің тығыздығын анықтау» лаборатория жұмысында мына приборлар бар: таразы, таразы тастары, өлшеу цилиндрі (мензурка), тығыздығы анықталынуы керек болған қатты дене, жіптер. Осы лаборатория жұмысын анықтауға нелер жетіспейді?

а) * су

б) термометр

в) динамометр

г) монометр

67. Бірлік уақыт ішіндегі тола тербелістер санына тербеліс ... деп аталады

а) период

б) *жиілік

в) фаза

г) амплитуда

68. Созылмайтын, салмақсыз жіпке асылған шарға ... делінеді

а) *маятник

б) математикалық маятник

в) физикалық маятник

г) серіппелі маятник

69. Созылмайтын, салмақсыз жіпке асылған материялық нүктеге ... делінеді

а) маятник

б) *математикалық маятник

в) физикалық маятник

г) серіппелі маятник

70. Тербелістер периоды үшін тура жазылған бірлікті көрсетіңіз

а) *секунд

б) герц

в) метр

г) грамм

71. Тербелістер жиілігі үшін тура жазылған бірлікті көрсетіңіз

а) секунд

б) *герц

в) метр

г) грамм

72. Ауаның кедергісі болмағанда горизонтқа салыстырмалы бұрыш астында атылған дене қозғалыс траекториясының қайсы бөлігінде салмақсыздық күйде болады?

а) тек түскен бөлігінде

б) * траекторияның ең жоғары нүктесінен өткен бөлігінде

в) толық қозғалыс бойында

г) салмақсыздық күйде болмайды

73. Механикалық жұмыстың формуласын көрсет

а) $F = vkh$

б) $F = hgp$

в) * $A = F S$

г) $F = A N$

74. Күштің формуласын тап

а) $F = vkh$

б) * $F = mg$

в) $A = F S$

г) $F = A N$

75. Физика грек тілінен аударғанда не деген мағынаны білдіреді?

а) * табиғат

б) электр

в) ток

г) магнит

76. Ағашты тесіп өту нәтижесінде оқтың жылдамдығы 2есе азайды. Оқтың алғашқы энергиясының қанша бөлігі ағашты тесіп өтуге кетті?

а) * $\frac{1}{4}$

б) $\frac{1}{2}$

в) $\frac{3}{4}$

г) $\frac{2}{3}$

77. Ұзындығы 1,6 м болған математикалық маятниктің максимал жылдамдығы 0,5 м/с болса, оның тербелме амплитудасын табың.

$$g = 10 \frac{m}{c^2}$$

а) $* v = \frac{s}{t}$

б) $v = \frac{t}{s}$

в) $v = S t$

г) $v = TRF$

87. Үдеудің бірлігі не?

а) $* \frac{M}{c^2}$

б) $\frac{M}{c}$

в) $M c$

г) c^2

88. Айналу жиілігінің формуласын көрсетің.

а) $v = \frac{t}{N}$

б) $* v = \frac{N}{t}$

в) $v = CT$

г) $v = N t$

89. Бұрыштық жылдамдық формуласы төмендегілерден қайсы бірі?

а) $* \omega = 2\pi v$

б) $\omega = 2Sv$

в) $\omega = \pi v$

г) $\omega = 4 N t$

90. Дененің немесе денелер жүйесінің массасы жинақталған нүктені ... деп атайды.

а) масса

б) *массалар центрі

в) қозғалыс

г) траектория

91. Егер Архимед күші ауырлық күшінен үлкен болса, ол уақытта дене сұйықта ...

а) *қалқыйды

б) шөгеді

в) тепе – тең болады

г) қозғалады

92. Егер Архимед күші ауырлық күшінен кіші болса, ол уақытта дене сұйықта ...

а) қалқыйды

б) *шөгеді

в) тепе – тең болады

г) қозғалады

93. Сұйықтың қозғалыстағы қысымы ... қысым деп айтылады

а) *динамикалық

б) статикалық

в) гидростатикалық

г) осмостық

94. Сұйықтардың түрлі тереңдіктегі қысымы ... қысым деп айтылады

а) динамикалық

б) *статикалық

в) гидростатикалық

г) осмостық

95. Қысым бірлігі үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз.

а) *Паскаль

б) Дина

в) Ватт

г) Джоуль

96. Бірлік ауданға тік әсер ететін күшке сан жағынан тең болған шамағадеп аталады

а) *ҚЫСЫМ

б) ТЫҒЫЗДЫҚ

в) масса

г) көлем

97. Атмосфераның жер үстіне беретін қысымын кім анықтаған?

а) *Горричелли

б) Паскаль

в) Архимед

г) Аристотель

98. Сұйық немесе газға берілген қысым осы сұйық немесе газдың барлық нүктелеріне өзгеріссіз ұзатылады. Бұл ... заңы делінеді

а) *Паскаль

б) Архимед

в) Ньютон

г) Галилей

99. Бірінші ғарыштық жылдамдықты табу формуласын көрсет

а) $v = \frac{t}{N}$

б) $v = \frac{N}{t}$

в) $v = CT$

г) * $v = \sqrt{gR}$

100. Екінші ғарыштық жылдамдықты табу формуласын көрсет

а) $v = \frac{t}{N}$

б) $v = \frac{N}{t}$

в) * $v = \sqrt{2gR}$

г) $v = \sqrt{gR}$

МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА

ТЕРМОПАРАЛАР ЖАСАУ ЖӘНЕ ОНЫ ДӘРЕЖЕЛЕУ

Жұмыстың мақсаты: Термопара жасау және оны дәрежеленді үйрену. Температураның ЭҚК ке байланысын, ЭҚК және температурадан пайдаланып, термопараның термиялық коэффициентін анықтау.

Қажетті құралдар: гальванометр, термопара, сұйық салынатын ыдыс, термометр.

Теориялық негіздеме:

Молекулалық физикада ең маңызды ұғымның бірі температура. Күнделікті байқаулар, тәжірибелер жылудың ыстық денеден суық денеге берілетіндігін көрсетеді. Температураның ең басты қасиеті, оның жылу алмасудың бағытын анықтайтындығы. Максвеллдің анықтамасы бойынша: «дененің температурасы, оның басқа денелерге жылу беру қабілетімен сипатталатын термиялық күйі».

Температура дегеніміз денелердің жылулық тепе-теңдік күйін сипаттайтын физикалық шама: **жылулық тепе-теңдіктегі денелердің температуралары бірдей болады.** Керісінше, температуралары бірдей денелер бір-бірлерімен жылулық тепе-теңдікте болады. Егер қандай да бір, екі дене үшінші денемен жылулық тепе-теңдікте болатын болса, онда бұл екі денелер де өзара жылулық тепе-теңдікте болады. Бұл аса маңызды тоқтам табиғаттың

негізгі заңдарының бірі болып табылады. Температураны өлшеу мүмкіншілігі міне осыған негізделген.

Температураны өлшеу үшін дененің температурасын өзгерткенде оның қасиеттерінің өзгеретіндігін пайдаланады. Демек, осы қасиеттерді сипаттайтын шамалар да өзгереді. Сондықтан температураны өлшейтін аспапты, яғни термометрді жасаған кезде қайсы-бір затты (**термометрлік затты**) және заттың қасиетін сипаттайтын белгілі бір шаманы (**термометрлік шаманы**) таңдап алады. Тұрмыста пайдаланып жүрген термометрлерде термометрлік зат сынап та, ал термометрлік шама — сынап бағанының ұзындығы.

Температураның шамасына сандық мәндерді сәйкестіру үшін термометрлік шаманың температураның шамасына тәуелділігін тағайындау керек. Тұрмыстық сынап термометрлерінде бұл - сынап бағанының ұзындығының температураға сызықтық тәуелділігі.

Енді температураның бірлігі - градусты тағайындау керек. Градустың шамасы былайша тағайындалады. Екі температураны таңдап алады (**реперлік нүктелер** деп аталады) — көбіне бұл атмосфералық қысым кезінде *мұздың еру температурасы және судың қайнау температурасы* және осы температура интервалын тең бөліктерге — градустарға бөледі. Осы температуралардың біреуіне белгілі сандық мән береді. Сөйтіп, екінші температураның мәні және кез келген аралық температуралардың мәндері тағайындалады. Осылайша температуралық шкалаға келеді.

Температураны өлшейтін құралдар термометрлер деп аталады. Кез-келген термометр басты қасиетінің бірі температураға байланысты тез өзгертін және оңай белгілеп алуға болатын, термометрлік денеден тұрады. Осы дененің температураға байланысты өзгертін қасиеті термометрлік параметр X деп аталады және оның өзгерісі арқылы температуралық шкала жасалады. Температуралық шкалалар жасауда заттардың көлемінің, қысымының, ұзындығының, электрлік кедергісінің және т.б. параметрлерінің температураға тәуелділігі пайдаланылады.

Осы заманғы термометрия газ термометрінің көмегімен тағайындалатын *идеал газ шкаласына* негізделген. *Газ термометрі* деп отырғанымыз идеал газбен толтырылған және газдың қысымын өлшеуге арналған манометрмен жабдықталған жабық ыдыс болып табылады. Мұндай термометрде термометрлік зат дегеніміз идеал газ да, ал *температураға тәуелділігін сызықтық* деп алады. Осындай кезде судың қайнау температурасы кезіндегі қысым (p_k) мен мұздың

еру температурасы кезіндегі қысымның (p_0) қатынасы осы температуралардың өздерінің қатынасына тең болады:

$$\frac{P_{\kappa}}{P_0} = \frac{T_{\kappa}}{T_0}$$

$\frac{P_{\kappa}}{P_0}$ қатынасын тәжірибеден жеңіл анықтауға болады. Ол мынаны береді:

$$\frac{P_{\kappa}}{P_0} = 1,3661.$$

Демек, температуралардың қатынасы да осылай болады:

$$\frac{T_{\kappa}}{T_0} = 1,3661.$$

Градустың шамасын тағайындаған кезде айырмасын 100-ге бөледі:

$$T_{\kappa} - T_0 = 100$$

Соңғы екі теңдіктен қабылданған шкалада мұздың еру температурасы дегеніміз 273,15 градус болып шығады, ал судың қайнау температурасы болса, ол 373,15 градус екен. Газ термометрдің көмегімен қайсы бір дененің температурасын өлшеу үшін денені газ термометрмен жанастыру керек, сосын тепе-теңдікке жеткеннен кейін термометрдегі газдың p қысымын өлшейді. Сонда дененің T температурасы

$$T = \frac{273,15}{P_0} P$$

өрнекпен анықталады, мұндағы p_0 - еріп жатқан мұзға қойылған термометрдегі газдың қысымы.

Практикада газ термометрін сирек қолданады. Оның ролі басқа да - оның көмегімен пайдаланылып жүрген барлық термометрлер градуирленеді.

Біздің шкаламыз бойынша нөлге тең болатын температураның идеал газдың қысымы нөлге тең болатын температура екендігінде сөз жоқ. Егер температуралық шкаланың нөлі кезінде термометрлік шама нөлге айналатын болса, онда мұндай шкала **абсолюттік шкала** деп аталады, ал осындай шкала бойынша саналған температура **абсолюттік температура** деп аталады. Осы жерде сипатталған газ термометрінің шкаласы **абсолюттік** деп аталады. Оны көбіне **Кельвин шкаласы** деп те атайды, бұл шкала бойынша температура бірлігі **кельвин** деп аталады және (K) деп белгіленеді.

СИ бірліктер жүйесінде температура бірлігі кельвин «абсолют ноль – судың үштік нүктесі температурасы» интервалы негізінде анықталынады. *Судың үштік нүктесі сондай температура*, мұнда температура су, су буы және мұз тепе – теңдікте болады. Судың үштік нүктесі температурасының мәні 273,16 К ге анық тең.

Сонымен, бір кельвин температура абсолют нолден судың үштік нүктесі температурасына дейін болған интервалдың $\frac{1}{273,16}$ бөлігіне тең.

Техникада және өмірде температураның *Цельсий шкаласынан* пайдаланылады. Бұл шкала абсолют шкаладан айырмашылығы сонда, мұнда мұздың еру температурасын ноль деп алады. Анықталған температура Цельсий градусы($^{\circ}\text{C}$) есебінде бейнеленеді және абсолюттік T температурамен мынандай байланыста болады:

$$t = T - 273,15.$$

Судың үштік нүктесі температурасы $0,01^{\circ}\text{C}$ ге тең болғаны үшін градустың Цельсий және Кельвин шкалаларындағы өлшемі бірдей болады және әр қандай температура немесе Цельсий градусы ($^{\circ}\text{C}$) есебінде немесе кельвин (К) есебінде бейнеленуі мүмкін.

Газ термометрі жәрдемінде температураны кең диапозонда (4К нен алтынның еру температурасы 1337,58 К ге дейін) өлшеу мүмкін.

Сонымен, температура дегеніміз денелердің жылулық тепе-теңдігін сипаттайды екен: тепе-теңдік күйге өткен кезде денелердің температуралары теңеседі де, тепе-теңдік күйде тұрған дененің немесе денелер системасының барлық бірліктерінің температуралары бірдей болады. Температураны өлшеу процедурасының өзі осымен байланысты.

Жылулық тепе-теңдік орнау процесі энергия алмасу арқылы өтеді. Бірақ энергетикалық тепе-теңдік бүкіл газ үшін орнамайды, тек бір молекулаға қатынасты алынған орташа кинетикалық энергия үшін ғана орындалады. Молекуланың ілгерілемелі қозғалысының міне, осы орташа кинетикалық энергиясы өзін температура тәрізді ұстайды.

Бұл екі шаманың арасындағы тағы бір ұқсастық - кинетикалық энергияда температура тәрізді аддитивтік шама емес, ол да барлық газ үшін және оның бөліктері үшін (жеткілікті молекулалар саны болатын) бірдей болады. Түгел газдың энергиясын алатын болсақ, ол - аддитивтік шама, ол газдың бөліктерінің энергияларының қосындысынан тұрады.

Осы айтылғандардан температура деген шама молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы деген тоқтамға келуге болады.

Температураны үйреншікті бірліктермен өлшей беру үшін градусарды энергияның өлшемділігімен байланыстыра алатын қажетті коэффициент енгізу керек. Ол коэффициентті k арқылы белгілейді. Сонда градусармен алынған T температура мен орташа кинетикалық энергия арасында мынандай байланыс болады:

$$\frac{2}{3} \frac{mv^2}{2} = kT$$

осыдан

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Энергия бірлігі мен температура бірлігі кельвин арасындағы қатынасты анықтайтын k коэффициент **Больцман тұрақтысы** деп аталады. СИ – да оның мәні

$$k = 1,380662 \cdot 10^{-32} \text{ Дж/К}$$

Температура молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа энергиясы болып анықталатындықтан, ол да қысым тәрізді статистикалық шама болып табылады.

Судың қайнау және мұздың балқу нүктелері - **реперлік нүктелер** деп аталады. Термометрлерді градуирлеу үшін халықаралық практикалық температуралық шкала белгілеген нүктелерден басқа да реперлік нүктелер пайдаланылады (төмендегі кесте).

№	Тепе – теңдік күй	$^{\circ}\text{C}$
1	Сутектің үштік нүктесі	-259,340
2	Сутектің қайнау нүктесі	-252,870
3	Оттектің үштік нүктесі	216,789
4	Оттектің қайнау нүктесі	-182,962
5	Судың үштік нүктесі	0,010
6	Мұздың балқу нүктесі	0,800
7	Судың қайнау нүктесі	100,000
8	Мырыштың қату нүктесі	419,505
9	Күмістің кристалдану нүктесі	961,930
10	Алтынның кристалдану нүктесі	1064,430

Кестеде әртүрлі заттардың қайнау және кристалдану нүктелері бір атмосфералық қысым үшін берілген. Көп ретте, температураларды өлшеуге, температуралық параметр үшін көлем алынатын, сұйық термометрлер қолданылады. Олар шыныдан жасалады және -200-ден 600 °C-ға дейін өлшей алады. Бұл термометрлерде сұйық, кварцтан жасалған, капилляр түтіктермен жалғанған, көлемге құйылады. Тұрмыстық термометрлердің көпшілігінде термометрлік дене үшін сынапты пайдаланады. Сынап - 39,8 °C-да қатады, ал қалыпты қысымда 357,25 °C-да қайнайды. Мұнанда жоғары температураларды өлшеу үшін түтіктегі сынаптың бетінде $7 \cdot 10^6$ Па қысымдағы инертті газ болуы тиіс. Төменгі - 80 °C-ға дейінгі температураларды өлшеуге спирттік термометрлер қолданылады, ал пентан құйылғандары — 200 °C-ға дейінгі температураларды өлшейді. Сұйық термометрлерде шкаланың ең кіші бөлігінің құны 0,01 °C.

Практикада термометрлік дене ретінде, қасиеттері идеал газға жақын, H_2 , N_2 , He газдарын пайдаланатын термометрлер жиі қолданылады. Бұларда температура өзгерісін, тұрақты көлемдегі қысым өзгерістері арқылы бағалайды. Газдық термометрлермен 2-ден 1300K температураларды өлшей алады. Мыс, платина және т.б. таза металдардың температуралары 0-ден 1000 °C аралығында сызықты өседі, сондықтан оларды электрлік термометрлерде көп пайдаланады. Бұларда термометрлік дене ретінде металл жіп алынады, ал температуралық параметр кедергі. Платиналық электрлік термометр -259,34-тен +630,74 °C температуралар аралығында эталондық термометр болып есептеледі.

Электрлік кедергі термометрлерінің қатарына *термисторлар* да жатады. Бұларда негізгі термометрлік денелерге жартылай өткізгіштер (TiO_2 -нің, MgO -ның қоспалары, Mn , Cu , Co , Ni тотықтары) пайдаланылады. Жартылай өткізгіштердің кедергілері температураға байланысты өседі. Терморезисторлардың сезгіштігі 10^{-3} °C-дан жоғары болмайды.

Бұрын жасалған Цельсий, Реомюр, Фарангейт температуралық шкалаларында реперлік нүктелер ретінде, мұздың еру және судың қайнау нүктелері алынған және бұл температуралық интервал, осы үш шкалада сәйкес 100,80 және 180 бөліктерге бөлінген. Цельсий (°C) шкаласында судың реперлік нүктелері ретінде 0 және 100, Реомюр (°R) шкаласында 0 және 80, ал Фарангейт °F шкаласында 32 және 212

сандары алынған. Осы шкалалардың біріне – бірі ауысуы мына формула арқылы оңай жүзеге асырылады:

$$t^{\circ}\text{C} = 0,8 t^{\circ}\text{R} = (1,8t + 32)^{\circ}\text{F}$$

мысалы, $t = 20$ болса, осы шкалалар бойынша есептелген температуралар мына мәндерге теңеледі:

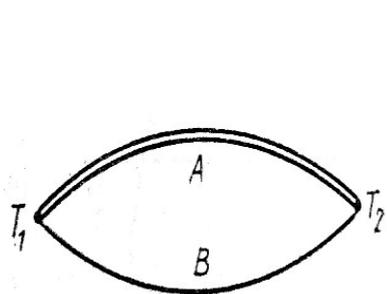
$$20^{\circ}\text{C} = 16^{\circ}\text{R} = 68^{\circ}\text{F}$$

Термопаралар жәрдемінде температураны өлшеуде Зеебек құбылысы деп аталатын құбылыстан пайдаланылады.

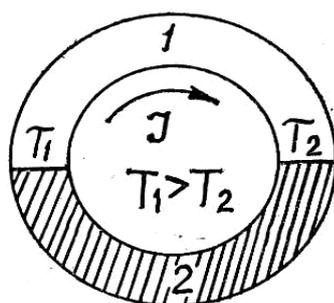
Зеебек 1821 жылы тұйық тізбек құрайтын әр текті 1 және 2 дене керілген екі металды екі түрлі T_1 және T_2 температурада ұстаған жағдайда (1,2- сурет) осы тізбекте термоэлектр қозғаушы күшінің шамасы температуралар айырмасына пропорционал болып шыққан:

$$\varepsilon = \frac{k}{l}(T_1 - T_2) \ln \frac{n_1}{n_2}$$

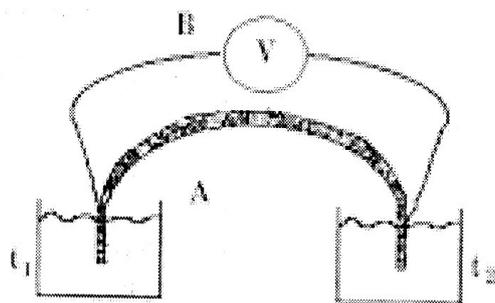
Зеебек құбылысы температуралар айырмасын өлшеу үшін қолданылады. Дәнекерленген екі, әртекті металдарды пайдаланады. Мұндай қондырғы *термопара* деп аталады.



1 - сурет



2 – сурет



3 - сурет

3 - суреттегідей етіп дәнекерленген және жалғанған A және B өткізгіштерінің бір ұшын қыздырып не суытатын болса, t_1 және t_2 дәнекерлерінің арасында 1°C -ға, шамамен, $1/105\text{В}$ -қа электр қозғаушы күш пайда болады. Бұл электр қозғаушы күш термоэлектрлік қозғаушы күш деп те аталады. Бұның шамасы дәнекерленген ұштардағы температура айырмашылығына байланысты болады. Егер t_1 дәнекердің температурасын тұрақты ұстаса (мысалы, $T_1 = \text{const}$) термоэлектрлік қозғаушы күш тек екінші дәнекердің T_2 температурасына тәуелді болады. Көбінесе t_1 дәнекер еріген мұзға батырылып қойылады, ал t_2 қызған денемен жалғанады. Термопараның ЭҚК-і милливольтметрмен өлшенеді. Сонымен термоэлемент немесе термопара (терможұп) деп аталатын бұл құрылманың электр қозғаушы күші арқылы дене температурасын анықтау мүмкін. Жоғарыда жүргізілген пікірлерден

көрінеді, термопаралы термометрлерде термометриялық зат болып **термопара**, термометриялық шама болса **ЭҚК**.

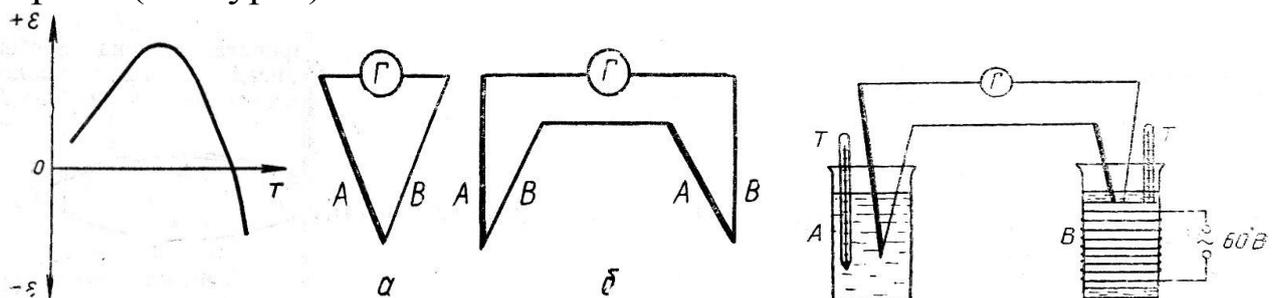
Термопаралар мен термисторлар арқылы 1000°C-тан жоғары температураларды өлшеуге, олардың қасиеттерінің кенет өзгеретініне байланысты қолдану қиынға түседі. Сондықтан бұдан жоғары температураларды, зерттелінетін дененің сәуле шығару интенсивтілігін пайдаланатын **пирометрлер**мен өлшейді. Ал өте төменгі температураларда, жылу өткізгіштік құбылысының әсерінен зерттелінетін дененің температурасын өзгертуіне байланысты, айтылған термометрлерді қолдануға болмайды. Мұндай заттардың температуралары зерттелінетін дененің қасиетіне байланысты анықталады, мысалы, өте төмен температура оның магниттік қасиетінің өзгерістері (магниттік термометрия) арқылы анықталады.

Термоэлектр қозғаушы күш (ТЭҚК)тің шамасы дәнекерленген ұштардағы температуралардың айырмасына пропорционал болады:

$$E = \alpha(T_2 - T_1)$$

мұнда α – берілген металл жұбы үшін меншікті немесе дифференциал ТЭҚК деп аталатын коэффициент болып, сан мәні жағынан дәнекерленген ұштардағы температуралар айырмашылығы 1 К болғанда пайда болған ТЭҚК ге тең болады, яғни $\alpha = \frac{dE}{dt}$

Көптеген металл жұптары үшін бұл шама 1 К ге жүзден бір милливольт тәртібінде болады. Жалпы алғанда, α коэффициент температура өзгеруімен өзгереді, α ның T ға байланыстылығы сызықты болмай, күрделі көрініске ие. Бірақ әр бір термопара үшін E мен T арасындағы сызықты заңдылықпен өрнектелетін байланыс саласы бар. Кейбір термопаралар үшін жетерлі жоғары температураларда E мен T арасындағы байланысы біраз күрделенеді: температура артуы мен ТЭҚК тің мәні алдын артып, соң жетерліше жоғары температураларда кеміп барады және таңбасын өзгертуі мүмкін(4 – сурет)



4 – сурет

5 – сурет

6 - сурет

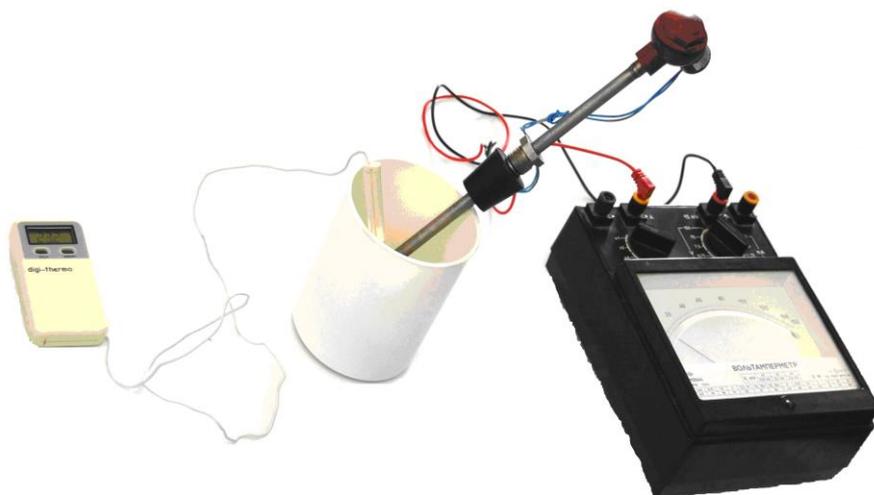
Термопара жәрдемінде температураны өлшеу үшін оның бір дәнекерленген ұшы тұрақты температурада (мысалы, 0°C) ұстап тұрылады, екінші ұшын температурасы өлшенетін ыдысқа түсіріледі. Температураның шамасын гальванометрмен өлшенген термоток күшіне қарап бағалау мүмкін. Термотокты өлшеу үшін термопара тізбегіне гальванометрді 5,а - суретте көрсетілгендей немесе 5,б - суреттегі көрсетілген схема бойынша қосу мүмкін. Бірінші схемадан пайдаланғанымызда бірінші дәнекерленген ұш бос қалады және сол ұштың температурасы өлшенуі қажет болған денеге тигізіледі. Екінші схемадан пайдаланылғанда болса, екі дәнекерленген ұш бос болады. Олардан бірінің температурасы тұрақты сақталады, екіншісін болса денеге тигізіледі. Бұл жаттығуда берілген термопара дәрежеленеді, яғни термопараның дәнекерленген ұштарындағы температуралардың ($t_1 - t_2$) айырмашылығымен гальванометрдің n бөлім көрсетулері арасындағы байланысты өрнектеуші график пайда болады. Бұл үшін 6 – суретте көрсетілген схема негізінде тәжірибе өткізіледі және төмендегі кесте толтырылады.

Кестеден пайдаланып, $n = f(\Delta t)$ графигі сызылады және анализ жасалады.

Тәртіп номері	t_1 – суық контакт температурасы, $^{\circ}\text{C}$	t_2 – жылытылған контакт температурасы, $^{\circ}\text{C}$	Δt - температуралар айырмашылығы	n – гальванометрдің көрсетуі
1				
2				
3				

Бұл жұмысты 2 – тәсілмен өткізіліп, алынған нәтижелермен таныстырамыз.

Төмендегі 7 - сурет жәрдемінде лаборатория құрылмасын құраймыз.

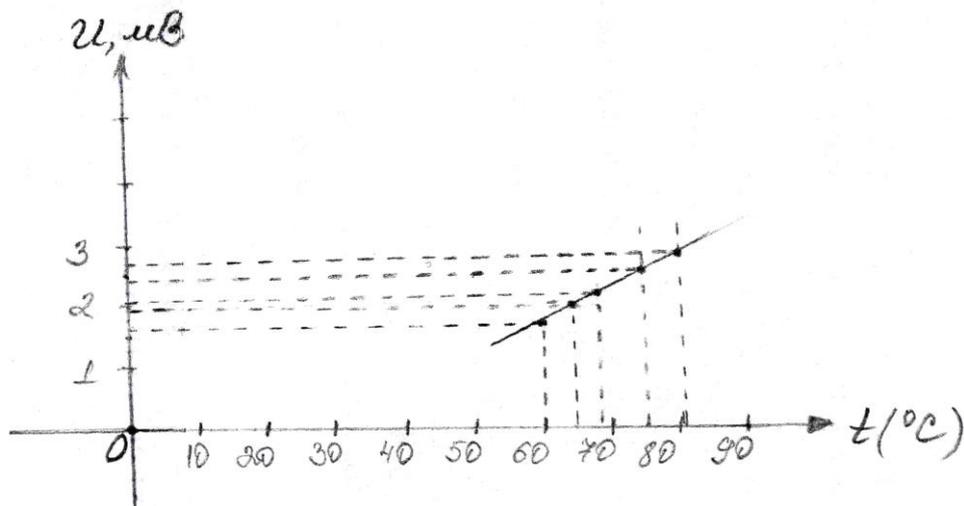


7 - сурет

Жұмысты орындау тәртібі:

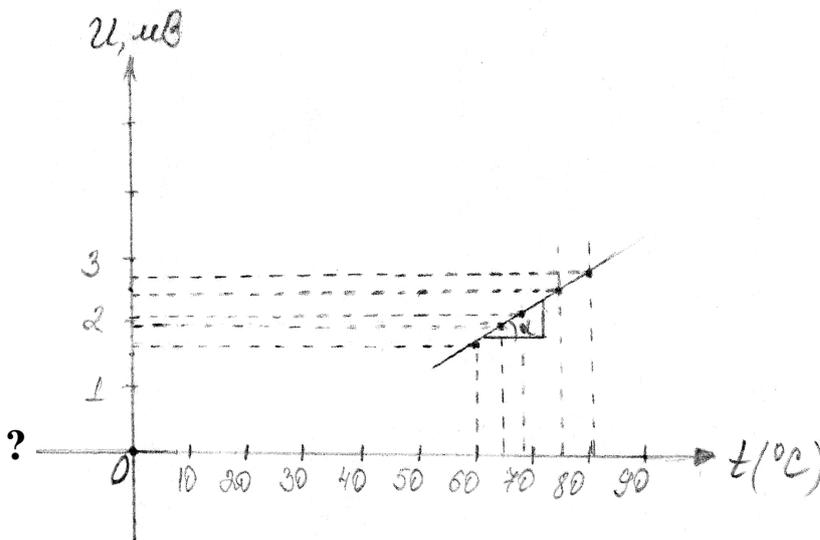
1. Гальванометрді термопараның сымдарына қосылады (бір сымы 7,5А жазылған клеммаға, бір сымы 15 мВ жазылған клеммаға). Термопараның ұшын сұйық салынатын ыдысқа түсіреміз.
2. Сұйық салынатын ыдысқа термометрді де түсіреміз.
3. Ыдысқа қайнатылған су құйып, әрі судың температурасын, әрі гальванометр (гальванометрге 150 шкала орналасқан, 15 мВ жазылғаны үшін 15ді 150 ге бөлеміз, сонда әр бір шкаланы 0,1 деп аламыз)дің көрсетуін жазып аламыз.
4. Судың температурасы түсе берген сайын кернеуде кеміп барады.
5. Алынған нәтижелерден (5 рет қайталанады) кернеудің (U) температура (t) ға байланыс графигі $U = f(\Delta t)$ сызылады.

№	Температура, °С	Кернеу, мВ
1	81	2,6
2	75	2,4
3	69	2,1
4	65	1,9
5	60	1,6



6. Сызылған графиктен ұшбұрыш сызып, $\operatorname{tg} \alpha$ есептелінеді. α - (термиялық коэффициенті) ның мәнін кестеден анықтап, термопара қандай материалдан жасалғанын анықтауымызға болады.

7



$$U = E = \alpha \Delta T$$

$$\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

$$y = \alpha x + b$$

$$y = \alpha x$$

$$\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

1. Температура дегеніміз не?
2. Реперлік нүкте дегенде нені түсінесіз?
3. Мұздың еру температурасы және судың қайнау температурасы не үшін алынады?
4. Газ термометрі қандай құрылысқа ие және ол не үшін жұмсалады?
5. Абсолюттік шкала, абсолюттік температура, абсолюттік дегенде нені түсінесіз?
6. Кельвин шкаласы мен Цельсий шкаласының айырмашылығы неде?
7. Судың үштік нүктесі дегенде нені түсінеміз?

8. Энергия бірлігі мен температура бірлігі кельвин арасындағы қатынасты анықтайтын k коэффициент қандай аталады?
9. Термисторлар қандай аспап?
10. Зеебек құбылысы жайлы мәлімет беріңіз.
11. Қандай қондырғы термопара деп аталады?
12. Пирометрлерден не үшін пайдаланылады?
13. Жұмысты орындау тәртібін айтып беріңіз.
14. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

МЕНШІКТІ (ГАЗДАРДЫҢ) ЖЫЛУ СЫЙЫМДЫЛЫҚТАРЫНЫҢ $\frac{C_p}{C_v}$ ҚАТЫНАСЫН ҮЙРЕНУ

Жұмыстың мақсаты: газ көлемінің адиабаталық ұлғаюынан пайдаланып, ауа үшін тұрақты қысымдағы және тұрақты көлемдегі меншікті жылу сыйымдылықтарының қатынасын анықтау.

Қажетті аспап және материалдар. 1. Қондырғы 2. Қол насосы.

Теориялық негіздеме:

Дененің жылу сыйымдылығы деп, оның температурасын бір кельвинге көтеру үшін жұмсалатын жылу мөлшерін айтады. Шексіз аз жылу мөлшерін беру арқылы дененің температурасын dT шамаға көтерсек, оның жылу сыйымдылығы, мынадай қатынаспен анықталады:

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Заттың бір өлшем массасының жылу сыйымдылығын меншікті жылу сыйымдылық, ал бір моль заттың жылу сыйымдылығы молярлық жылу сыйымдылығы деп аталады. Молярлық жылу сыйымдылық C_μ мен меншікті жылу сыйымдылықтың арасында мынадай қатынас орын алады:

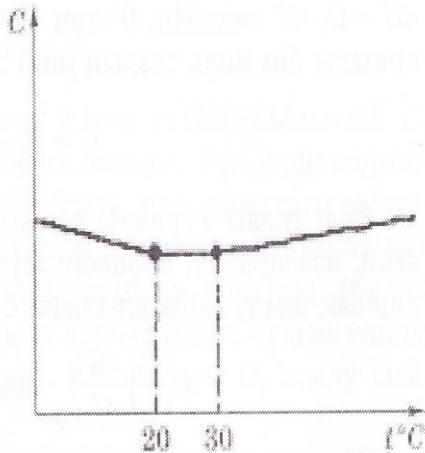
$$c = \frac{C_\mu}{\mu}$$

мұнда μ заттың молярлық массасы.

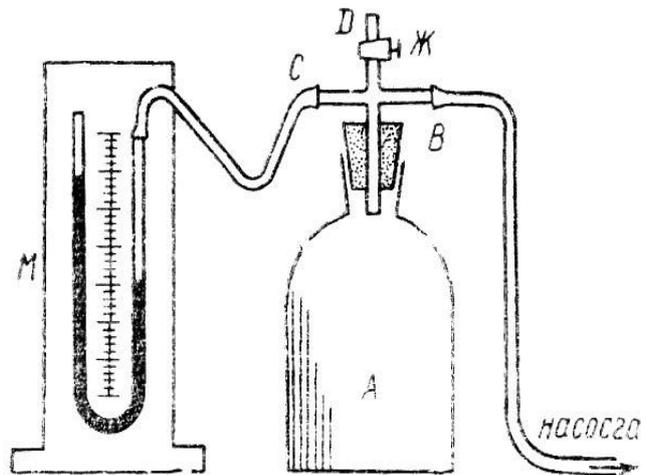
dQ жылу мөлшері ішкі энергияның өзгерісі dU мен элементар ұлғаю жұмысы dA шамаларымен анықталады. Ендеше жылу сыйымдылықта, ішкі энергия және екінші айнымалы, мысалы, көлемнің өзгерістеріне байланысты. Бұл қорытынды газдар үшін ғана дұрыс, ал сұйықтар мен қатты денелерді қыздырған кезде көлемдері, газ көлемімен салыстырғанда өте аз өзгереді.

болғандықтан, олардың жылу сыйымдылығын, көлемге байланыстылығын, ескермеуге болады. Мысал үшін, 0°C мен 100°C температуралар аралығындағы судың жылу сыйымдылығын температураға байланысты графигін зерттейік. Графиктен (8 -сурет) 30°C температура маңында судың жылу сыйымдылығы минимум мәнге ие болып, соңынан қайта көтерілетіндігі көрінеді. Ал оның 20°C температурадағы жылу сыйымдылығы 0°C мен 100°C температуралар интервалы үшін анықталған, жылу сыйымдылықтың орта мәніне жуықтайды.

Берілген газдар үшін, бір күйден екінші күйге өтетін әр түрлі процесстерде, оның жылу сыйымдылығы өзгеріп отырады, сондықтан, жылу сыйымдылықты айтқан кезде, оны идеал процесспен байланыстырады.



8 – сурет



9 – сурет

Физикада изохоралық процесс пен изобаралық процесстерде анықталған C_v және C_p жылу сыйымдылықтардың үлкен маңызы бар. Бір моль газды тұрақты көлемде қыздыру процесін қарастырған кезде бұрын берілген анықтамалар бойынша, молярлық жылу сыйымдылық былай жазылады:

$$C_v = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_v.$$

Жақша маңындағы индекс, газдың көлемі V өзгермейтіндігін көрсетеді. Термодинамиканың бірінші заңы бойынша,

$$dQ = dU + dA$$

Бірақ $dQ = CdT$, ал $A = PdV$ екендігін ескерсек, ол мына түрде жазылады:

$$C dT = dU + PdV.$$

Берілген шарт бойынша $V = const$, яғни $dV = 0$, ал $C = C_v$. Осы мәндерді орындарына қойып жоғарғы теңдеуді мына түрге келтіреді:

$$C_V dT = dU \quad \text{немесе} \quad C_V = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V,$$

C_V бір моль газдың тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылығы. Идеал газ үшін C_V температураға тәуелсіз, тұрақты шама. $dU = C_V dT$ теңдігін, 0° -тан T температураға дейін интегралдау арқылы бір моль газдың ішкі энергиясын анықтаймыз:

$$U = \int_0^T C_V dT = C_V T.$$

Енді газды тұрақты қысымда қыздыру ($P = \text{const}$, $dP = 0$), яғни, изобаралық процесте жүрсін. Бұл кезде идеал газдың молярлық жылу сыйымдылығы былай жазылады:

$$C_P = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_P \quad \text{немесе} \quad dQ = C_P dT.$$

Осыған термодинамиканың бірінші заңынан $dQ = dU + dA$ бойынша dQ -дың мәнін қою арқылы тұрақты қысымдағы молярлық жылу сыйымдылықтың өрнегі табылады:

$$C_P = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT},$$

мұнда C_P идеал газдың тұрақты қысымдағы молярлық жылу сыйымдылығы.

Идеал газдар үшін ішкі энергия температураға ғана емес көлемге де байланысты:

$$C_P = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V + \left(\frac{dU}{dT} \right)_T \frac{dV}{dT} + P \frac{dV}{dT} = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V + \left[\left(\frac{dU}{dT} \right)_V + P \right] \left(\frac{dV}{dT} \right)_P.$$

Тұрақты көлемде

$$\left(\frac{dV}{dT} \right)_V = 0, \quad \left(\frac{dU}{dT} \right)_V = C_V$$

Ал тұрақты қысымда идеал газ үшін $\frac{dU}{dV} = 0$. Олай болса жоғарғы теңдеу мына түрде жазылады:

$$C_P = \left(\frac{dU}{dT} \right)_V + P \left(\frac{dV}{dT} \right)_P,$$

немесе

$$C_P = C_V + R,$$

себебі, бір моль газға арналған Клайперон-Менделеев теңдеуінен $P \left(\frac{dV}{dT} \right)_P = R$.

$C_P = C_V + R$ өрнек Р.Майердің теңдеуі деп аталады. Газды қыздыру және ұлғайту шарттарына байланысты, оның жылу сыйымдылығы

C_p және C_v емес басқа да әртүрлі мәндерге ие бола алады. $c = \frac{C}{\mu}$ теңдеуге сәйкес тұрақты көлем мен қысымдағы меншікті жылу сыйымдылықтарды былай анықтауға болады:

$$c_v = \frac{C_v}{\mu}, c_p = \frac{C_p}{\mu}$$

Газдың тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылығын C_p жеткілікті дәлдікпен тікелей өлшеуге болады. Бұл үшін белгілі-бір қыздырылған газ, тұрақты қысымда, калориметрге салынған ирек түтік (змеевик) арқылы жіберіледі. Газдың кірісі мен шығысындағы температураларды өлшеу арқылы (бұлар тәжірибе кезінде өзгермеуі тиіс), калориметрдегі судың қанша температураға қызғанын және оны қысымдағы C_p жылу сыйымдылығын анықтауға болады.

Газдың тұрақты көлемдегі C_v жылу сыйымдылығын тікелей анықтау қиын, себебі, ыдыстағы қыздырылатын газдың массасы калориметрдің массасымен салыстырғанда өте аз болғандықтан өлшеулердің дәлдігі төмен болады. Тәжірибе жүзінде газдың жылу сыйымдылықтарының $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$, қатынасын анықтау қиын емес. Бұл

кезде тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылық белгілі болғандықтан, тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылық есептелініп шығарылады. Мұнда γ -берілген газ үшін тұрақты шама болып, **Пуассон коэффициенті** немесе адиабата көрсеткіші деп аталады және адиабаталық процесс үшін орынды болған Пуассон теңдеуіне кіреді.

Енді идеал газ үшін γ ны есептейік. Егер газ көлемі өзгермейтін жағдайда жылытылған болса, мұнда термодинамикалық жұмыс орындалмайды. Газге берілген жылулық мөлшері, термодинамиканың бірінші заңына орай, оның ішкі энергиясының өзгеруіне жұмсалады. Олай болса $dQ = dU$ және $C_v = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v$ болады.

Бір моль газдың ішкі энергиясы $U = \left(\frac{i}{2} \right) RT$. Олай болса, идеал газдың изохоралық мольдік жылулық сыйымдылығы

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

ге тең болады, мұнда i – молекулалардың еркіндік дәрежелері саны.

Молекулалардың күйін анықтау үшін қажет болған ерікті координаталар саны **еркіндік дәрежесі** делінеді. Бір атомды газдың еркіндік дәрежесі $i = 3$ (атомның x, y, z осьтері бойынша күйін анықтау жетерлі) (10,а-сурет). Екі атомды газдың молекуласы үш ось

бойымен ілгерілемелі және екі ось бойынша шеңбер бойымен қозғалыс жасайды, сол үшін $i = 5$ (10,б-сурет). Үш және көп атомды молекулалардың еркіндік дәрежесі $i = 6$ (10,в-сурет), олардан үшеуі ілгерілемелі және үшеуі шеңбер бойымен қозғалыстарды сипаттайды, деп айту мүмкін.

Тұрақты қысымдағы мольдік жылулық сыйымдылығы C_p ның тұрақты көлемдегі мольдік жылулық сыйымдылығына қатынасы адиабата дәрежесі делініп, бұл шама берілген газ үшін тұрақты болып, молекулалардың еркіндік дәрежесіне байланысты.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2}$$

Екі атомды газдар үшін бұл шама $\frac{C_p}{C_v} = 1,4$

Егер газ тұрақты қысым жағдайында жылытылса, ол күйде газ ұлғайып, сыртқы денелер үстінде оң жұмыс атқарады. Бұл күйде жылулықтың бір бөлігі газдың жұмыс атқаруына жұмсалады. Сол үшін изобаралық жылулық сыйымдылығы изохоралық жылулық сыйымдылығынан үлкенірек болады.

Бір моль газ үшін термодинамиканың бірінші заңы

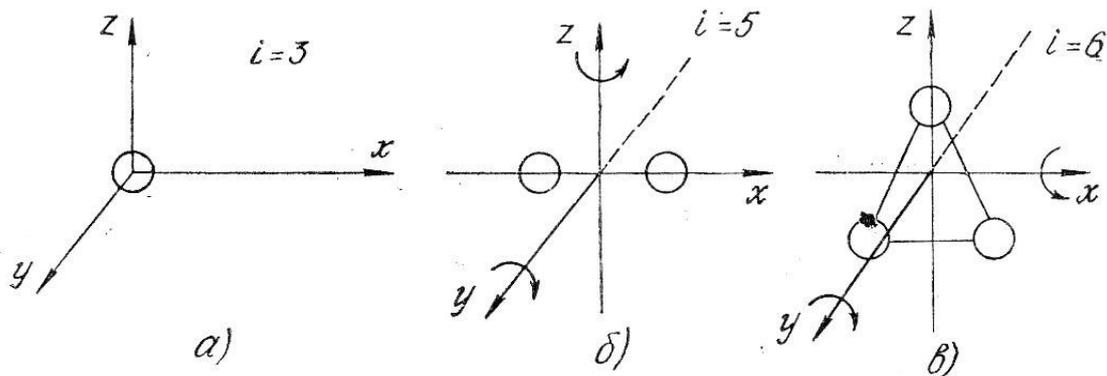
$$dQ = dU + pdV$$

өрнегінен изобаралық мольдік жылулық сыйымдылығы төмендегіше болады:

$$C_p = \frac{dU}{dT} + P \left(\frac{dV}{dT} \right)_p$$

$\left(\frac{dV}{dT} \right)_p$ шамасы қысым өзгермегенде бір моль газдың температурасы бір кельвинге артқанда оның көлемі алған арттырмасынан тұрады. Идеал газдың күй теңдеуінен (1 моль үшін)

$$V = \frac{RT}{P}$$



10- сурет

Бұл өрнекті $p=const$ болғанда T бойынша дифференциалдасақ, ол жағдайда

$$\left(\frac{dV}{dT}\right)_p = \frac{R}{p}$$

болады. Алынған нәтижені $C_p = \frac{dU}{dT} + P\left(\frac{dV}{dT}\right)_p$ ға қойсақ,

$$C_p = C_v + R$$

келіп шығады. $C_p = C_v + R$ ні *Майер теңдеуі* деп аталады. Демек, тұрақты қысымда бір моль идеал газдың температурасы бір кельвинге артқанда атқаратын жұмысы универсал газ тұрақтысына тең болады.

$C_v = \frac{i}{2}R$ ді есепке алып, C_p ны төмендегіше жазуға болады:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R$$

$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R$ ді $C_v = \frac{i}{2}R$ ге мүше-мүше бөліп, әр бір газ үшін өзіне тән болған C_p ның C_v ға қатынасын табамыз:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}.$$

Газ көлемінің адиабаталық ұлғаюынан пайдаланып, γ ны тәжірибеде анықтау мүмкін.

Бізге белгілі болғандай, сыртқы орта мен жылулық алмаспайтындай болатын процесс *адиабаталық процесс* деп аталады. Газды сыртқы ортадан толық изоляциялау мүмкін емес, бірақ өте қысқа уақыт ішінде газ көлемінің өзгеру процессін адиабаталық процесс деп қарау мүмкін, себебі бұндай жағдайда газ сыртқы ортамен жылулық алмасуға дерлік үлгере алмай қалады.

Пуассон коэффициентін анықтау үшін принципиал схемасы 9-суретте келтірілген қондырғыдан пайдаланылады.

Қондырғы ауамен толтырылған 20-30 литр көлемді А шиша баллоннан құралған болып, үш жақтама кран(тройник)мен біріктірілген тығынмен бекітілген. Кранның С тірсегі резина түтік арқылы U-сияқты суы бар М манометрмен, D тірсегі атмосферамен, В тірсегі болса қол насоспен біріктірілген. Қол насос жәрдемінде баллонға газ толтырылады. Ж кран жәрдемінде баллон ішіндегі қысылған газдың артығын өте қысқа уақыт аралығында сыртқа шығарып жіберіп, газдың адиабаталық ұлғаюына ие болу мүмкін.

Насос жәрдемінде А баллонға сыртқы атмосфера қысымынан үлкенірек қысымдағы газ үрлейік(мұнда Ж кран жабылып тұруы

керек). Газ тез қысылғаны үшін оның температурасы көтеріледі. Сол үшін баллонға газ айдау тоқтатылғаннан соң баллондағы газдың температурасы айналадағы ауа температурасымен теңескенше манометр тірсегіндегі сұйық бағаны деңгейі арасындағы айырмашылығы кеміп барады. Газдың бұл күйін сипаттайтын параметрлерді-ауаның бірлік массасының көлемін V_1 , температурасын T_1 және қысымды $(H+h_1)$ мен белгілейік, мұнда H -атмосфера қысымы, h_1 –манометрдегі сұйық бағаны биіктіктерінің айырмашылығы.

Енді \mathcal{J} кранды қысқа уақытқа атмосферамен байланыстырайық. Сонда газдың бір бөлегі баллоннан сыртқа шығып кетеді. Газдың ұлғаюы өте қысқа уақыт ішінде жүзеге келгені үшін бұл процессті адиабаталық деп есептеу мүмкін, бұл ұлғаюда атқарылған жұмыс газдың ішкі энергиясының кемеюіне тең болады, газдың температурасы төмендейді, қысым болса атмосфера қысымымен теңеседі. Газдың бұл күйдегі параметрлерін V_2 , T_2 және H пен белгілейік. T_2 температура ауа температурасынан төмен болғаны үшін баллондағы газ сыртқы ортамен жылулық алмасу нәтижесінде жай жыли бастайды және оның температурасы ауа температурасымен тең болып қалады. Бұл процесс тұрақты көлемде жүзеге келгені үшін изохоралық процесс саналады. Газ температурасы көтеріліуімен, оның қысымы да артып барады. Бұл күйде манометрдегі сұйық бағаны биіктіктерінің айырмашылығын h_2 деп белгілесек, газдың күй параметрлері V_2 , T_1 және $(H+h_2)$ болады.

Демек, газдың $V_1, T_1, (H+h_1); V_2, T_2, H$ және $V_2, T_1, (H+h_2)$ параметрлермен сипатталатын үш күйіне ие болдық.

N	Жүйе күйі	Көлем	Қысым	Температура
1	Кран жабық, ауа қысылған	V_1	$H+h_1$	Бөлме температурасы
2	Кран ашық, ауа адиабаталық кеңейген	V_2	H	Бөлме температурасынан төмен
3	Кран жабық	V_2	$H+h_2$	Бөлме температурасы

Бірінші және үшінші күйлерде ауа температурасы өзгермейді, сол үшін Бойль- Мариотт заңын қолдауымыз мүмкін:

$$V_1 (H+h_1) = V_2 (H+h_2) \text{ немесе } \frac{V_1}{V_2} = \frac{H+h_2}{H+h_1}$$

Газдың бірінші күйден екінші күйге өтуінде Пуассон теңдеуі орынды болады:

$$(H+h_1)V_1^\gamma = HV_2^\gamma \text{ немесе } \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \frac{H}{H+h_1}$$

Газдың бірінші және үшінші күйлерінде температура бірдей болғаны үшін бұл күйлердің параметрлерін өзара Бойль-Мориотт заңымен байланыстыру мүмкін:

$$(H+h_1) V_1 = (H+h_2)V_2$$

$(H+h_1)V_1^\gamma = HV_2^\gamma$ және $(H+h_1) V_1 = (H+h_2)V_2$ теңдеулерін бірге шешіп, γ коэффициентті табайық. Бұл үшін $(H+h_1)V_1 = (H+h_2)V_2$ теңдеудің екі жағының дәрежесін γ ға көтеріп, жүзеге келген теңдеуді $(H+h_1)V_1^\gamma = HV_2^\gamma$ теңдеуге мүше-мүше бөлеміз: $(H+h_1)^\gamma V_1^\gamma = (H+h_2)^\gamma V_2^\gamma$.

$$\frac{(H+h_1)^\gamma}{H+h_1} = \frac{(H+h_2)^\gamma}{H} \text{ немесе } \frac{H+h_1}{H} = \frac{(H+h_1)^\gamma}{(H+h_2)^\gamma}$$

Бұл қатынасты логарифмдеп, γ ны тапсақ, төмендегіге ие боламыз:

$$\gamma = \frac{\lg(H+h_1) - \lg H}{\lg(H+h_1) - \lg(H+h_2)}$$

H , $H+h_1$ және $H+h_2$ қысымдар бір-бірінен аз айырмашылық етеді, сол үшін қысымдар логарифмдерінің айырмасы қысымдар өздерінің айырмасына пропорционал болады деп алу мүмкін. Олай болса,

$$\gamma = \frac{(H+h_1) - H}{(H+h_1) - (H+h_2)}$$

болады, бұдан
$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Бұл теңдеу жәрдемінде γ ны есептеу үшін газдың адиабаталық ұлғаюынан алдыңғы және кейінгі қысымдарының атмосфера қысымынан артық бөліктері h_1 және h_2 ні өлшеу керек. Осыны еске алып, бұл екі шама h_1 және h_2 ны газда термодинамикалық тепе-теңдік жүзеге келгені (яғни жылулық алмасу тоқтаған) нен кейін өлшеу керек.

Жұмысты орындау тәртібі:

- Өлшеуді бастаудан алдын қондырғының қосылған жерлерін тексеріп, жеткілікті герметик екендігіне сенім арттыру керек. Бұл үшін манометрдегі су деңгейлерінің айырмашылығы 20-25 см ге жеткенше баллонға насос жердемінде ауа жіберіледі. Белгілі бір уақыт (3-5 мин) өткеннен кейін газ қысымының өзгеруі манометрден күзетіп барылады. Егер қондырғы

герметик жабылған болса, белгілі бір уақыттан кейін термодинамикалық тепе-теңдікке келтіріліп, қысымның кемеюі тоқтайды, егер керісінше болса қондырғыда жүзеге келген сырқырауды табу керек болады. Баллон ішіндегі газ қысымы тепе-теңдік күйге келгеннен кейін, қысымның атмосфера қысымынан артық бөлігі h_1 өлшенеді: ол сулы манометрдегі деңгейлер айырымына тең.

- Соңынан **Ж** кранды өте қысқа уақыт ішінде ашып жабады. (Ауаның краннан дыбыс шығарып шығуы тоқтауымен кранды жабу керек, мұнда су деңгейлері теңдесуі керек). Термодинамикалық тепе-теңдіктен кейін (3-5 минут дан кейін) және баллон ішіндегі газ қысымының атмосфера қысымынан артық бөлігі h_2 сулы манометрдегі деңгейлер айырмасы бойынша өлшенеді.
- Әр жағдайда h_1 дың мәнін әр түрлі етіп алып, тәжірибе кемінде 12-15 рет қайталанады және алынған нәтижелерден пайдаланып $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$ формулаға негізделіп Пуассон коэффициенті есептеп табылады.
- Өлшеу және есептеу нәтижелері кестеге жазылады:

N	h_1, sm	h_2, sm	γ	$\bar{\gamma}$	$\Delta\gamma$	$\Delta\bar{\gamma}$	γ_0

- $\delta = \frac{\bar{\gamma} - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot 100\%$ өрнектен тәжірибеде жол қойылған қателік есептеледі. Бұл жерде $\bar{\gamma}$ - тәжірибе нәтижесінде анықталған орташа мән, γ_0 болса, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2}$ өрнектен анықталған мән.

?

1. Заттардың жылулық сыйымдылығы, меншікті жылулық сыйымдылығы, мольдік жылулық сыйымдылығы деп неге айтылады? Олар арасында қандай байланыс бар?
2. Молекулалардың еркіндік дәрежелері саны дегенде нені түсінесіз? Майер теңдеуін келтіріп шығарыңыз.
3. Молекула-кинетикалық теориясы негізінен ауа үшін γ ның мәні қандай болуы керек? Келтіріп шығарыңыз.

4. Газ адиабаталық ұлғайғанда оның ішкі энергиясы қандай өзгереді?
5. **Ж** кранды жабудың кешігуі тәжірибе нәтижесіне қандай әсер етеді?
6. Не үшін қондырғыда сынапты емес, бәлкім сулы манометрден пайдаланылады?
7. Баллондағы газда су булары болса, ол тәжірибе нәтижесіне әсер ете ме?
8. $\langle \gamma \rangle$, $\langle \Delta \gamma \rangle$, $\langle \Delta \gamma_{кв} \rangle$, $\frac{\langle \Delta \gamma \rangle}{\langle \gamma \rangle} \cdot 100\%$ ты есептеңіз.

ГАЗ ҚЫСЫМЫНЫҢ ТЕРМИЯЛЫҚ КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: газ термометрінің түзілісі, істеу принципімен танысу және одан пайдаланып тұрақты көлемде газ қысымының термиялық коэффициентін анықтау.

Қажетті аспап және материалдар:

- 1) газ термометрі
- 2) кең металл ыдыс (су ысыту үшін)
- 3) қайнату аспабы (электр плита)
- 4) екі термометр (0°C дан 50°C ға дейін)

Методтың теориясы және қондырғының түзілісі

Кез келген зат қабылдай алатын үш агрегаттық күйлердің ең қарапайымы газ күйі болып табылады, себебі бұл кезде молекулалар арасында әсер ететін күштер өте әлсіз, белгілі жағдайларда оларды ескермей кетуге болады. Сондықтан молекулалық физиканы газдардың қасиеттерін қарастырудан бастаған ыңғайлы. Бұл жерде біз, әуелі газдағы *молекула аралық күштер* аз ғана емес, оларды тіптен *жоқ* деп санаймыз. Сонымен қатар ықшамдық үшін молекулалардың *өлшемдерін* де ескермейміз, яғни *оларды материалдық нүктелер* деп есептейтін боламыз. Осындай ойласымдар кезінде газ молекулаларын еркін, өзара әрекеттеспейтін мөлшерсіз бөлшектер системасы деп қарастыруға болады. Молекулалар енді түзу сызықты және бірқалыпты қозғалатын болады. Әрбір молекула өзін ыдыста өзінен басқа молекула жоқ секілді сезінетін болады. Кейін, реал (идеал) газдарды қарастырған кезде бұл айтылғандардан бас тартуға тура келеді.

Газдың қарапайым нобайы ретінде идеал газ ұғымы қолданылады. Идеал газда, оны құрайтын молекулалар өзара әсерлеспейтін материалдық нүктелер деп саналады. Екіншіден, сиретілген газдар үшін оның молекулаларының көлемі, аз болғандықтан, ескерілмейді. Сонымен, идеал газ деп, өзара әсерлеспейтін материалдық нүктелер жиынының қасиетіндей қасиеттерге ие газды айтады.

Өзара әрекеттеспейтін материалдық нүктелердің жиынтығының қасиеттеріндей қасиеттері бар газды идеал газ деп атайды.

Жүйенің күйі оны сипаттайтын физикалық шамалардың жиынымен — күй параметрлерімен анықталады. Күй параметрлері ретінде заттың массасы m , көлемі V , қысымы P , температурасы T және т.б. алынады. Жылулық тепе-теңдікте осы соңғы үш физикалық шамалар бір-бірімен тығыз байланысты. Шындығында, жүйенің тұрақты температурада белгілі көлемі болса, оның соған сәйкес қысымы да болады. Яғни, жүйенің күйін сипаттайтын кез-келген параметрдің өзгерісі, оның басқа параметрлерінің өзгерісін тудырады. Сондықтан, күй параметрлері өзара белгілі бір функционалды байланыста болады. Жалпы жағдайда, күй параметрлерінің арасындағы байланыс мына түрде сипатталады және ол күй теңдеуі деп аталады:

$$f(P, V, T) = 0.$$

Заттың газ тәріздес күйі, төменгі қысымдар мен жоғарғы температураларда, қасиеттері жағынан ең қарапайым. Сиретілген газдардың бәрі идеал деп саналады және олардың күйлері бірдей заңдылықтармен сипатталады.

Жүйенің бірінен соң бірі тізбектеле жүретін аралық күйлер арқылы бір күйден екіншісіне өтуін **процесс** деп атайды. Заттың үш агрегаттық күйінің ең қарапайымы газ күйі, себебі, оның молекулалары бір-бірінен алшақ орналасқан. Сондықтан, газда оларды құрайтын молекулаларының әсерлесу күшін есепке алмауға болады. Осыдан, газдар үшін жазылған күй теңдеулері қарапайым және оңай шешіледі.

Күй теңдеуінен $f(P, V, T) = 0$ әр параметрді қалған екеуінің функциясы ретінде сипаттауға болатындығы байқалады:

$$V = V(P, T), P = P(V, T), T = T(V, P).$$

Мұндай күйлер шексіз көп әртүрлі процесстердің басы болады және олар әрқайсына тән белгілері бойынша жеке-жеке топтарға бөлінеді. Жүйенің бір параметрі, өзгермейтін, тұрақты етіп алынған процесстер **изопроеесстер** деп аталады. Осыған сәйкес, қысым, көлем және температура тұрақты ұсталынып, қалған екеуінің арасындағы тәуелділік анықталатын процесстер, изобаралық, изохоралық және изотермиялық процесстер деп аталады.

Теориялық тұрғыда күй теңдеуінің $f(P, V, T) = 0$ шешімі жеке жағдайлар үшін анықталған, сондықтан, көбіне нәтижелері график түрінде кескінделетін, тәжірибелік өлшеулерге жүгінеді. Бұның өзінде, осы үш параметрдің бірін тұрақты етіп, қалған екеуінің арасындағы байланысты сипаттайтын қисықтар алынады. Егер температура тұрақты болса көлем мен қысым арасындағы байланысты сипаттайтын қисық изотерма деп аталады. Изотермалар $f(P, V, T) = 0$ теңдеуді көлемге немесе қысымға байланысты шешу арқылы алынады:

$$P=P(V), \quad V=V(P)$$

Бұл кезде $T = \text{const}$, ал изотермалар тұрақты $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$ температураларға сәйкес келеді.

Осыған ұқсас $f(P, V, T) = 0$ теңдеуінен көлемнің температураға тәуелділігін кескіндейтін қисықтар - изобаралар алуға болады. Бұл кезде $P = \text{const}$, ал

$$V = V(T) \text{ немесе } T = T(V).$$

Сонымен қатар, тұрақты көлемде $V = \text{const}$ қысымның температураға тәуелділігін сипаттайтын изохоралар кескінделеді. Олар төмендегідей теңдеулермен өрнектеледі:

$$P = P(T) \text{ немесе } T = T(P).$$

Газдың қысымы өзгерген кездегі көлемін өзгерту қасиеті сығылғыштық деп аталады, сондықтан мұндай өзгерістер изотермиялық сығылу коэффициентімен α_T сипатталады. Газдың сығылғыштығы, оның қысымының бірлік өзгерісі кезіндегі, көлемнің салыстырмалы өзгерісін көрсетеді және ол мына формуламен анықталады:

$$\alpha_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)$$

бұл жерде $\alpha_T > 0$, себебі, $\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right) < 0$.

$\alpha_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)$ және $PV = \text{const}$, $P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = P_nV_n$ теңдеулерінен, идеал газ үшін изотермиялық сығылу коэффициенті қысымға кері пропорционал өзгертіндігі көрінеді:

$$\alpha_T = \frac{1}{P}$$

Идеал газ көлемінің температураға тәуелділігі де тәжірибе арқылы тағайындалған. Бұл тәуелділік изохоралық процесті зерттеген француз ғалымының құрметіне Гей-Люссак заңы деп аталады. Бұл заң бойынша: берілген газ массасы үшін тұрақты қысымда, оның көлемі мен температурасының арасында сызықтық тәуелділік орын алады.

$$P = \text{const}, V = V_0 (1 + \alpha_v \cdot t),$$

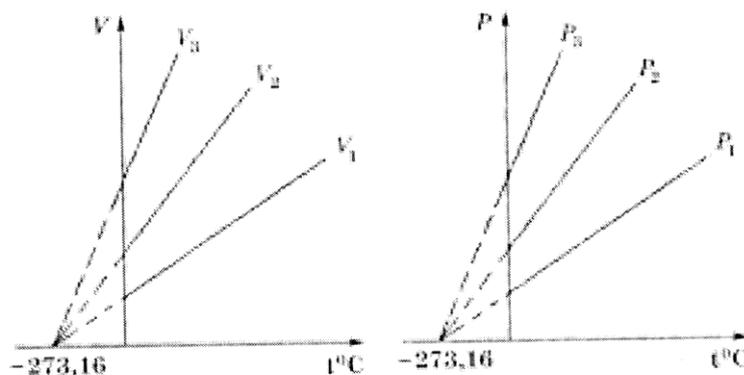
мұнда V_0 - газдың 0°C -дағы бастапқы көлемі. Тәжірибелер, егер тұрақты қысымда идеал газдың температурасын 1°C -ға өсіргенде, оның көлемі $1/273,16$ есе артатынын көрсетеді. Бұдан $\alpha_v = \frac{1}{273,16} \text{град}^{-1}$ екендігі шығады.

Графикте изобаралық процесс, яғни $V(t)$ тәуелділік түзу сызықпен кескінделеді (11, а – сурет)

Қысымның әр мәніне сәйкес осы түзу сызық изобара деп аталады.

Осы сияқты тұрақты көлемде температура мен қысымның арасындағы байланыстылық тағайындалған (Шарль заңы). Берілген газ массасы үшін тұрақты көлемде, оның қысымы мен температурасының арасында сызықтық тәуелділік орын алады:

$$P = P_0(t + a_p \cdot t).$$



11,а - сурет

11,б - сурет

Тұрақты көлемде, идеал деп санауға болатын, сиретілген газды 1 °С-ға қыздырғанда, кез-келген газ үшін қысымның термиялық коэффициенті $a_p = \frac{1}{273,16}$ град⁻¹ екендігін француз ғалымы Р.Шарль тәжірибе жүзінде анықтаған. Графикте изохоралық процесс түзу сызықпен кескінделеді (11,б-сурет) және изохора деп аталады. Суреттен көлемнің әр мәніне өз изохорасы сәйкес келетіні көрініп тұр.

Зерттеулер сиретілген идеал газдар үшін a_v және a_p коэффициенттерінің тәжірибелік мәндері бір-біріне жақын екендігін дәлелдеді. Төменде әр текті идеал газдар үшін осы коэффициенттердің орташа мәндері ($1,3 \cdot 10^5$ Па қысым мен 0-ден 100 °С температуралар аралығы үшін) келтірілген (төмендегі кесте).

Газ	$a_v \cdot 10^6 K$	$a_p \cdot 10^6 K$
Азот N ₂	3672	3674
Сутек H ₂	3663	3661
Гелий He	3660	3658
Көмір қышқыл газы CO ₂	3726	3741
Ауа	3674	3671

Кестеден идеал газ деп саналатын сиретілген газдар үшін

$$\alpha_v = \alpha_p = \alpha = \frac{1}{273,16} \text{град}^{-1} = 0,00367 \text{K}^{-1}$$

Барлық изохоралар мен изобаралар абцисса осімен, сан мәні $t = 1/\alpha = -273,15$ °С нүктеде қиылысады (11- сурет). Егер температураның нөлі осы нүктеге әкелінсе, онда Цельсий шкаласы, Халықаралық практикалық шкала деп аталған, жаңа шкалаға ауысады. Бұл ағылшын ғалымының құрметіне Кельвин шкаласы деп аталған және оның бір бөлігінің құны Цельсий градусына тең кельвинмен (К) өлшенеді, яғни, 1К=1 °С.

Мысалы, 0°С-ға 273,15К, ал судың үштік нүктесіне 273,16 К абсолют температуралар сәйкес келеді.

$P = \text{const}, V = V_0 (1 + \alpha_v \cdot t), P = P_0(t + \alpha_p \cdot t)$
теңдеулердегі температураларды абсолют температурамен

алмастырып және $a_v = a_p = a$ екендігін ескеріп мынадай өрнектер алынады:

$$V = V_0 \left[1 + \alpha \left(T - \frac{1}{\alpha} \right) \right] = V_0 \alpha T \quad \text{және} \quad P = P_0 \left[1 + \alpha \left(T - \frac{1}{\alpha} \right) \right] = P_0 \alpha T$$

бұл жердегі V_0 және P_0 мәндері $T_0 = 273,15\text{K}$ - сәйкес келетін газдың бастапқы көлемі мен қысымы, ал $\alpha = 1/273,15\text{K}$. Осыларды ескерсек жоғарыдағы теңдеулер абсолют температуралар арқылы жазылған Гей-Люссак пен Шарль заңдарына айналады және

$$PV = \text{const}, P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots = P_n V_n$$

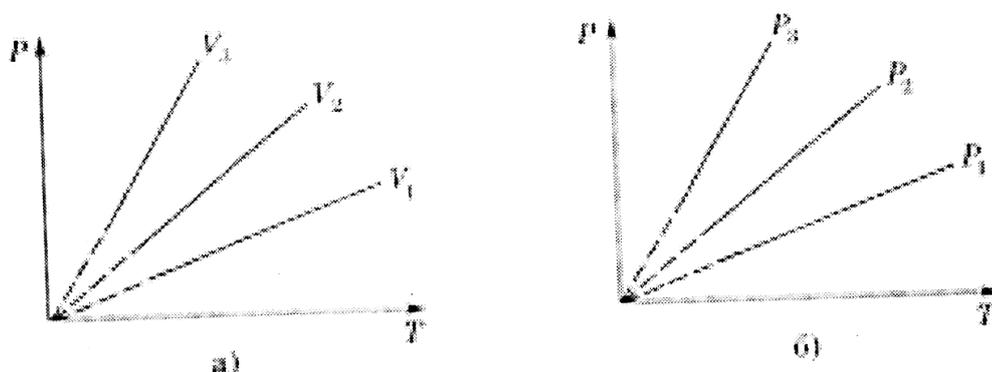
теңдеуімен бірге күй теңдеуінің $f(P, V, T) = 0$ жеке жағдайлары болып табылады:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}, \quad \text{яғни} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

$$\text{және} \quad \frac{P_0}{T_0} = \frac{P}{T}, \quad \text{яғни} \quad \frac{P}{T} = \text{const}$$

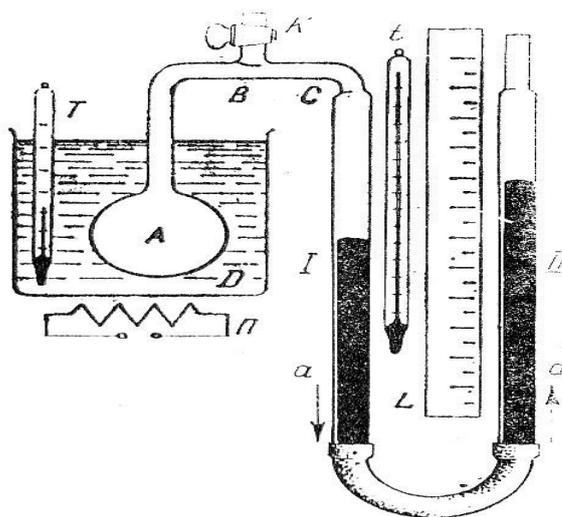
Осы екі теңдеу изохоралық және изобаралық процестер үшін дұрыс. Бұлардың VT және PT диаграммаларында салынған графиктері абсолют нөлден басталатын әртүрлі көлемдер мен қысымдарға сәйкес түзу сызықтармен кескінделеді (12- сурет).

Газ термометрі жалпы газдердің жылулықтан ұлғаюына негізделіп түзілген болып, газ қысымының термик коэффициентін анықтауға мүмкіншілік жаратады, бұған қарама-қарсы мәселені шешуде, яғни α_p белгілі болғанда температураны табуда бұл аспапты термометр ретінде жұмсау мүмкін.



12 - сурет

Бұл аспап (13-сурет)



13 - сурет

құрғақ газ (ауа, азот, сутегі және т.б.) мен толтырылған шиша *A* баллоннан құралған болып, бұл баллонға *K* краны бар *B* капилляр түтік дәнекерленген. Тексерілетін құрғақ газ аспап ішіне *K* кран арқылы кіргізіліп, аспап толтырылады. «*C*» жерінде капилляр түтікке диаметрі 10 мм шамасында болған біраз кеңірек *I* түтік дәнекерленген болып, бұл *I* түтік резина түтік жәрдемінде (*abd*) *II* үсті ашық түтікке қосылған. Капиллярдың *I* түтікпен тұтасқан жерінің дәл өзінде шишаның үстіне сызып қойылған. *I* және *II* түтіктер сынапқа (немесе суға) толтырылған. Бұл бөліктерінің барлығы миллиметрлерге бөлінген. *L* шкалалы вертикал тіреуішке орнатылған; *L* шкала көбінесе шишадан жасалады. *I* және *II* түтіктерді қажеттілігіне қарап төменге немесе жоғарыға жылжыту және кез келген биіктікте орнату мүмкін. Егер тексерілетін газ ауа болса, ең алдымен *K* кранды ашып, *A* ыдыстың іші құрғатылады. Соң *A* ыдысты үй температурасындағы сумен толтырылған *D* ыдысқа ол батқанша түсіріледі. *A* ыдыстағы ауаның температурасы су температурасымен теңескенше 10-12 минут күтіп тұрылады. *K* краны бекітілсе, ыдыстағы және *I* түтіктегі ауаның қысымы өзгереді және сонымен бірге *I* және *II* түтіктердегі сұйықтың деңгейі де өзгереді. *D* ыдыстағы судың температурасы сырттағы ауа температурасынан 2-3⁰ айырмашылық етеді, себебі сұйықтың ашық сыртынан буланып, буланғанда әр дайым суиды. *A* ыдыстағы ауаның температурасы *D* ыдыстағы су температурасына теңдескен деп, оны *T* термометр жәрдемінде өлшеп алады. *t*₁ температурада *A* ыдыстағы ауа қысымы *I* және *II* түтіктердегі сұйықтың айырмасына қарап атмосфера қысымынан жоғары немесе төмен болуы мүмкін. Егер сұйықтың деңгейі *II* түтікте *I* түтіктегі деңгейден *h* биіктікке жоғарыға

көтерілген болса, А ыдыстағы t_1 температуралы ауа қысымы $p_1 = p_0 + h$ болады, мұнда p_0 атмосфера қысымы. Керісінше, II түтіктегі сұйық денгейі I түтіктегі сұйық денгейінен h_1 биіктікке төменге түскен болса, $p_1 = p_0 - h$ болады. Жалпы көріністе

$$p_1 = p_0 \pm h,$$

болып, сұйық денгейі көтерілген болғанда плюс және төменге түскен болғанда минус таңбасы алынуы керек. D ыдыстағы сұйық жылытылса, А ыдыстағы ауа ысып көлемі ұлғаяды және II түтіктегі сұйық көтеріледі. Бірақ А ыдыстағы және I түтіктегі ауа көлемін бастапқы күйіне келтіру үшін II түтікті және жоғарырақ көтеру керек болады. Бұл жағдайда I және II түтіктердегі сұйық денгейінің айырмасы h_2 болса, А ыдыстағы ауаның қысымы p_2 ні төмендегіше жазу мүмкін:

$$p_2 = p_0 + h_2$$

Егер I және II түтіктер сынаптан басқа сұйықпен толтырылған болса, сол сұйық тығыздығы h_1g және h_2g ге көбейтіріліп, сынаптың тығыздығына бөлінуі керек, яғни:

$$p_1 = p_0 + \frac{dh_1g}{13,6} \quad \text{және} \quad p_2 = p_0 + \frac{dh_2g}{13,6}$$

Бұл уақыттағы t_2 температура, T термометрден жазып алынады.

p_0 ды қатынастырмай, a_p ны анықтағанда газдың қысымын жоғарыдағыдай бірер t_1^0 және t_2^0 де өлшеп, p_1 және p_2 лер табылады. Бұл уақытта $p_i = p_0(1 + \alpha_p \cdot t)$ теңдеуді t_1^0 және t_2^0 үшін төмендегіше жазу мүмкін:

$$p_1 = p_0(1 + \alpha_p \cdot t_1) \quad \text{және} \quad p_2 = p_0(1 + \alpha_p \cdot t_2)$$

Бұл теңдікті бір – біріне мүшеме – мүше бөлсек:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1 + \alpha_p t_1}{1 + \alpha_p t_2} \quad \text{немесе} \quad \text{бұдан} \quad \alpha_p = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2 - p_2 t_1} \quad \text{келіп}$$

шығады.

Жұмыс барысы:

1. Барометрге қарап атмосфера қысымы p_0 жазып алынады.
2. Өлшеп алынған t_1 температура және $p_1 = p_0 \pm h$ арқылы табылған шамалар кестеге жазылады.
3. II–плитка жәрдемінде су I және II түтіктердегі сұйық денгейі 5-8 см ге айырмашылық еткенше жылытылады және p_2 , t_2 лер табылып, бұлар да кестеге жазылады.

4. Бұл тәжірибе кемінде 3 рет қайталанып, алынған мәндерден пайдаланып $a_p = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2 - p_2 t_1}$ тендеу жәрдемінде a_p табылады. Нәтижелердің орташа мәні, тәжірибенің абсолют және салыстырмалы қателіктері есептеледі.

Тәжірибелер №	Атмосфера қысымы, $p_0, \frac{H}{M^2}$	t_1 К	h_1 м	p_1 Н/м ²	t_2 К	h_2 м	p_2 Н/м ²	α_p К ⁻¹	$\Delta_{\alpha p}$ К ⁻¹	N %
1										
2										
3										

?

1. Газдердің қасиеттерін түсіндір. Молекула-кинетикалық теория бойынша идеал газ не?
2. Идеал газ заңдарынан Бойль-Мариотт, Гей-Люссак және Шарль заңдарын түсіндір.
3. Газ термометрі және басқа лаборатория термометрлерінің түзілуі және олардың істеу принциптерін түсіндір.
4. p_0 ды қатынастырмай, a_p ны анықтау формуласын жазып бер.
5. Жұмыстың орындалуын айтып бер.

АУАНЫҢ ІШКІ ҮЙКЕЛІС КОЭФФИЦИЕНТІ ЖӘНЕ МОЛЕКУЛАЛАРДЫҢ ЕРКІН ӨТУ ЖОЛЫНЫҢ ҰЗЫНДЫҒЫН АНЫҚТАУ

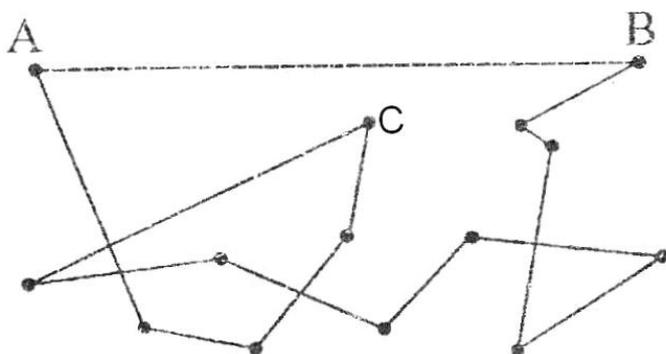
Жұмыстың мақсаты: Арнайы аспап жәрдемінде ауаның ішкі үйкеліс коэффициенті және молекулалардың еркін өту жолының ұзындығын анықтау

Қажетті құралдар: 1.Штативке орналастырылған арнайы қондырғы. 2.Секундомер. 3.Дәрежеленген шиша стакан. 4.Дәрежеленбеген шиша стакан. 5. Таразы. 6.Термометр. 7.Барометр.

Теориялық негіздеме

Газды әлі де идеал деп санаймыз, яғни оның молекулаларының арасында соқтығысулардан басқа өзара

әрекеттесулер жоқ, басқа күштердің әсері жоқ, сондықтан олар соқтығысулар арасында бірқалыпты және түзу сызықты қозғалады. Соқтығысу мезетінде молекуланың қозғалыс бағыты өзгереді және ол одан әрі тағы да бір қалыпты және түзу сызықты қозғалады. Газдағы молекуланың қозғалыс траекториясы сынық сызық тәрізді болады (14-сурет). Молекуланың іргелес екі соқтығысулар арасында өтетін қашықтығы *еркін өту ұзындығы* деп аталады.



14- сурет

Газдағы молекулалардың саны орасан зор болатындықтан, соқтығысуларды бір қалыпты түрде өтеді деп айта алмаймыз, молекулалардың сынық сызықты траекториясының түзу сызықты бөліктері де сондықтан түрліше болады. Сондықтан да біз үшін маңыздысы еркін өту жолының орташа ұзындығы. Дәл осы тәрізді молекулалардың бірлік уақыттағы соқтығысулар саны да түрліше болады, сондықтан бұл шаманың да тек орташа мәні жайлы ғана айтатын боламыз.

Өзара байланысты осы екі шама—орташа еркін өту жолы мен бірлік уақыттағы орташа соқтығысулар саны - газ молекулаларының соқтығысу процесінің басты сипаттамалары болып табылады. Жоғарыда аталып кеткен тасымалдау құбылыстарының жедел өтуіне кеселін тигізетін міне, осы молекулалар арасындағы соқтығысулар саны болып табылады. Молекуланың газ көлемінің берілген екі нүктесінің арасында жүріп өтетін жолы соқтығысулар санына тәуелді болады. 14-суреттен көріп отырғандай, молекуланың А және В нүктелерінің арасында жүріп өткен жолы оларды қосып тұрған АВ түзуден көп үлкен болады.

Молекулалы - кинетикалық теория жүйесінің күйін анықтайтын термодинамикалық (макроскопиялық) параметрлер (Р - қысым, Т- температура, V – көлем) мен микроскопиялық параметрлер (молекуланың өлшемі - диаметрі, массасы, орташа жүгіру жолы, жылдамдығы және т.б.) дің өзара қатынасын (байланысын) көрсететін аналитик өрнекті құрауда қажетті роль ойнайды.

Газ молекулалары тәртіпсіз қозғалыстары және өзара соқтығысулары нәтижесінде олар бір жерден екінші жерге орын ауыстыруда бірер қима ауданы арқылы ол немесе бұл шаманы (жылу өткізгіштікте энергияны, ішкі үйкелісте – импульсты және диффузия құбылыстарында массаны) алып өтеді. Жалпы алғанда, орын ауыстыру құбылысы болуы үшін жоғарыда айтылған шамалардың мәндері тексеріліп жатқан кеңістіктің түрлі жерлерінде, (бөліктерінде, қабаттарында) түрліше болуы, яғни бұл шамалардың градиенттері бар болуы қажет.

Газдардан тұратын жүйедегі бірер көлемде температура тепе – теңдігінің жүзеге келуі немесе осы кеңістік (көлем)нің түрлі бөліктерінде молекулалар концентрацияларының теңесуі, яғни екі түрлі газ молекулаларының өзара араласып бір текті ортаға айналуы, газ қабаттарындағы түрлі жылдамдықтардың теңесуі және т.б. процесстердің барлығы молекулалардың үздіксіз өзара соқтығысуы және тәртіпсіз қозғалысының нәтижесі болып есептеледі. Бұл жерде төмендегіні жазу қажет: молекулалардың тәртіпсіз қозғалысындағы жылдамдығы өте үлкен болуына қарамай, олардың өзара соқтығысуы және тәртіпсіз қозғалысы нәтижесінде газ қысымы шамамен бір атмосфера болғанда орын ауыстыру құбылыстары өте жай болатыны тәжірибелерден белгілі.

Молекулалар өз қозғалысы барысында бірер аралықты өзара соқтығысусыз (эсерсіз) еркін басып өтеді. Бұл (қашықтық) аралық молекулалардың **еркін өту жолының ұзындығы** деп аталады. Оның шамасы молекулалардың саны өте дәрежеде көп және тәртіпсіз қозғалыс жасап жатқандығы нәтижесінде әр түрлі болады және жағдай (P - қысым, T - температура және т.б.)ға қарап өзгеріп тұруы да мүмкін. Осы себепті еркін өту жолының мәні емес, бәлкім оның орташа мәні $\langle \lambda \rangle$ жайлы айту орынды. Дәл осындай уақыт бірлігі ішінде молекулалардың орташа соқтығысулары саны $\langle z \rangle$ жайлы да пікір жүргізу мүмкін. Газ молекулаларының өзара эсер процесін сипаттауда бір – бірлері мен өзара байланысты болған $\langle z \rangle$ және $\langle \lambda \rangle$ шамалары қажетті роль ойнайды. Газ көлеміндегі молекулалардың екі А және В нүкте аралығын өтудегі түзу сызықтан құралған қашықтық молекуланың сынық сызықтан құралған шын жолынан бірнеше есе кіші болады (14-суретке қараң). Суреттегі АСВ және т.б. бағыттар өзара эсер нәтижесінде молекула жылдамдығыныңда бағыты жағынан және оның мөлшер жағынанда өзгеруін көрсетеді.

Молекулалар бір – біріне ұрылғанда олардың центрлері жақындасуы мүмкін болған минимал ϵ қашықтық **молекуланың эффектив диаметрі** деп аталады, ол жалпы алғанда соқтығысатын молекулалардың толық энергиясына, қозғалыстағы молекуланың кинетикалық энергиясына және температурасына байланысты болады. Кинетикалық энергия қанша үлкен болса, ϵ сонша кіші болады.

Егер t уақыт арасында молекуланың өткен жолы $\langle u \rangle t$, соқтығысулар саны $\langle Z \rangle t$ болса, ол күйде орташа еркін өту жолының ұзындығы

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle U \rangle \cdot t}{\langle Z \rangle \cdot t} = \frac{\langle U \rangle}{\langle Z \rangle}$$

ге тең болады, мұнда $\langle u \rangle$ - молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығы, $\langle Z \rangle$ тың $4\sqrt{2}\pi r^2 \langle U \rangle n$ ге теңдігі есепке алынса,

$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle U \rangle \cdot t}{\langle Z \rangle \cdot t} = \frac{\langle U \rangle}{\langle Z \rangle}$ төмендегіше жазылады:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n}$$

мұнда r – молекуланың эффектив радиусы, n – бірлік көлемдегі молекулалар саны. Егер молекула радиусы орнына $\frac{\sigma}{2}$ өрнекті (σ – молекуланың эффектив диаметрі, πr^2 – болса эффектив қимасы) қойсақ, $\langle \lambda \rangle$ ның молекуланың σ эффектив диаметріне және n молекулалар концентрациясына байланысы төмендегіше болады:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n}$$

болады. $\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n}$ тен көрінеді, $\langle \lambda \rangle$ ның тәжірибеден анықталған мәндері белгілі болғанда σ ны анықтау қиын емес. Бірақ бұл анықталған мән шамалы сипатқа ие. Өйткені, молекулалы – кинетикалық теорияға көре $\langle u \rangle$ және $\langle Z \rangle$ тарды және басқа макропараметрлерді анықтауда өте көп шамалар айтылған: молекула (атом)лы шар, екі молекуланың өзара соқтығысуын болса серпінді соқтығысудан құралған деп қаралған.

Негізінде молекулалы шар емес, соқтығысу серпінді болмайды. Молекулалар атом ядролары және электрондардан құралған күрделі жүйе болып саналады. Молекулалар бір – біріне өте жақын келгенде ($\sigma \sim 10^{-10}$ м) өзара әсер күштерінің характері да өзгереді, итеру күші тартылыс күшіне қарағанда артып кетеді; нәтижеде молекула жылдамдығының бағыты өзгереді.

Тәжірибеде $\langle \lambda \rangle$ ны анықтау үшін ортаның η ішкі үйкеліс коэффициентінің ортаның ρ тығыздығына, молекуланың $\langle u \rangle$ орташа арифметикалық жылдамдығына және $\langle \lambda \rangle$ еркін өту жолына байланысты болған

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \lambda \rangle \langle u \rangle$$

өрнегінен пайдаланамыз. $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle \lambda \rangle \langle u \rangle$ формулаға ρ және $\langle u \rangle$ дың төмендегі

$$\rho = \frac{\mu P}{RT}, \quad \langle u \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

өрнектерін қойсақ,

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{\mu P}{RT} \langle \lambda \rangle \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

қатынасты түземіз, мұндағы R – универсал газ тұрақтысы, μ – мольдік масса және T – абсолют температура.

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{\mu P}{RT} \langle \lambda \rangle \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \text{ формуладан } \eta \text{ ны анықтауда ұзындығы } l \text{ және}$$

радиусы r болған капилляр түтіктен ағып өткен газ көлемінің капилляр түтік ұштарындағы Δp қысым айырмашылығына, осы көлемді ағып өту үшін кеткен τ уақытқа байланысты болған Пуазейль формуласынан пайдаланамыз:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8Vl} \tau$$

$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8Vl} \tau$ формула ағым тек ламинар (латынша “ламина” қабатты) болғанда ғана орынды болады.

Жалпы сұйықтықтарда екі түрлі ағын бар: ламинар және турбулент. Егер ағынның жылдамдығы немесе оның көлденең қимасы артса, сұйықтық жылдамдығының ағын бағытына тік болған құраушылары пайда болады, бұл уақытта сұйық ағынының әр бір нүктесінде бөлшектер жылдамдығы тәртіпсіз өзгеріп тұрады.

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{\mu P}{RT} \langle \lambda \rangle \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \text{ қатынастан пайдаланып, } \langle \lambda \rangle \text{ үшін төмендегі}$$

өрнекті жазамыз:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{3\eta}{2p} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}}$$

Молекулалы – кинетикалық теориядан белгілі болған $p_0 = p_0 k T_0$ және $p = p k T$ қатынастардан пайдаланып, молекулалардың p концентрациясы үшін

$$n = n_0 \frac{pT_0}{p_0T}$$

өрнекті жазып, $\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}n}$ формулаға алып барып қойсақ,

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} n_0 p T_0} p_0 T$$

өрнек келіп шығады, мұндағы n_0 – Лошмидт саны, p_0, T_0 – дәл ретте қалыпты жағдайдағы қысым және температура. Бұл өрнектен молекуланың эффектив диаметрі

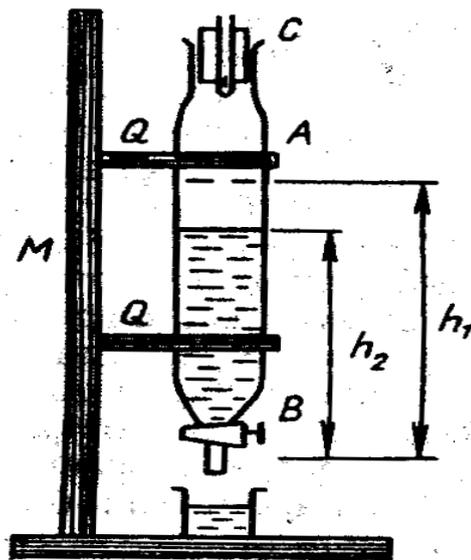
$$\sigma = \sqrt{\frac{p_0 T}{\sqrt{2\pi} n_0 p T_0 \langle \lambda \rangle}}$$

екендігі келіп шығады, демек, $\langle \lambda \rangle$ ны тәжірибе жолымен анықтап,

$\sigma = \sqrt{\frac{p_0 T}{\sqrt{2\pi} n_0 p T_0 \langle \lambda \rangle}}$ дан σ ны есептеп табу мүмкін.

Бұл жұмыста пайдаланылатын қондырғының принципиал схемасы 15 - суретте көрсетілген. Қондырғы М ағаш бағанға арнайы Q ілгектер жәрдемінде бекітілген А шиша баллоннан құралған болып, оның аузы С шиша капиллярлы тығынмен бекітілген. Баллонның төменгі бөлігіне болса, В кранды шиша түтік қосылған. Егер А баллонның бір бөлігін сумен толтырып, В кран ашылса, одан бастапқы уақытта су үздіксіз ағып, кейін тамшылай бастайды. Бұған себеп С капилляр түтіктің сыртқы және ішкі ұштарында жүзеге келген Δp қысым айырмашылығы нәтижесінде капиллярда ауа ағымының пайда болуы болады. Су тамшылағаннан бастап, бірер τ уақыт барысында В краннан ағып түскен сұйықтың V көлемін және капилляр түтік ұштарындағы Δp қысым айырмашылығын өлшеп, $\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8Vl} \tau$ өрнектен $\langle \lambda \rangle$ ның шамасын есептеп табу мүмкін. Кейін $\langle \lambda \rangle$ ны белгілі деп алып,

$\sigma = \sqrt{\frac{p_0 T}{\sqrt{2\pi} n_0 p T_0 \langle \lambda \rangle}}$ формуладан молекуланың σ эффектив диаметрін есептеп табылады.



15- сурет

Жұмысты атқару тәртібі:

1. А баллонның $\frac{3}{4}$ бөлігін сумен толтырылады.
2. Дәрежеленген шиша стаканның m_1 массасы таразыда тартып алынады.
3. Екінші дәрежеленбеген шиша стаканды В кранның астына қойып, кран ашылады. Су тамшылай бастағаннан бастап, кран астындағы стакан массасы алдыннан таразыда өлшеп алынған стаканмен алмастырылады және осы уақыттан бастап секундомерді жүргізіп, А баллондағы судың h_1 деңгейі М бағанға орнатылған шкаладан белгілеп алынады.
4. Стакандағы судың көлемі шамамен $50-80 \text{ см}^3$ болғанда кран В жабылады, секундомер тоқтатылады және А баллондағы судың кейінгі h_2 деңгейі өлшеп алынады және секундомердің көрсетуінен осы судың В кран арқылы ағып шығу уақыты τ анықталады.
5. Суы бар стаканның m_2 массасы таразыда өлшеп, ағып түскен судың массасы $m = m_2 - m_1$ өрнектен анықталады.
6. Судың массасы m ге көре оның көлемі V табылады. Міне осы көлем кран В ашылғанда С түтік арқылы τ уақыт ішінде баллонға кірген ауаның да көлемі болып есептеледі.
7. ΔP қысым төмендегі пікірлерге көре есептелінеді: В кран жабық болғанда l ұзындықтағы С капилляр түтіктің екі ұшындағы қысым p атмосфера қысымынан құралған.

В кран ашылғанда ағып шығып тұрған сұйық үстіндегі ауа көлемі артады, соның нәтижесінде оның қысымы p атмосфера қысымынан бірер мөлшерде кем болады (P_1 болады). Нәтижеде капилляр арқылы ауа сырттан жай сызып кіреді. Түтіктер ұштары

арасындағы жүзеге келген $P-P_1$ қысым айырмашылығы гидростатикалық қысым ρgh_1 мен өзара тепе – теңдікте болғанда $\Delta P_1=P-P_1=\rho gh_1$ немесе $P=P_1+\rho gh_1$

болады.

Сұйық бағаны h_2 ге кемігенде оның үстіндегі ауа қысымы P_2 болып, ол түтіктің жоғарғы ұшындағы атмосфера қысымы P дан кем болады. Бұл қысымдар айырмашылығы $P-P_2$ сұйықтың (су)дың ρgh_2 гидростатикалық қысымына тең болғанда тепе – теңдік болады, яғни

$$\Delta P_2=P-P_2=\rho gh_2$$

болады, ауа ағымы ыдысқа үздіксіз ретте кіріп тұрғандағы процесс квазистатик болғандығы себепті ΔP_1 және ΔP_2 лер бір – бірінен оншалықты үлкен айырмашылық қылмайды. Бұндай күйде ΔP ны ΔP_1 және ΔP_2 лердің орташа арифметикалық мәніне тең деп алу мүмкін.

$$\Delta p = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{2} = \frac{h_1 + h_2}{2} \rho g$$

бұл жерде ρ -Т температурадағы сұйықтың тығыздығы. V және T ларды білген күйде $\Delta p = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{2} = \frac{h_1 + h_2}{2} \rho g$ ден есептеп табылған ΔP

ның мәнін $\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \nu l} \tau$ ге қойып, ауаның ішкі үйкеліс коэффициенті η есептеп табылады.

8. Тәжірибе 3 - 4 рет қайталанады және η ның орташа мәні анықталынады.

9. η ның мәнін білген күйде барометрден P атмосфера қысымын, термометрден T ауа температурасын анықтап, $\langle \lambda \rangle = \frac{3\eta}{2\rho} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}}$

өрнектен молекулалардың $\langle \lambda \rangle$ еркін өту жолының орташа ұзындығын және $\sigma = \sqrt{\frac{p_0 T}{\sqrt{2} \pi n_0 p T_0 \langle \lambda \rangle}}$ өрнектен σ эффектив диаметрін

есептеп табылады. Бұл формуладағы n_0 Лошмидт саны, P_0, T_0 лер дәл ретте қалыпты жағдайдағы қысым және температуралар. Олар лабораториядағы барометр және термометр көрсетуінен жазып алынады. Бұлар төмендегідей мәндерге ие: $n_0=2,69 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, $P_0=1\text{атм.}$, $T_0=273\text{К.}$, $\mu=0,029 \text{ кг/моль}$, $r=0,1784 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $T=(273+t)\text{К}$
 $l=6,05 \cdot 10^{-2}$, $R=8,31 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль}$

10. η ны анықтауда өлшеу қателігі есептеп табылады.

Алынған нәтижелер төмендегі кестеге жазылады:

Тәжірибе	T	h ₁	h ₂	Δp	V	λ	Δλ	η	σ	Δσ	
----------	---	----------------	----------------	----	---	---	----	---	---	----	--

№											
1											
2											
3											
Орташа мәндер											

11. Соңғы нәтижелерді төмендегіше бейнелеңіз.

$$\lambda = \lambda \pm \Delta \lambda \quad \sigma = \sigma \pm \Delta \sigma$$

12. Алынған нәтижелерді λ және σ ның кестедегі мәнімен салыстырыңыз.

?

1. Еркін өту жолының ұзындығы не және ол қандай физикалық шамаларға байланысты?

2. Молекуланың эффектив диаметрі температураға байланысты ма? Не үшін?

3. Еркін өту жолының орташа мәні үшін

$$\langle \lambda \rangle = \frac{3\eta}{2\rho} \sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}}$$

формулань келтіріп шығарыңыз.

4. Еркін өту жолының орташа мәні қандай шамаларға байланысты болады?

5. Ауаның капилляр арқылы сызып өту процесін түсіндіріңіз.

6. Газдар ішкі үйкеліс коэффициентінің қысымға байланысты болмауын қандай түсінтіру мүмкін?

СҰЙЫҚТЫҢ КӨЛЕМДІК ҰЛҒАЮ КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Жылулық әсерінде сұйықта болатын көлемдік өзгерулерді тәжірибеде тексеріп, көлемдік ұлғаю коэффициентін анықтау.

Қажетті құралдар: қондырғы, су қайнатқыш, электроплитка, кесе, тексерілетін сұйық.

Теориялық негіздеме

Газдарда молекула аралық Ван-дер-Ваальс күштері төменгі температуралар мен жоғары қысымдарда ғана байқалады, ал сұйықтарда бұл күштер негізгі рөл атқарады. Қалыпты жағдайда, сұйықтың меншікті көлемі газбен салыстырғанда мың есеге жуық

кіші, ал, керісінше, оның молекулааралық Ван-дер-Ваальс қысымы, газдың ішкі қысымымен салыстырғанда, өте үлкен:

$$P' = \frac{\alpha}{V^2}$$

Сондықтан, бір моль сұйық үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуі былай өрнектеледі:

$$\frac{\alpha}{V_\mu} (V_\mu - b) = RT$$

яғни, сыртқы қысым P ескерілмейді. Бұл ішкі қысым сұйық молекулаларының оның бетіне шығу жұмысын есептеу арқылы анықталады. Себебі, молекулалардың шығу жұмысы сұйықтың булану жылуын анықтайды, ал ол молекулааралық қысымды өлшеуге мүмкіндік береді. Есептеулерден судың ішкі қысымы шамамен $P' \approx 11000 \text{ атм.}$ болатыны анықталған.

Сұйықтың сығылғыштығының аздығы, оның молекулалық қысымының көптігімен түсіндіріледі. Сығылған сұйық көлемінің абсолют кемуі - dV , оның бастапқы V_0 көлемі мен dP қысымының өсуіне тура пропорционал, яғни, мына өрнекпен анықталады:

$$dV = -\beta V_0 dP$$

Мұнда пропорционалдық коэффициент β сұйықтың сығылғыштық коэффициенті деп аталады. Жоғарғы теңдеуден:

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP}$$

Өрнектегі минус таңба сығылған кездегі сұйық көлемінің кемитіндігін білдіреді. Сұйықтардың сығылғыштық коэффициенті 10^{-5} - 10^{-6} 1/атм. мәндері аралығында өзгереді. β - қысымға да температураға да тәуелді болғандықтан, оның қандай қысым мен температурада өлшенгені көрсетілуі тиіс. Қысым артуына байланысты β -ның мәні кемиді, ал температураның өсуіне сәйкес оның біршама артатындығы байқалады. Себебі, сұйық қысымның артуы, оның молекулаларын ара қашықтығының кемуіне, ал температураның жоғарылауы сұйық көлемінің ұлғаюына, яғни, сұйық молекулаларының ара қашықтығының өсуіне әкеледі.

Осы келтірілген, сұйықтың сығылғыштық ерекшеліктерін, Ван-дер-Ваальс теңдеуінен шығарып алуға болады. Себебі, күй теңдеуі қысым мен температураны байланыстырады, ал одан сығылғыштық

коэффициентін есептеп шығару қиын емес, тек теңдеуге кіретін a , b шамалары температураға байланысты өзгермелі тұрақтылар екенін ескерген жөн. Тәжірибелердің нәтижелері сығылғыштық коэффициентін β — анықтайтын мынадай өрнек алуға мүмкіндік береді:

$$\beta = \frac{A}{V(P + P')}$$

мұнда A температураға байланысты өсетін функция, P — сыртқы

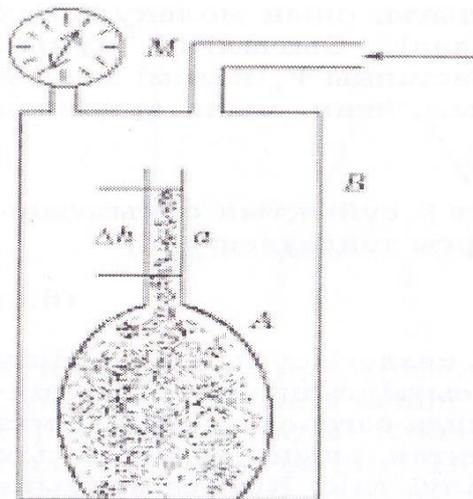
қысым, $P' = \frac{\alpha}{V_\mu^2}$ молекулааралық ішкі қысым. Бұл теңдеу сығылғыштық коэффициентінің β температураның өсуіне байланысты артатынын және қысымның өсуіне байланысты кемитінін көрсетеді.

Сұйықтың сығылғыштығын өлшейтін құралдар мен қондырғылар пьезометрлер деп аталады. Қарапайым пьезометрлердің бірі 16-суретте көрсетілген. Зерттелетін сұйық, жіңішке түтігі бар A ыдысқа құйылып, қысымын арттыра алатын B камераға орналастырылады. Ондағы қысым M манометрмен өлшенеді. Түсірілген қысымның нәтижесінен A ыдыстағы сұйық көлемін кішірейтеді, оны түтікшедегі сұйық денгейінің Δh шамаға төмендеуін көрсетеді.

Сонда көлемнің кемуі $\Delta V = -S\Delta h$ (S - түтіктің көлденең қимасының ауданы), ал қысымның артуы манометрмен өлшенеді. Сұйықтың

бастапқы көлемі V_0 , олай болса $\beta = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP}$ өрнегі арқылы изотермиялық сығылғыштық коэффициенті оңай табылады, яғни,

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP}$$



16- сурет

Төменде кейбір сұйықтардың сығылғыштығы туралы мәліметтер келтірілген.

Сұйық аттары	t, °C	$\beta\left(\frac{1}{\text{Па}}\right)$
Эфир	0	$1,45 \cdot 10^{-9}$
Этил спирті	0	$0,75 \cdot 10^{-9}$
Бензол	18	$0,91 \cdot 10^{-9}$
Керосин	16,5	$0,68 \cdot 10^{-9}$
Су	15	$0,49 \cdot 10^{-9}$
Сынап	20	$0,038 \cdot 10^{-9}$

Енді сұйықтардың жылулық ұлғаюын қарастырайық. Температураның өсуіне байланысты сұйық көлемін ұлғайтады. Ол V_0 бастапқы көлемге және dT температура өсімшесіне тура пропорционал. Сонда, $dV = \alpha V_0 dT$

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dT}$$

Идеал газдар үшін $\alpha = \frac{1}{T}$ және қалыпты температурада $\alpha = \frac{1}{273} = 3,66 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$, ал сұйықтар үшін бұл коэффициент газдармен салыстырғанда едәуір кіші және температураға байланысты кеміп отырады. Бұны төмендегі кестедегі кейбір сұйықтар үшін бөлме температурасында анықталған α мәндерінен байқау қиын емес.

Сұйық	$\alpha, \frac{1}{K}$
Эфир	$1,63 \cdot 10^{-3}$
Бензол	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Этил спирті	$1,08 \cdot 10^{-3}$
Глицерин	$0,53 \cdot 10^{-3}$
Су	$0,21 \cdot 10^{-3}$
Сынап	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Пісте майы	$0,72 \cdot 10^{-3}$

Айтылғандардан қысымның артуына байланысты көлемдік ұлғаю коэффициентінің кемитіндігі, ал температураның өсуіне байланысты, оның артатындығы байқалады.

Күйлердің сәйкестік заңынан, барлық сұйықтар үшін, бірдей келтірілген температураларда, олардың жылулық ұлғаю және сығылғыштық коэффициенттері бірдей мәндерге ие болулары тиіс. Тәжірибелер бұл қорытындының, Ван-дер-Ваальс теңдеуінен шығатын басқа салдарларға қарағанда, өте дұрыс орындалатынын көрсетеді.

Сұйықтардың сығылғыштық және көлемдік ұлғаю коэффициенттерінің арасында белгілі байланыс болатыны мынадай ой жүгіртуден туындайды. Мысалы, сұйықтың V көлемін қыздыру арқылы ұлғайтатын болса, оны сыртқы қысымды арттыру арқылы, сол көлемге қайта әкелуге болады. Енді осы екі шаманың арасындағы байланысты тағайындайық. Заттың күйін сипаттайтын макроскопиялық параметрлердің (P , V , T) арасындағы байланыс күй теңдеуімен сипатталатыны белгілі

$$P = f(V, T)$$

Бұның түрі қандай болмасын, сұйықты V және T шамаларымен, анықталатын бір күйден, $V + dV$ және $T + dT$ шамаларымен анықталатын екінші күйге ауыстыру кезіндегі dP қысым өзгерісі осы күйдің өзгеру жолына тәуелсіз. Олай болса:

$$dP = \left(\frac{dP}{dV} \right)_T dV + \left(\frac{dP}{dT} \right)_V dT,$$

мұндағы dV және dT мәндерін қысым өзгерісі болмайтындай етіп таңдау қиын емес. Осыдан $dP = 0$ кезде

$$\frac{dV}{dT} = - \left(\frac{dP}{dT} \right)_V \cdot \left(\frac{dP}{dV} \right)_T$$

Бұл қатынас қысым тұрақты ($P = \text{const}$) кездегі көлемнен температура арқылы алынған дербес туындыға, яғни, $\left(\frac{dV}{dT} \right)_P$ -ға тең. Екінші жағынан,

$$\frac{dP}{dV} = \frac{1}{dV/dP}$$

Бұлардан дербес туындылар арасындағы байланыс мына түрде жазылады:

$$\left(\frac{dP}{dT} \right)_V \cdot \left(\frac{dV}{dP} \right)_T \cdot \left(\frac{dT}{dV} \right)_P = -1,$$

Бұл теңдеуді тәжірибеде өлшенетін көлемдік ұлғаю және сығылғыштық коэффициенттері кіретіндей етіп жазуға да болады:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_P \quad \text{және} \quad \beta = - \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dP} \right)_T$$

$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_P$ және $\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dP} \right)_T$ өрнектерінен қарастырылып отырған коэффициенттердің арасындағы қатынас мына теңдеумен анықталатындығы шығады:

$$\left(\frac{dP}{dT} \right)_V = -\frac{\alpha}{\beta}.$$

Мысалы, сынап үшін қалыпты жағдайда $\alpha = 2 \cdot 10^{-4} K^{-1}$, ал $\beta = 4 \cdot 10^{11} Pa^{-1}$. Сонда $\frac{\alpha}{\beta} = 5 \cdot 10^{-6} \frac{Pa}{K}$, яғни, сынаптың қысымы қатты артып отыр. Сондықтан, аса қыздырылған сынапты термометрлер тез жарылып кетеді.

Денелердің жылулықтан ұлғаю коэффициенті дилатометрлер деп аталатын (17-сурет) аспаптар жәрдемінде өлшенеді. Құрылысы жағынан өте қарапайым дилатометр ішіне құйылған сұйық көлемінің өзгерісін анықтауға негізделген. Ол капилляр түтікшесі бар балқытылған шыныдан жасалған үлкен ыдыстан және термометрден тұрады. Зерттелетін сұйық ыдысқа құйылып қыздырылады. Зерттелетін сұйық капилляр түтікті ыдысқа сондай деңгейге дейін құйылады, мұнда сұйық түтіктің да бір бөлігін толтырсын.

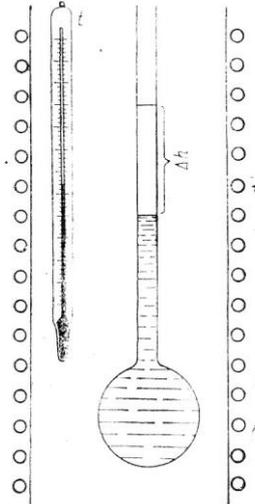
Ыдыс ысытқыш ішінде орналастырылып жылытылса, жылулықтан ұлғаю нәтижесінде капилляр түтіктегі деңгей Δh қа көтеріледі. Осыдан сұйық көлемінің өзгерісі мына формуламен табылады: $\Delta V = S \cdot \Delta h$. Термометрдің бастапқы және соңғы көрсетулері сұйықтың қанша температураға қыздырылғанын береді. Сұйықтың бастапқы көлемі, оның ыдыстағы массасы мен тығыздығы арқылы оңай анықталады, яғни, $V_0 = \frac{m}{\rho}$.

Термометр жәрдемінде жылулықтың өзгеруі Δt және бастапқы көлем V_0 ды білген күйде көлемдік ұлғаю коэффициентін төмендегі формула жәрдемінде табу мүмкін:

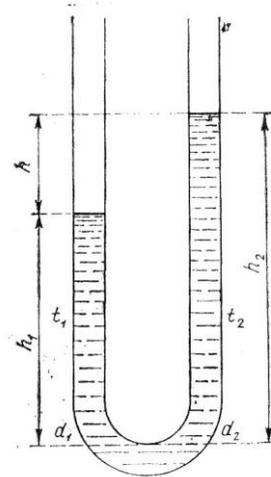
$$\alpha = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{S \cdot \Delta h}{V_0 \cdot \Delta t}$$

Мұнда S – капилляр түтіктің көлденең қимасының ауданы. Ол, түтікшенің белгілі бір l ұзындығын толтыратын сұйық массасымен есептеледі, яғни, $s = \frac{m}{\rho \cdot l}$. Температура өзгерулеріндегі ыдыс көлемінің өзгерісі есепке алынбайтындығы бұл әдістің негізгі кемшілігі болып табылады. Сол үшін бұл методтан пайдаланғанда тиісті түзету енгізу керек. Көлемдік ұлғаю коэффициентін анықтаудың бірінші рет Дюлонг және Пти жағынан ұсынылған және Реньо толықтырған

басқа – классикалық методы бар. Бұл метод қатынас ыдыс методы болып есептелінеді. Бұл метод қатынас ыдыстарда түрлі текті сұйықтардың тепе – теңдікте болу заңына негізделген. Тексерілетін сұйықты U – тәрізді ыдысқа құйылады (18 – сурет). Ыдыстың бір тірsegін суық күйде (үй температурасында) сақтап, екінші тірsegі жылытылады. Нәтижеде ыдыстың екі тірsegінде бірдей сұйық екі түрлі тығыздыққа ие болады. Қатынас ыдыстарда тірсектердегі сұйықтың биіктігі тығыздыққа кері пропорционал болып, түтіктің ұлғаюына байланысты емес.



17-сурет



18-сурет

Сонымен, ыдыстың ұлғаюы сұйықтың ұлғаюына әсер көрсетпейді. Сол үшін төмендегіні жаза аламыз:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Мұнда h_1 және ρ_1 ыдыстың бір тірsegіндегі сұйықтың биіктігі және тығыздығы, h_2 және ρ_2 ыдыстың екінші тірsegіндегі сұйықтың биіктігі және тығыздығы болып есептелінеді. Бізге белгілі, t_1 және t_2 температураларда сұйықтың тығыздықтары түрліше болады:

$$\rho_1 = \frac{\rho_0}{1 + \alpha t_1} \quad \text{және} \quad \rho_2 = \frac{\rho_0}{1 + \alpha t_2}$$

Бұлардан ρ_1 және ρ_2 лердің мәндерін $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ формулаға қойсақ,

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$$

Бұдан
$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}$$

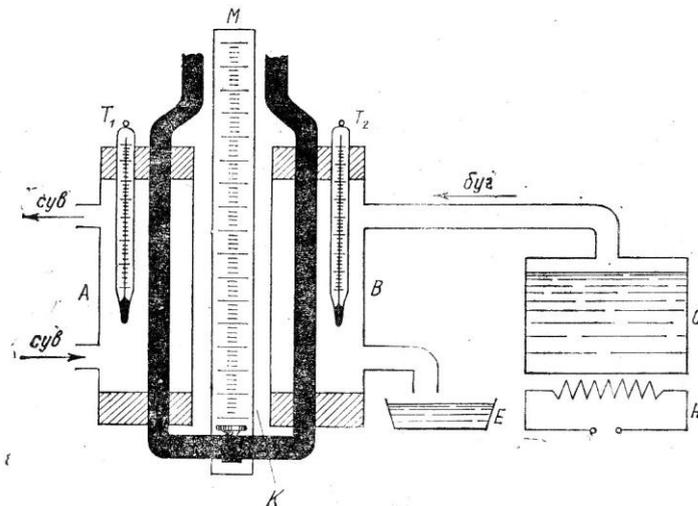
Мұндағы $h_2 - h_1 = h$ қатынас ыдыс тірсектеріндегі сұйық биіктіктерінің айырмашылығы болып есептелінеді, яғни $h_2 = h_1 + h$. Ол уақытта $\alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}$ формуланы төмендегіше жазу мүмкін:

$$\alpha = \frac{h}{h_1 t_2 - (h_1 + h) t_1}.$$

Сұйықтың жылулықтан көлемдік ұлғаю коэффициентін тәжірибеде анықтау үшін арнайы U – тәрізді шиша түтік жұмсалады (19-сурет), оның ішіне тексерілетін сұйық құйылған болады. Ыдыстың әр екі тірсегі А және В цилиндр тәрізді шишаларда орналасқан болып, олардан біреуінің (А) ішінен суық су және екіншісінен (В) бу өтіп тұрады. Қатынас түтік жоғары бөлігінің ортасында миллиметрлерге бөлінген шкала (М) орнатылады. А және В цилиндр ішіндегі су және будың температуралары T_1 және T_2 термометрлер жәрдемінде өлшенеді. С ыдыстағы су Н электроплитка жәрдемінде қайнатылады. В цилиндр ішінде конденсацияланған бу оның төменгі түтігінен Е кесеге түседі.

Жұмыстың орындалу тәртібі:

1. Ең алдымен А және В ыдыстарының жоғарғы және төменгі тығындарының жақсы жабылғанына көңіл бөлу керек. А цилиндрдегі түтіктері ағын суға қосылады. Судың қысымы мынадай таңдалады, А цилиндрдің тығынын итеріп шығарып жібермесін.
2. С су қайнатқыш $\frac{3}{4}$ бөлігіне тең етіп су құйылады және резина түтікпен В цилиндрдің жоғарыдағы ашық түтігіне қосылады. В цилиндрдің төменгі ашық түтігі астына Е кесе орналастырылады.



19-сурет

3. Су U-сияқты түтікке құйылғанда К кран ашық болып, оның әр екі жағындағы су деңгейлері тең болған соң кран жабылады.
4. Су қайнатқыш С ны электр плитка Н үстіне қойып су қайнатылады.
5. Су қайнап, В цилиндрдің төменгі түтігінен шыға бастаған соң 10-15 минут күтіп тұрамыз және өлшеуге кірісеміз. t_1 және t_2 термометрлердің көрсетуі, суық су биіктігі h_1 және сұйықтар биіктігінің айырмасы h тың мәні 0,5 мм анықтықта жазып алынады. Тәжірибе кемінде 3 рет қайталанып
$$a = \frac{h}{h_1 t_2 - (h_1 + h)t_1}$$
 формула жәрдемінде h , h_1 , t_1 , t_2 лердің орташа мәндері арқылы анықталатын сұйықтың жылулықтан көлемдік ұлғаю коэффициенті анықталады. Нәтижелер мына кестеге түсіріледі:

Тәжірибелер	Сұйықтар							
	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$h, \text{м}$	$h_1, \text{м}$	α, K^{-1}	$\bar{\alpha}, \text{K}^{-1}$	$\Delta\alpha, \text{K}^{-1}$	$N, \%$
1								
2								
3								
4								

?

1. Сұйықтың сығылғыштығын және жылулықтан ұлғаю механизмін түсіндіріңіз.
2. Сығылғыштық және көлемдік ұлғаю коэффициенттері қысымға және температураға қандай байланысты?
3. Дилатометриялық метод не?
4. Дюлонг және Пти методтарының теориясын баяндаңыз және
$$a = \frac{h}{h_1 t_2 - (h_1 + h)t_1}$$
 формуланы келтіріп шығарыңыз.
5. Жұмыстың орындалуын, қондырғының түзілісін түсіндіріңіз.

СҰЙЫҚТЫҢ ІШКІ ҮЙКЕЛІС (ТҰТҚЫРЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСЫ) КОЭФФИЦИЕНТІН СТОКС ӘДІСІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Сұйық ішінде денелердің қозғалысымен байланысты болған құбылыстарды күзету және ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау

Қажетті құралдар: 1) ұзындығы 100-150 см болған цилиндр тәрізді шиша ыдыс; 2) тексерілетін сұйық; 3) кішкене металл шарлар; 4) секундомер; 5) сызғыш.

Теориялық негіздеме:

Газ ағыны ХҮ жазықтығына параллель оң бағытта қозғалсын. Ламинарлық қозғалыста оның u жылдамдығы Z осі бойынша өзгеріп отырады және соның себебінен газдың көршілес қабаттарының арасында әсерлесу күштері пайда болады. Осы күштер ішкі үйкеліс күштері деп аталады және олар қабаттар жанасатын ΔS ауданға, газ ағынының жылдамдық градиентіне $\frac{du}{dz}$ тура пропорционал:

$$f = \eta \frac{du}{dz} ds$$

Пропорционалдық коэффициент η - **ішкі үйкеліс коэффициенті** деп аталады және оның өлшем бірлігі пуазейль (Пуаз), 1 Пуаз = 1 Па • с. Жылдамдық градиенті, оның Z осі бойынша өзгеру жылдамдығын сипаттайды. Аққан газ қабаттарының әртүрлі қозғалыстағы реттелген қозғалысына, оның молекулаларының бейберекет жылулық қозғалысы қосылады. Сондықтан, аққан газдың импульсі бірі бейберекет, екіншісі бағытталған қозғалыстарға сәйкес екі құраушыға бөлінеді. Егер температура тұрақты болса, молекула импульсінің бейберекет қозғалысын сипаттайтын құраушысы уақыт бойынша өзгермейді, ал оның импульсінің реттелген қозғалысына сәйкес құраушысы жөнінде бұндай қорытынды жасауға болмайды.

Бізге белгілі, сұйық молекулаларының тығыздығы газ молекулаларының тығыздығына қарағанда бірнеше есе үлкен. Молекулалар арасындағы қашықтық шамамен бір молекуланың диаметріне тең болады, деп ойлау мүмкін. Сұйық молекулалары үшін орташа еркін жүгіру жол қашықтығы өз мағынасын жоғалтады. Сол үшін сұйық молекулалары газдардікіне қарағанда еркін қозғалыс жасай алмайды. Олар көрші молекулалар арасында тербелме қозғалыс жасап, «тұрақты» өмір кешеді, уақты – уақтымен тәртіпсіз ретте өз орнын өзгертіріп тұрады. Сұйық молекулаларының мұндай табиғаты ішкі үйкеліс құбылысына да әсер етеді. Сұйықтарда ішкі үйкеліс уақты – уақтымен өз орнын өзгертіріп, бір қабаттан екінші қабатқа импульс алып өтетін молекулалар есебіне болып өтеді. Молекулалардың мұндай «секіріп» өтуі кемнен – кем болғаны үшін сұйықтардың ішкі үйкеліс коэффициенті газдардің ішкі үйкеліс коэффициентіне қарағанда біраз үлкен болады. Төмен

температураларда бұл айырмашылық сезілерлі дәрежеде болады. Температура көтерілуімен «секіріп» өз күйін өзгертретін молекулалардың саны артады. Ішкі үйкеліс коэффициенті температура артуымен тез кемиді.

Молекулалардың «тұрақты» лық мерзімі қанша кіші болса, яғни «секіріп» өтулер қанша көп болса, сұйық сонша ағу қасиетіне (ішкі үйкелісі сонша кем) ие болады. Демек, сұйықтың ішкі үйкелісі температураға күшті байланысты болады. Бұл байланыс Френкель – Андраде теңдеуі деп аталатын

$$\eta = Ce^{\frac{W}{kT}}$$

өрнек арқылы беріледі. Бұл теңдеуге кіретін C көбейтуші сұйық молекулаларының секіру ұзақтығына, тепе-теңдік жағдайы айналасында тербелістер жиілігіне және температураға байланысты болған шама, W – молекулалардың секіруі үшін қажет болған энергия, яғни молекуланың активтесу энергиясы. Бірақ ішкі үйкелістің температураға байланысы $e^{\frac{W}{kT}}$ көбейтушімен анықталынады. Бұл күй температура артуымен ішкі үйкелістің тез кемейуін көрсетеді. Мысалы, судың ішкі үйкеліс температурасы 0°C дан 100°C ге дейін артқанда $1,8 \cdot 10^{-3}$ тен $2,8 \cdot 10^{-4}$ Па * с ге кемиді.

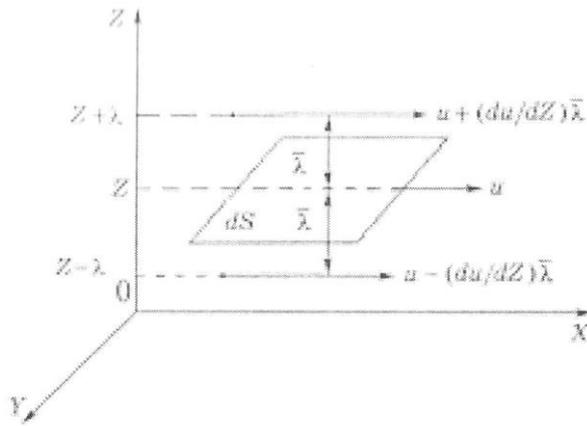
Жылдамдықтары әртүрлі екі газ қабатынан, X осіне параллель және одан z қашықтықтан ΔS аудан бөлініп алынсын (20-сурет). Осы аудан арқылы жылдам молекулалардың импульсі төменгі қабаттағы молекулаларға беріліп, олардың жылдамдығын арттырады. Бұл кезде жылдам молекулалар тежеледі, ал аудан арқылы тасымалданатын, импульс құраушысы молекуланың одан өтер алдындағы жылдамдығымен анықталады.

Молекуланың соңғы соқтығысуы dS ауданынан $\bar{\lambda}$ қашықтықта байқалатыны түсінікті. Сондықтан, төменгі қабаттағы газ ағынынан жоғарғы қабатқа өтетін молекуланың координатасы $z - \bar{\lambda}$, ал жоғарыдан төменгі қабатқа өтетін молекуланың координатасы $z + \bar{\lambda}$. Осыдан, төменнен жоғарыға қарай бір молекула

$$m \left(u - \frac{du}{dz} \bar{\lambda} \right),$$

ал кері қарай $m u$ импульс құраушыларын тасымалдайды. Осы сияқты жоғарғы қабаттан төменге

$$m \left(u + \frac{du}{dz} \bar{\lambda} \right)$$



20-сурет

ал кері mu импульс құраушылары тасымалданады. Сонда бір қабаттан екіншісіне берілетін импульс мөлшері жоғарғы формулалардың айырмасына тең, яғни, $m \frac{du}{dz} 2\bar{\lambda}$. Импульстің толық өзгерісі, осы өрнекті dS ауданнан dt уақытта өткен молекулалар санына көбейткенге тең.

Бұны есептеу үшін табанының ауданы dS , биіктігі молекулалардың орта арифметикалық жылдамдығына тең параллелепипед қарастырылады. Молекулалардың барлық бағыттағы қозғалу ықтималдығының теңдігінен, Z осі бойымен олардың $1/3$ бөлігі және оның жартысы жоғары, яғни, параллелепипедтегі барлық молекуланың $1/6$ бөлігі, ал қалған $1/6$ бөлігі төмен қозғалады. Егер барлық көлемде газдың тығыздығы тұрақты болса, оның концентрациясы n_0 өзгермейді. Олай болса параллелепипедтегі молекулалардың саны $n_0 \bar{v} dS \cdot dt$ өрнегінен табылады, ал dS ауданнан dt уақытта өтетін молекулалар саны мына өрнек арқылы анықталады:

$$\frac{1}{6} n_0 \bar{v} dS \cdot dt$$

Сонда, бір қабаттан екіншісіне тасымалданатын импульстің толық өзгерісі мына формуламен анықталады:

$$dK = m \frac{du}{dz} 2\bar{\lambda} \cdot \frac{1}{6} n_0 \bar{v} \cdot dS \cdot dt$$

ал импульстің бір өлшем уақыттағы өзгерісі арқылы күш табылады:

$$f = \frac{dK}{dt} = \frac{1}{3} m n_0 \bar{v} \bar{\lambda} \frac{du}{dz} dS.$$

Осы формуланы, феноменологиялық түрде тағайындалған, $f = \eta \frac{du}{dz} ds$ өрнекпен салыстыру ішкі үйкеліс коэффициентін береді:

$$\eta = \frac{1}{3} m n_0 \bar{v} \bar{\lambda} = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho$$

$\rho = mn_0$ — газдың тығыздығы, m — бір молекуланың массасы. Есептеулерде dS ауданнан өтетін молекулалардың тек оған нормаль бағытта қозғалғандары ескерілді. Ал егер осы ауданнан оған қиғаш бағытталған молекулаларда өтетіндігі ескерілсе, одан $\frac{1}{6}n_0\bar{v} \cdot dS$ емес $\frac{n_0 \cdot \bar{v} \cdot dS}{4}$ молекула өтетіндігі байқалған. Олай болса тұтқырлық коэффициентінің дәлірек мәні мынаған тең:

$$\eta = \frac{1}{2}\bar{v}\bar{\lambda}\rho$$

Газдың тығыздығы оның қысымына тура, ал $\bar{\lambda}$ оған кері пропорционал болғандықтан тұтқырлық коэффициенті қысымға тәуелсіз. Бұл біріншіден, қысымға байланысты газ молекулаларының концентрациясының кемуімен, екіншіден, $\bar{\lambda}$ -ның өсуіне сәйкес қарсы бағытта тасымалданатын импульс өзгерісінің артуымен түсіндіріледі. Газ тұтқырлығының температураға тәуелділігі орта арифметикалық жылдамдыққа байланысты, яғни,

$$\bar{v} \sim \sqrt{T}, \text{ сондықтан } \eta \sim \sqrt{T}.$$

Бірақ, тәжірибелер η -ның температураға байланысты бұған қарағанда тезірек артатынын көрсетті. Себебі, температура артқанда молекулалардың орта жылдамдығы ғана емес, эффективті диаметрінің кемуіне сәйкес, олардың орта еркін жол ұзындығы да артады. Сонда $\eta = \frac{1}{2}\bar{v}\bar{\lambda}\rho$ өрнекке сәйкес, T -ға байланысты, ішкі үйкеліс коэффициенті де тезірек артады.

Барлық реал сұйықтар азба-көппе ішкі үйкеліске ие. Сұйықтың денені ылғалдаған қабаты дене бетіне жабысып, онымен бірге қозғалады. Бұл уақытта қозғалыстағы қабатпен тыныш тұрған қабат арасында үйкеліс күші пайда болады. Егер шар сұйық ішінде өз ізінде ешқандай концентрлі шеңберлер пайда етпей түссе (шардың өлшемі және жылдамдығы кіші), Стокс заңына орай, оған үйкеліс нәтижесінде төмендегі күш әсер етеді:

$$F = 6\pi v r \eta,$$

Мұнда v - шардың тұрақтыланған қозғалысының жылдамдығы, η - ортаның ішкі үйкеліс коэффициенті, r - шардың радиусы. $F = 6\pi v r \eta$ өрнектегі v , r , F шамалар тәжірибеде жетерліше анық өлшеу мүмкіндігінен сұйықтың ішкі үйкеліс коэффициенті η анықтау мүмкіншілігі келіп шығады.

Бізге белгілі, r радиусты бір текті қатты шар сұйыққа еркін түсіп жатқан болса (шар сұйықта вертикал қозғалса), оған бір уақыттың

өзінде үш күш әсер етеді. Шардың ауырлық күші \vec{P} , Архимед күші \vec{F}_A және сұйықтың ішкі үйкеліс күші $\vec{F}_{\text{үйк}}$. Қозғалыс бағытындағы күштердің тең әсер етушісі бұл күштердің вектор жиындысына тең (21(a)-сурет):

$$\vec{F} = \vec{P} - (\vec{F}_A + \vec{F}_{\text{үйк}})$$

бұл жерде $P = \rho Vg$ ауырлық күші, сұйықтың $F_A = \rho_c Vg$ көтеру күші (Архимед заңына негізделіп) және қозғалысқа қарама – қарсы бағытта ішкі үйкеліс күші әсер етеді. Бұл жерде ρ және ρ_c - тер дәл ретте шар және тексерілетін сұйық тығыздықтары, V – шардың көлемі.

Қозғалыс басында $P > F_A + F_{\text{үйк}}$ болып, дене үдемелі қозғалыс жасайды. Шардың жылдамдығы артқан сайын үйкеліс күші арта барады. Бұл күш $F_\eta = 6\pi r v \eta$ Стокс күштері негізінде анықталады: ***сұйықта қозғалып жатқан шар тәрізді денелер үшін сұйықтың кедергі күші қозғалыс жылдамдығына, шар радиусына және сұйықтың ішкі үйкеліс коэффициентіне пропорционал.***

Шардың сұйық ішіндегі қозғалысын екі басқыштан құралған, деп алу мүмкін. Ол алдын үдемелі қозғалыс жасап, шарға әсер етуші күштердің тең әсер етушісі кеміп барады және соңы нөлге тең болады. Бұл уақытта шар тұрақты жылдамдықпен қозғалады. Тәжірибеде тұрақты қозғалыс жылдамдығын анықтау қажет. Бірақ, шар алдын үдемелі қозғалыста болғаны үшін оның қозғалыс теңдеуі Ньютонның екінші заңына орай төмендегіше жазылады:

$$Vg\rho - Vg\rho_c - 6\pi\eta r v = m \frac{dv}{dt}$$

мұнда $m = \rho \cdot V$ - шардың массасы болып, $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ - шардың көлемі,

бұл уақытта $Vg\rho - Vg\rho_c - 6\pi\eta r v = m \frac{dv}{dt}$ формуланы төмендегіше жазу мүмкін:

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

Бұл теңдеудің шешімі:

$$v(t) = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi\eta r} + C \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

болып, онда C – тұрақты сан, оның мәні мәселенің бастапқы шарттарынан табылады.

$$\tau = \frac{V\rho}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2\rho}{\eta}, \text{ мұнда } \tau - \text{ тұрақты шама болып, } [\tau] = \frac{M^2 \cdot \frac{K\mathcal{L}}{M^3}}{\frac{K\mathcal{L}}{M \cdot C}} = C$$

релаксация уақыты делінеді.

Шардың сұйықтағы қозғалысы тұрақты болғанда $v = const$ және $\frac{dv}{dt} = 0$ болғандығы үшін $\frac{dv}{dt} = \frac{g(\rho - \rho_c)}{\rho} - \frac{6\pi\eta rv}{V\rho}$ теңдеуден $V(\rho - \rho_c)g - 6\pi rv\eta = 0$

бұдан:

$$\eta = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi rv} = \frac{2}{9} \cdot gr^2 \cdot \frac{\rho - \rho_c}{v}$$

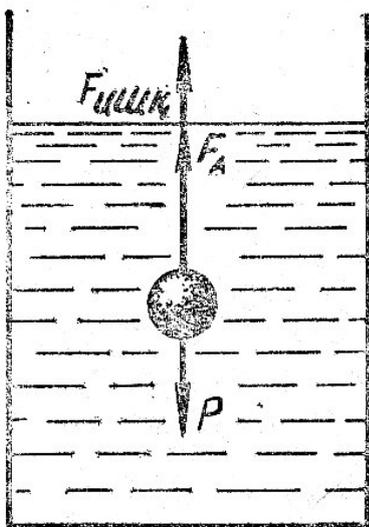
$\eta = \frac{Vg(\rho - \rho_c)}{6\pi rv} = \frac{2}{9} \cdot gr^2 \cdot \frac{\rho - \rho_c}{v}$ теңдеудегі $r = \frac{d}{2}$ (d- шардың диаметрі) және

$$v = \frac{l}{t} \text{ болғандығы үшін } \eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l}$$

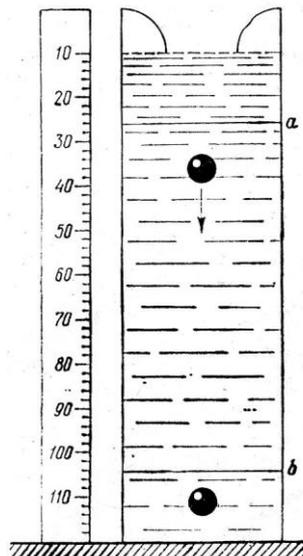
$\eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l}$ теңдеу шар қозғалатын ортаның шекаралары шексіз ұзақтасқан күйде тура болып есептелінеді. Бірақ лабораторияда мұндай ортаны жаратып болмайды және шар қозғалысына ыдыс қабырғаларының әсері сезіледі. Мұндай күйлерде төмендегі анық өрнектен пайдалану қолайлы:

$$\eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l(1 + 1,2 \frac{d}{R})}$$

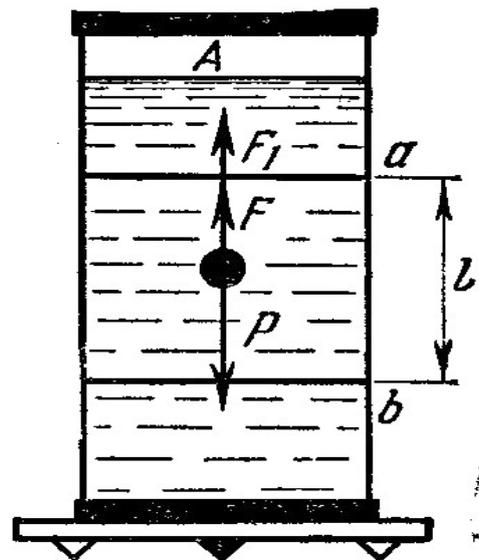
(R- ыдыстың радиусы).



21(a) - сурет



21(б) - сурет



21(в) - сурет

Бізге белгілі, $R = \frac{\rho_c \cdot rv}{\eta} < 10$ болғанда қозғалыс ламинар болады және Стокс заңдары ламинар ағымдар үшін тура. Соның үшін

тәжірибе уақытында шардың сұйық қабаты арасындағы қозғалысы ламинар деп алынуы және оған сенімді болу қажет.

Тексерілетін сұйық (касторка майы немесе глицерин) пен толтырылған цилиндр тәрізді ыдыс вертикал орналастырылады. Цилиндр қабырғасында “а” және “в” белгілер бар (21б,в- сурет). Олар ортасындағы арақашықтық l . Шар цилиндрдың вертикаль осі мен қозғалуы үшін ыдыс аузына воронка қойылады.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Микрометр немесе штангенциркуль жәрдемінде шардың диаметрі 0,01 мм анықтықта 3 рет өлшенеді және орташа мән табылады.
2. Шиша ыдыс қабырғаларына қойылған “а” және “в” белгілер аралығы 1 мм анықтықта өлшеп алынады.
3. Шарларды цилиндр ішіне тастап (бұл шар пенцит жәрдемінде мүмкіндігінше цилиндр осіне және сұйық сыртына жақын тасталады) “а” және “в” белгілер арасындағы қашықтықты өту уақыты t өлшеп алынады.
4. Тәжірибе уақытындағы температураға қарап тиісті кестелерден шардың тығыздығы ρ және сұйықтың тығыздығы ρ_c жазып алынады.
5. Тәжірибе 8-10 дана шар үшін қайталанатын.

6. Тәжірибе нәтижелерін $\eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l}$ және $\eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l\left(1 + 1,2\frac{d}{R}\right)}$

формулаларға қойып ішкі үйкеліс коэффициенті анықталады.

7. Алынған нәтижелер және есептелген қателіктер төмендегі кестеге жазылады:

Тұрақтылар (температура, түсу биіктігі, тығыздықтар)	Шарлар номери	Шарлар диаметрі, d, м	Түсу уақыты, t, с	Ішкі үйкеліс коэффициенті $\eta, \frac{кг}{м \cdot с}$	$\bar{\eta}$	$\Delta\eta$	N, %

8. Бұл тәжірибеде ішкі үйкеліс коэффициентінің температураға байланысында өлшеу мүмкін. Бұл үшін

тұтқыр сұйық орналасқан ыдысты әр түрлі температурадағы суға орналастырып, әр ретте ішкі үйкеліс коэффициенті табылады және оның температураға байланыс графигі сызылады.

?

1. Тұтқыр сұйықта қозғалыстағы денелерге әсер ететін күштерді түсіндіріңіз және қозғалыс теңдеуін жазыңыз.
2. $\eta = \frac{g(\rho - \rho_c)d^2t}{18l}$ формуланы келтіріп шығарыңыз.
3. Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаңыз.
4. Сұйықтың қандай қозғалысы ламинар ағым және қандай қозғалыс турбулент ағым делінеді?
5. Сұйықтың ішкі үйкеліс коэффициенті температураға қандай байланысты және не үшін?
6. Френкель – Андраде формуласын жазыңыз және мазмұнын түсіндіріңіз.

СҰЙЫҚТЫҢ ІШКІ ҮЙКЕЛІС (ТҰТҚЫРЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСЫ) КОЭФФИЦИЕНТІН КАПИЛЛЯР ВИСКОЗИМЕТР ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Белгілі көлемдегі сұйықтың капилляр түтіктен ағып өту уақытын тәжірибеде өлшеп, Пуазейль формуласынан пайдаланып, сұйықтың ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау.

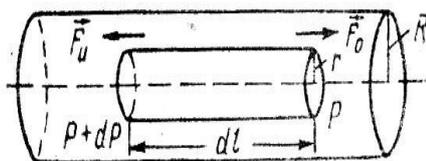
Қажетті құралдар: 1) капилляр вискозиметр орнатылған қондырғы; 2) термостат; 3) термометр; 4) секундомер; 5) тексерілетін және эталон сұйықтар; 6) мензурка.

Теориялық негіздеме:

Сұйықтың ішкі үйкелісін анықтауға мөлшерленген аспаптар *вискозиметрлер* деп аталады. Түзілістері түрліше болған вискозиметрлер бар.

Бұл жұмыста *капилляр вискозиметрден* пайдаланылады. Капилляр вискозиметр бірлік уақыт ішінде қысым астында капилляр түтіктен ағып өткен сұйықтың көлемін анықтауға жәрдем береді. Сұйықтың түтіктегі стационар ағымында ішкі үйкеліс күштері нәтижесінде түтіктің қимасы бойынша қабаттар жылдамдығының

бөлінуін көріп шығайық. Бұл үшін капилляр түтіктегі сұйықтан dl ұзындықтағы r радиусті цилиндрді ажыратып алсақ, (22-сурет),



22-сурет

ажыратып алынған цилиндр қабаты жақтарының әр бір нүктесінде ағым жылдамдығы тұрақты болады; өйткені цилиндрдің екі ұшы (негіздері)ндағы қысымдар айырмашылығы нәтижесінде жүзеге келетін $F_p = [(p + dp) - p]\pi r^2$ күш цилиндр сыртына жанама күйде бағытталған $F_{\text{үйк}} = -\eta \frac{dv}{dr} \cdot 2\pi r dl$ ішкі үйкеліс күшімен тепе – тең күйге келеді, яғни

$$[(p + dp) - p]\pi r^2 = -\eta \frac{dv}{dr} \cdot 2\pi r dl,$$

мұнда πr^2 - цилиндрдің негізгі ауданы, $2\pi r dl$ болса, цилиндр жан сыртының ауданының шамасы. $[(p + dp) - p]\pi r^2 = -\eta \frac{dv}{dr} \cdot 2\pi r dl$ формуладан

$$dv = \frac{1}{2\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) r dr$$

ге тең болады. $dv = \frac{1}{2\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) r dr$ өрнекті r бойынша интегралдасақ, түтікте сұйықтың бірегер жұқа қабатының жылдамдығы үшін

$$v = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) (R^2 - r^2)$$

ге ие боламыз. Бұнда R - түтіктің радиусы, r – тексеріліп жатқан қабаттың түтік осінен қашықтығы (23-суретке қара).

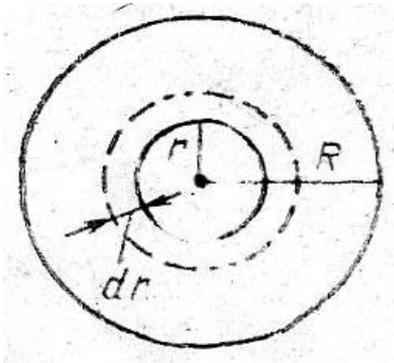
$v = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) (R^2 - r^2)$ өрнекке негізделіп жылдамдық түтік қимасы бойынша қабырға жанындағы ($r = R$) $v = 0$ мәнінен түтік осіндегі ($r = 0$)

$$v_{\text{max}} = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) R^2$$

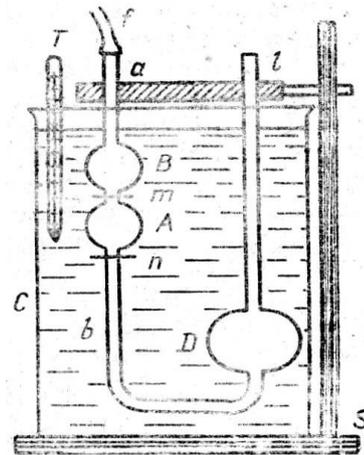
максимал жылдамдыққа дейін артып барады. Түтік ұштарындағы қысымдардың айырмашылығы есебіне жүзеге келген күш үйкеліс күштерімен тепе-теңдікте болғанда қабаттардың жылдамдықтары тұрақты болады, сұйықтардың ағымы ламинар болып, бұл күй үшін Пуазейль заңы орынды. Сұйықтың түтік қимасы бойынша ағу жылдамдығының өзгеру заңы $v = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) (R^2 - r^2)$ ті білген күйде

түтіктен кез келген t уақыт барысында ағып өтетін сұйықтың көлемін төмендегідей есептеу мүмкін. Бұл үшін радиустары r және

$r + dr$ болған цилиндр тәрізді қабаттармен шекараланған сақинаны көз алдымызға келтірейік. (23 – сурет).



23-сурет



24-сурет

Бұндай dr қалыңдықтағы сақинаның қимасынан уақыт бірлігінде ағып өткен сұйықтың көлемі

$$dV = 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot v$$

ге тең болады. Егер $v = \frac{1}{4\eta} \left(-\frac{dp}{dl} \right) (R^2 - r^2)$ ты есепке алып,

$dV = 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot v$ өрнегін 0 ден R ге дейін интегралдасақ, түтіктің көлденең қимасынан ағып өтіп жатқан сұйық көлемі

$$V_0 = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8l}$$

екендігі келіп шығады. Бұнда Δp түтік ұштарындағы қысымдар айырмашылығы, l түтіктің ұзындығы. Бірер шекті t уақыт ішінде

түтіктен өткен сұйық көлемі $V_0 = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8l}$ ны t уақытқа көбейтуден

табылады, яғни:

$$V = V_0 t = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8\eta l} \cdot t$$

Бұл өрнек **Пуазейль формуласы** делінеді. Пуазейль формуласы турбулент ағым үшін орынсыз болады.

Егер екі түрлі сұйық алып, радиусы $R = r_0$ болған капиллярдан олардың бірдей V көлемдерінің ағып өтуі үшін кеткен уақыттарды

t_1 және t_2 десек, $V = V_0 t = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p}{8\eta l} \cdot t$ ге негізделіп төмендегіні жаза

аламыз:

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p_1}{8\eta_1 l} \cdot t_1 \text{ және } V = \frac{\pi \cdot r^4 \Delta p_2}{8\eta_2 l} \cdot t_2$$

Бұл жерде η_1 және η_2 дәл ретте бірінші және екінші сұйықтардың ішкі үйкеліс коэффициенттері, Δp_1 және Δp_2 әр бір сұйық үшін

капилляр түтік ұштарындағы қысымдар айырмашылығы. Бұл өрнектердің қатынасынан төмендегі өрнек келіп шығады:

$$\eta_2 = \frac{\Delta p_2 t_2}{\Delta p_1 t_1} \eta_1$$

Қаралып жатқан жағдайда Δp_1 және Δp_2 қысымдар айырмашылығы (қозғалтушы күштер) негіз ауданы бір бірлікке және биіктігі l ге тең болған цилиндр көлеміндегі сұйықтардың $\rho_1 g l$ және $\rho_2 g l$ ауырлық күштеріне тең болғандығынан $\eta_2 = \frac{\Delta p_2 t_2}{\Delta p_1 t_1} \eta_1$ өрнек

$$\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \eta_1$$

көрінісіне келеді, бұнда ρ_1 және ρ_2 сұйықтардың тығыздығы. Демек, тәжірибеде сұйықтардың ағып шығу уақыттары t_1 және t_2 лерді тікелей өлшеп, қалған ρ_1 , ρ_2 және η_1 шамалардың мәнін тәжірибе жағдайындағы температура үшін кестеден алып, $\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \eta_1$ формула

негізінде сұйықтың ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау мүмкін.

Бұл жұмыста пайдаланылатын қондырғы 24- суретте көрсетілген. Ол суы бар шиша ыдыс С термостат ішіне түсірілген және S штативке бекітілген U – тәрізді түтік - вискозиметрден құралған. Вискозиметрдің “ab” сол тірсегінде А және В резервуарлар болып А резервуар түбіне b капилляр түтік дәнекерленген. Капиллярдың төменгі ұшы оң тірсектегі тексерілетін сұйық құйылатын D резервуармен қосылған. D резервуардағы сұйық А резервуарға қол насосы жәрдемінде сорып алынады. Оның жоғары және төмендегі ұштарында m және n белгілері болып, тәжірибеде бұл белгілермен шекараланған сұйық көлемінің ағып шығу уақыты өлшенеді. Эталон сұйық есебінде дистилденген су алынады.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Тәжірибені бастаудан алдын таза вискозиметрді сумен жақсылап шайып тастап, оған дистилденген су құйылады және аспапты білік жәрдемінде вертикал орнатылады.
2. Соң бір ұшы қол насосына, екінші ұшы a түтікке кигізілген f резина түтік арқылы абайлап қол насос жәрдемінде В резервуардың жарымы толғанша су сорып алынады.
3. Судың b капилляр түтік арқылы ағып түсуі күзетіліп барылады және секундомерді су мениски m белгіден өтіп

жатқан уақытта жүргізіп, мениск n белгіден өтіп жатқанда тоқтатылады. Бұл уақыт A резервуар көлеміндегі судың капиллярдан ағып түсу уақыты t_1 ге тең. Бұндай өлшеулерді су үшін 10 рет орындап, t_1 дің орташа мәні табылады.

4. Вискозиметрдегі су орнына тексерілетін сұйықты құйып жоғарыда айтылғандай тәртіпте оның ағып шығу уақыты t_2 да 10 рет өлшенеді және орташа мәні табылады.
5. Тексеріліп жатқан сұйықтың ρ_2 тығыздығының мәні кестеден жазып алынады немесе ареометр жәрдемінде өлшеп анықталады.
6. Суы бар C ыдысқа түсірілген T термометрден судың температурасын анықтап, оған дәл келетін судың ρ_1 тығыздығының және судың η_1 ішкі үйкеліс коэффициентінің мәндері кестеден алынады.
7. $\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \eta_1$ формула жәрдемінде тексеріліп жатқан сұйықтың η_2 ішкі үйкеліс коэффициенті есептеп табылады.
8. Өлшеуде жол қойылған абсолют, салыстырмалы қателіктер есептелінеді.
9. Алынған нәтижелер төмендегі кестеге жазылады

№	t_1, c	$\langle t_1 \rangle, c$	t_2, c	$\langle t_2 \rangle, c$	$\eta_2, Pa \cdot c$	$\frac{\langle \Delta t_1 \rangle}{\langle t_1 \rangle} 100\%$	$\frac{\langle \Delta t_2 \rangle}{\langle t_2 \rangle} 100\%$
1							
2							
3							
.							
.							
.							

?

1. Сұйықтың үйкеліс коэффициенті қандай шамаға байланысты? Қандай бірлікте өлшенеді?
2. Пуазейль формуласын келтіріп шығарып бер. Сұйықтың қандай ағымы үшін Пуазейль формуласы орынды болады?
3. Вискозиметр D резервуарындағы (24-сурет) сұйық деңгейі биіктігі, сұйықтың капиллярдан ағып шығу жылдамдығына әсер көрсетеді ме?

4. Ішкі үйкелістегі ортада қозғалатын денеге қандай күштер әсер етеді және бұл күштер қандай бағытталған? Қозғалыс теңдеуін жазыңыз.

5. $\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \eta_1$ формуланы келтіріп шығарып беріңіз.

6. Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаңыз.

7. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СҰЙЫҚТЫҢ БЕТТІК КЕРІЛУ КОЭФФИЦИЕНТІН ТАМШЫ ТАРТУ ӘДІСІ ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Белгілі көлемдегі екі түрлі сұйықтың тамшылары санын анықтау әдісімен беттік керілу коэффициентін анықтау.

Қажетті құралдар: 1) Краны бар екі бюретка немесе екі белгісі болған пипетка, 2) екі стакан, 3) воронка, 4) дистилденген су, 5) тексерілетін сұйық.

Теориялық негіздеме

Реал газдардың тәжірибелік изотермаларын зерттеуде, олардың бірдей сыртқы шарттарда, әртүрлі фазаларда - сұйық және бу күйлерінде болатыны анықталды. **Фаза деп шекаралық бетпен бөлінген, барлық нүктелерінде физикалық қасиеттері бірдей жүйе бөлігі айтылады.** Егер шекаралық бетпен бөлінген, екі немесе бірнеше фазалардың бірінің есебінен екіншісінің массасы өзгермесе, онда фазалық тепе-теңдік орнайды. Заттың бір фазадан екінші фазаға өтуі **фазалық ауысу** немесе айналу деп аталады. **Ол бірінші және екінші түрдегі фазалық ауысулар болып екіге бөлінеді.** Бірінші түрдегі фазалық ауысу жылу берілу немесе алынумен қабат жүреді және бұл кезде заттың физикалық сипаттамалары үздіксіз өзгерісте болады. Екінші түрдегі фазалық ауысуда заттың кейбір қасиеттері кенеттен секіріп өзгереді. Бұл ауысудың негізгі ерекшелігі алмасу жылуының болмауы.

Бірінші түрдегі фазалық ауысуларға булану, балқу, конденсациялану, кату құбылыстары немесе процестері жатады. Екінші түрдегі фазалық ауысуға ферромагнетиктің Кюри нүктесінен өтіп кетуі (қыздыру кезінде домендердің орналасу тәртібінің өзгеруіне сәйкес ферромагниттік қасиеттерінің жоғалуы), гелий I-дің

гелий II-ге ауысуы, өткізгіштің асқын өткізгіштік күйге өтуі және т.б. жатады.

Бірінші түрдегі фазалық ауысулар жүзеге асатын жылу мөлшерлері жасырын немесе ауысу жылуы деп аталады. Мысалы, сұйық буға айналу кезінде жасырын булану, ал қатты дене балқыған кезде еру немесе балқу жылулары туралы айтылады. Бұл процестер тұрақты қысым мен температураларда жүретіндіктен, ауысу жылуы Q_{12} энтальпия айырымына тең:

$$Q_{12} = H_2 - H_1$$

Бұл жерде
$$H_2 = C_v T - \frac{a}{V_r} + PV_r \text{ (газдар үшін),}$$

$$H_1 = C_v T - \frac{a}{V_{жс}} + PV_{жс} \text{ (сұйықтар үшін).}$$

Олай болса,
$$Q_{12} = \left(\frac{a}{V_{жс}} - \frac{a}{V_r} \right) + P(PV_r - PV_{жс}).$$

Фазалық ауысудың бірінші түріне жататын кез келген құбылыстың өз ерекшелігі бар. Мысалы, сұйық пен қатты дененің ашық бетінен булану кез келген температурада жүре алады. Буланудың жеке түрі болып табылатын қайнау процесінде, сұйық ішінде өте көп көпіршіктер пайда болып, олар сұйық бетіне бей-берекет шығып, жарылып жатады. Қайнаудың мағынасы мынада: еріген ауаның микроскопиялық көпіршіктері (көп жағдайда олар сұйық құйылған ыдыстың қабырғасына жабысып тұрады) сұйықтың булануы жүзеге асатын кеңістік ретінде қызмет етеді. Бірақ, қаныққан бу қысымы, атмосфералық қысымнан төмен кезде, көпіршіктер онша үлкеймейді және елеусіз күйде қалады. Қаныққан будың қысымы атмосфералық қысымға жеткенде көпіршіктер үлкейе отырып жоғары көтеріледі де су бетіне шығып жарылады және кеңістікке қосымша бу шығуын қамтамасыз етеді - сұйық қайнайды.

Көп жағдайда көпіршік өзінің орнында кіші көпіршік ұрығын қалдырады, ол қайта үлкейеді сөйтіп процесс қайталанады. Сұйыққа берілген жылу мөлшері түгелдей булануға жұмсалатындықтан процесс қарқынды жүреді. Сондықтан сұйық қайнап біткенше, оның температурасы тұрақты күйінше қалады. Қаныққан будың қысымы температураға байланысты болғандықтан, қайнау сыртқы қысым мен қаныққан бу қысымы теңелген кезде байқалады. Олай болса сыртқы төменгі қысымда, қайнау төменгі температурада жүзеге асады, сондықтан биік тауда қайнаған суда жұмыртқа піспейді.

Газдың сұйыққа айналу процесінің үздіксіздігі, осы екі күйдің бір-бірінен ерекше айырмашылығы жоқтығын білдіреді. Дегенмен, сұйықты қатты сығылған газ ретінде қарастыруға болмайды, себебі сұйықтың тығыздығы өз буының тығыздығынан мыңдаған есе артық. Бұл сұйық молекулалары бу молекулаларына қарағанда бір-біріне әлдеқайда жақын орналасатындығын дәлелдейді. Сондықтан, олардың ретсіз жылулық қозғалысының сипаты бу молекулаларынан өзгеше.

Сұйықтың көрші молекулаларының орта ара қашықтығы, олардың сызықтық өлшемімен шамалас болғандықтан, сұйық молекулалары бу молекулаларына қарағанда әлдеқайда баяу қозғалады.

Сұйықтың өз көлемін сақтау қасиеті, оның молекулаларының өзара әсерлесу күштерінің өте зор екендігін көрсетеді. Ал көлемін тез өзгерту қасиеті оның молекулаларының бір-бірімен салыстырғанда еркін қозғала алатындығын дәлелдейді. Сонымен, сұйық - қатты дене (молекулалары кеңістікте қозғалмайтын, тепе-теңдік нүктесінің маңында тербеліп тұратын) мен газдың (молекулалары кеңістікте еркін қозғалатын) аралық күйі болып табылады.

Сұйық молекулаларының жылулық қозғалысының суреттемесін алғаш рет ұсынған Я.И.Френкель. Оның айтуынша, сұйық молекуласы біршама уақыт белгілі бір тепе-теңдік күйдің маңында тербеліп тұрады да, кенет секіріп, молекуланың әсерлік диаметріне тең жерге орын ауыстырады. Сонда сұйық молекулалары ретсіз жылулық қозғалыстағы «көшпелі» және бір орнында тербеліп тұратын «отырықшыл», екі сортқа бөлінеді. Бұлар динамикалық тепе-теңдікте болады. Температура өскен сайын «көшпелі» молекулалар көбейеді.

Жалпы сұйық молекулалары бір орында ұзақ уақыт бола алмайды. Олар мерзімді уақыттан соң, көрші молекулалармен кездейсоқ әсерлесу нәтижесінде, әлсін-әлсін тепе-тең күйдегі орнынан «секіру» арқылы басқа орынға ауысып отырады. Сұйық молекуласы өзінің тепе-теңдік нүктесінің маңында үнемі тербелісте болады. Кризистік температуралар маңында бұл тербелістердің жиілігі 10^{12} - 10^{13} Гц жетеді. Осы күйде, сұйық, молекуласы бір орында, миллионға жуық толық тербеліс жасайды және с ішінде, бір тепе-теңдік күйден екіншісіне «секіру» саны 10^4 - 10^6 мәндер

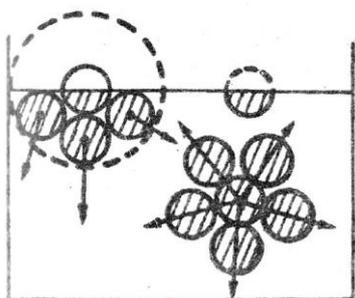
аралығында жатады. Температура төмендеген сайын олардың «секіру» саны кемиді, яғни, сұйықтың тұтқырлығы артады.

Өзінің буымен немесе басқа сұйықпен немесе қатты денемен шектесетін сұйықтың беткі қабаты оның басқа массасымен салыстырғанда ерекше жағдайларда болады.

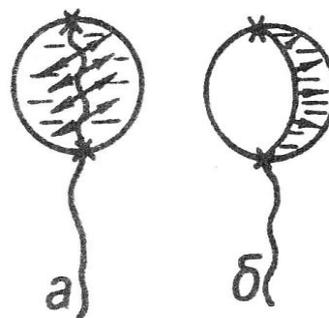
Бұл өзгеше жағдайлардың себебі, сұйықтың беткі шекаралас қабатында орналасқан молекулалары ішіндегідей түгел сұйықтың молекулаларымен қоршалмаған (25-сурет).

Беткі молекулалардың "көршілерінің" бір жартысы сұйық шекаралас екінші ортаның бөлшектері. Ал бұл екінші ортаның жаратылысы, тығыздығы сұйықтан бөлек болуы мүмкін. Сол себепті беткі қабаттағы әрбір молекулаға әрекет етуші күштер теңгерілмейді, демек, сұйықтың ішіне (көлеміне) немесе онымен шекаралас ортаға қарай бағытталған күш пайда болады. Соның салдарынан беткі қабаттан молекула сұйықтың ішіне немесе шекаралас ортаға орын ауыстырғанда жұмыс істеледі. Сұйықтың ортасында орналасқан молекулалар тура өзіндей бөлшектермен қоршалған тепе-теңдік күйде, сол себепті олардың қозғалысына жұмыс жұмсалмайды.

Егер сұйық өзінің қаныққан буымен шектессе, онда бір зат болғандықтан, беткі қабаттағы молекулаларға әрекет етуші күш сұйықтың ішіне қарай бағытталады. Оның себебі сұйықтағы молекулалардың тығыздығы бетіндегі қаныққан будыкінінен едәуір үлкен, сол себептен беткі қабаттағы молекулаға сұйықтың молекулалары жағынан әрекет ететін тартылу күші будыкінінен зор.



25-сурет



26-сурет

Сондықтан беткі қабаттан сұйықтың ішіне орын ауыстырғанда молекула оң жұмыс істейді. Керісінше, молекуланың сұйықтың ішінен бетіне қарай қозғалысы сыртқы жұмыстың шығынын талап етеді, бұл жұмыстың таңбасы теріс болады.

Егер біраз молекулалар бір себептермен сұйықтың ішінен беткі қабатына өтті делік, онда сұйықтың беті керіледі (ұлғаяды). Сұйықтың беті керілгенде теріс жұмыс, ал тартылғанда оң жұмыс істеледі. Сұйықтың бетін өте аз ΔS шамаға тұрақты температурада (изотермді) қайтымды жолмен өзгертуге кететін жұмыс

$$\Delta A = -\sigma \cdot \Delta S,$$

мұндағы (-) минус таңбасы сұйық бетінің ұлғаюына теріс жұмыс істелетінін көрсетеді.

Сұйықтың беткі қабатының қасиеттерін сипаттайтын негізгі коэффициент σ . Оны **беттік керілу коэффициенті** деп атайды, әрқашанда $\sigma > 0$ болады. Сонымен, беттік керілу коэффициенті тұрақты температурада сұйықтың беткі ауданын бірлік шамаға арттыру үшін істелетін жұмыспен өлшенеді.

СИ жүйесінде σ өлшем бірлігі Дж/м².

Осы айтылғаннан, сұйықтың беткі қабатындағы молекулалар сұйықтың ішіндегімен салыстырғанда артық потенциалдық энергияға ие болатыны айқын. Оны U_s деп белгілейміз.

Бұл энергия сұйықтың беткі қабатындағы молекулалардың сұйық ішіндегі бөлшектердің тарту күшінің әрекетінен орын ауыстырғандағы жұмысымен анықталады. Сонымен U_s энергия сұйықтың беткі қабатының болуына байланысты, олай болса ол сұйықтың бетінің S ауданына пропорционал, демек,

$$U_s = \sigma \cdot S$$

Сұйық бетінің ауданы ΔS шамаға өзгергенде потенциалдық энергия да өзгереді, яғни жұмыс істеледі.

Сондықтан $\Delta U_s = \sigma \cdot \Delta S$

$\Delta A = -\sigma \cdot \Delta S$ формуланы ескерсек, $\Delta A = -\Delta U_s = -\sigma \Delta S$

Сұйықтың беткі қабатының ерекшеліктері оның қалған бөлігіне карағанда артық потенциалдық (еркін) энергияға ие болуына байланысты. Бұл беткі қабаттың қалыңдығының реті 10^{-7} см, өте жұқа. Беттік керілу коэффициенті сұйықтың химиялық құрамына тәуелді.

Тепе-теңдіктегі жүйенің энергиясы әрқашанда ең аз (минимум) мәнінде болады. Сондықтан, егер сыртқы күштер әрекет етпесе, тепе-теңдіктегі сұйықтың беткі қабатының ауданы мүмкіндігінше кішкене болуы керек. Олай болса, беттің ұлғаюына бөгет болатын, оны кішірейтуге тырысатын күштер қажет. Бұл күштер сұйықтың

бетінің бойымен бағыттас, яғни оған жанама, өйткені сұйықтың беті жиырылады (қысқарады). Осы күштерді *беттік керілу күштері* дейді.

Мынадай қарапайым тәжірибелер беттік керілу күштерінің мәнін түсіндіреді.

Сымнан жасалған сақинаға көлденеңінен бос қылып жіп байланған (26-сурет). Сақинаны сабынды суға батырғанда, оның беті жұқа сұйықтың қабыршағымен (сабынды судың үлпегімен) тартылады. Онда сақинаның бойындағы жіптің кескіні кездейсоқ түрде орналасады (26, а-сурет). Енді ақырын жіптің бір жағындағы үлпекті қыздырған инемен түртіп жарсақ, онда жіп керіліп, үлпек шеңбер доғасына ұқсас пішін қабылдайды (26, б-сурет). Жіптің керілу себебі беттік күші әсерінен үлпектің жиырылуынан. Мұнда жіп бетті бөлу шегін атқарады. Үлпек бұзылмай тұрғанда жіпке екі жағынан бірдей перпендикуляр бағытталған күштер әрекет еткен. Ал үлпектің бір жағын бүлдіргенде, екінші жағының ауданы қысқарып, ең кіші мәніне ие болған.

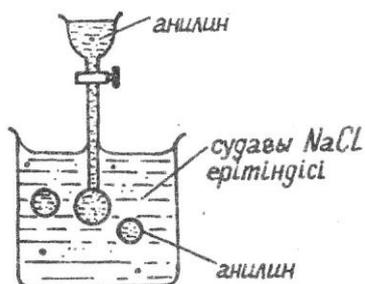
Осы тәжірибеден сұйықтың беті кішірейгенде, яғни беттік энергия кемігенде, беттік керілу күштері пайда болғанын байқаймыз.

Беттік керілу күштері кез келген көлемдегі сұйықтарға тән құбылыс. Егер сұйықта тек қана беттік керілу күштері әсер етсе, онда оның кез келген бөлігінің сыртқы пішінінің ауданы ең кішкене болатыны анық. Шар беті сондай ауданға жатады, себебі берілген көлемнің беткі ауданы ең аз мөлшерде тек қана шарда болады. Бұл қағида математикадан белгілі.

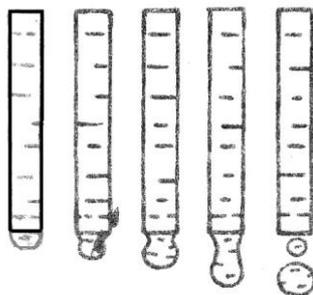
Бірақ сұйыққа беттік керілу күштерінен басқа сыртқы күштер әсер етеді. Олар, біріншіден, ауырлық күші, екіншіден, сұйық құйылған ыдыстың молекулаларының сұйықтың бөлшектерімен әрекеттесу күштері. Сол себептен сұйықтың нақты кескіні осы күшке қатысты анықталады.

Ауырлық күші сұйықтың барлық көлеміне әсер етеді. Егер сұйық массасы көп болса, онда беттік күштердің әсері көлемдік күштерге қарағанда әлсіз. Сол себепті сұйықтың кескіні ауырлық күшіне тәуелді. Ауырлық күшінің әрекетінен сұйық төгіліп жайылады, өйткені ауырлық күшінің өрісінде мұндай жағдайда сұйықтың потенциалдық энергиясы минимум болады. Егер бір себептермен ауырлық күшінің әрекетін азайтса немесе мүлде жойса, онда беттік күштер басым болады.

Плато тәжірибесі. Плато тәжірибесінде ауырлық күшінің әсерін жою үшін сұйықты өзімен араласпайтын тығыздығы бірдей басқа сұйыққа құяды. Онда сұйықтың салмағы Архимед күшімен (екінші сұйық жағынан әрекет етеді) теңеледі, сол себепті беттік керілу күштері ғана сұйықтың геометриялық пішінін анықтайды (27-сурет).



27-сурет



28-сурет



29-сурет

Мұндай жағдайларда сұйық шар пішінді. Плато тәжірибесінде ас тұзының ерітіндісі құйылған ыдысқа аздап анилин құйылады. Анилин NaCl ерітіндісінде ерімейді. Ерітіндінің тығыздығын анилиндікімен бірдей етіп алады. Сонда біз анилиннің шар тәрізді домаланып NaCl ерітіндісінде қалқып жүргенін көреміз (27-сурет).

Беттік керілу күштерін зерттеуде ғарышкерлер таңғаларлық әсер алған, ғарыш кемесінде салмақсыздықта сұйықтың шар тәріздес тамшылары ыдыстан тыс қалқып жүргенін байқаған.

Кішкене көлемді сұйық шар тәріздес болады, себебі массасы аз болғандықтан, оған әрекет ететін ауырлық күші де аз. Бұл жағдайда беттік энергия ауырлық күшінің потенциалдық энергиясынан үстем болады. Мысалы, сынап тамшылары шар тәріздес, беттік керілу коэффициенті өте үлкен. Жіңішке түтіктен тамшылаған судың тамшылары да шар тәріздес. Жіңішке түтіктен шыққан тамшының көлемі өсіп, бір шамаға жеткенде үзіледі (28-сурет). Тамшының көлемі кішкене болғанда, беттік керілу күштері ауырлық күшіне кедергі бола алады, демек, тамшы үзілмейді. Тамшының салмағы беттік керілу күшіне теңелгенде ол үзіледі. Сол себепті тамшының үзілу процесін талдау арқылы беттік керілу коэффициентін табуға болады.

28-суретте тамшының пайда болу процесі көрсетілген. Тамшы үзілерде жіңішке түп жағы пайда болады. Бұл түптің радиусы түтіктің радиусынан кіші. Беттік керілу күші осының бойымен әсер етеді (29-сурет).

Беттік керілу коэффициенті σ сан жағынан сұйықтың беткі қабыршағының жиек сызығының ұзындық бірлігіне түсетін күшке тең, яғни

$$\sigma = \frac{f}{l}$$

Осылай анықталған беттік керілу коэффициентінің өлшем бірлігі Н/м.

Егер (28-суретте) тамшы түбінің радиусы r және беттік керілу коэффициенті σ болса, онда беттік керілу күші $f = 2\pi \cdot r\sigma$. Сондықтан тамшының үзілу шарты

$$2\pi \cdot r\sigma = mg$$

Беттік керілу коэффициенті температураға тәуелді. Температура өскенде ол төмендейді. Сол себептен сабын үлпегін (26-сурет) қызған инемен шұқып қалсақ, ол тез жарылады. Критиктік температурада σ нөлге ұмтылады.

Беттік керілу коэффициентін анықтағанда сұйық шектесетін заттардың қасиеттерін ескеру қажет.

Сұйықтың беттік керулігі тек жұқа перделермен өткізілетін тәжірибеде ғана белгілі болмастан, басқа қатар құбылыстарда да белгілі болады. Бізге белгілі, беттік керулігі нәтижесінде сұйықтық ең кіші конфигурациялы көлемді иелейді. Егер мұнда тек бір ғана себепші сұйықтық еркін бетінің энергиясы болғанда, сұйықтың ең кіші көлемді пішін шар пішінін иелеген болар еді. Бірақ беттік керілу күштері пайда қылатын ішкі күштерден тыс сыртқы күштер (ауырлық күші және сұйық молекулалары мен сұйық тиіп тұрған ыдыс қабырғалары молекулаларының өзара әсер күштері) де әсер етеді. Сол үшін сұйық иелейтін шын пішін сол үш күштің қатынасы арқылы анықталады.

Ауырлық күші әсерінде сұйық жайылуға және жұқа қабат пішінін иелеуге әрекет жасайды - бұл ауырлық күші өрісіндегі минимал потенциал энергияға сәйкес келеді. (Ауырлық асқанда сыртқы күштер ролі кіші болады). Егер ауырлық күшінің әсері жоғалса немесе минимал кемітілсе, негізгі ролді беттік керілу күштері ойнайды және сұйық шар пішінін иелейді. Салмақсыздық уақытында сұйық ыдыстан тыс шар пішінін иелеуін космонавттар күзеткен.

Ауырлық күші болғанда сұйық көлемі өз-өзінен шар пішініне жақын болған пішінді иелейді, себебі осы жағдайда сұйықтың беттік энергиясы ауырлық күші потенциал энергиясынан үлкен болады.

Егер тамшыны үзетін күш (тамшының ауырлығы) ті P және тамшыны ұстап тұратын күшті (беттік керілу күшін) $F = \sigma \cdot l$ (мұнда l - үзілу кезіндегі тамшы мойнының периметрі) мен белгілесек, ол уақытта тамшының үзілу күйі үшін төмендегіні жазу мүмкін:

$$P = F = \sigma \cdot l$$

бұдан $\sigma = \frac{P}{l}$ болады. Егер тамшы мойнының радиусы r болса, оның периметрі $l = 2\pi \cdot r$ болады. Ол уақытта

$$\sigma = \frac{P}{2\pi \cdot r}$$

үзіліп жатқан тамшы мойнының радиусын өлшеу біраз қиын болғаны үшін бұл әдіспен анықталған сұйықтың беттік керілу коэффициенті онша анық болмайды. Бірақ салыстырмалы өлшеулермен шектелсек, тамшы мойнының радиусын білу шарт емес. Бұл үшін көз алдымызға келтірсек, бірер сұйықтың V көлемде n_0 дана тамшы болып, дәл осындай көлемдегі басқа сұйықта n дана тамшы бар болсын. Егер сұйықтардың тығыздықтарын ρ_0 және ρ мен және тамшылар ауырлықтарын P_0 және P мен белгілесек, ол уақытта бірінші сұйықтың ауырлығы:

$$n_0 P_0 = \rho_0 g_0 V = n_0 \cdot 2\pi \cdot r \sigma_0$$

және екінші сұйықтың ауырлығы:

$$nP = \rho \cdot gV = n \cdot 2\pi \cdot r \sigma$$

болады. Бұдан:

$$\rho_0 g_0 V = n_0 \cdot 2\pi \cdot r \sigma_0$$

және

$$\rho g V = n \cdot 2\pi \cdot r \sigma$$

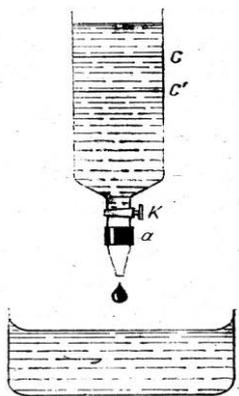
$\rho_0 g_0 V = n_0 \cdot 2\pi \cdot r \sigma_0$ және $\rho g V = n \cdot 2\pi \cdot r \sigma$ ны бір-біріне бөлсек,

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{n_0 \sigma_0}{n \sigma}$$

Бұдан

$$\sigma = \frac{\sigma_0 \rho \cdot n_0}{\rho_0 n}$$

Бұл жолмен сұйықтың беттік керілу коэффициентін анықтау үшін қолданылатын қондырғы 30- суретте келтірілген. Бұл лаборатория жұмысында беттік керілу коэффициенті белгілі сұйық ретінде су алынады.



30 – сурет

Жұмыстың барысы:

1. Бюреткалардан біріне дистилденген су және екіншісіне тексерілетін сұйық құйылады. Әр екі бюреткада сұйық көлемдері бірдей тандап алынады. (СС` аралығында). Бұл уақытта сұйықтар деңгейі бірер С сызықтан жоғарырақ болуы керек.
2. Суы бар бюретканың К краны сондай ашылады, мұнда су жай тамшылайтындай болсын. Бұл уақытта СС` сызықтар арасындағы судың көлеміндегі сұйық тамшылары саны n_0 санап алынады. Бұл тәжірибе кемінде 10 рет қайталанады.
3. Бюретканың a пипеткасы алынады және тексерілетін сұйық бюреткасына өткізіледі. Тәжірибе алдынғыдай қайталанып n табылады. Бұл тексеру да кемінде 10 рет қайталанады.
4. Судың беттік керілу коэффициенті σ_0 үй температурасындағы графадан, су және тексерілетін сұйық тығыздықтары кестеден жазып алынады.
5. Табылған n_0, n, σ_0, ρ_0 және ρ лардың орташа мәні арқылы
$$\sigma = \frac{\sigma_0 \rho \cdot n_0}{\rho_0 n}$$
 теңдеу жәрдемінде сұйықтың беттік керілу коэффициенті есептеп табылады.
6. Егер есептеп табылған нәтижелер қанағатты болса, тексерілетін сұйық бюреткасы және пипетка алдын «хромды қосынды» - күкірт қышқылы және калий хромат, натрий хроматтың судағы ерітіндісі қосындысымен және кейін дистилденген сумен жуып қойылады. Нәтижелер төмендегі кестеге жазып қойылады.

№	n_0	Δn_0	n	Δn	t	ρ_0	ρ	σ_0	σ	$\Delta \sigma$	$N, \%$
1											
2											
3											

...											
Орт мән											

?

1. Сұйықтың түзілісі жайлы нелерді білесіз?
2. Беттік керілу коэффициентін сипаттаң, формуласын жазың.
3. Сұйық тамшысы не үшін шар пішінін иелейді? Плато тәжірибесін түсіндіріңіз.
4. $\sigma = \frac{\sigma_0 \rho \cdot n_0}{\rho_0 n}$ формуласын келтіріп шығарыңыз.
5. Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаң.
6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СҰЙЫҚТЫҢ БЕТТІК КЕРІЛУ КОЭФФИЦИЕНТІН САҚИНАНЫ СҰЙЫҚТАН ҰЗУ ЖОЛЫМЕН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Сұйық бетінен жұқа металл сақинаны ұзу үшін қажет болған күшті өлшеп, сұйықтың беттік керулік коэффициентін табу.

Қажетті құралдар: 1) техникалық таразы және таразы тастары, 2) штангенциркуль, 3) металл сақина, 4) тексерілетін сұйық құйылған ыдыс.

Теориялық негіздеме

Белгілі диаметр және қалыңдыққа ие болған сақинаны сұйықтың еркін бетіне тигізсек, сұйық және сақина құрамы молекулаларының өзара тартылысы нәтижесінде сақина сұйықтың еркін бетіне жабысады. Бұл сақинаның ішкі және сыртқы шеңберінің беттерімен орналасқан молекулаларымен су молекулаларының өзара әсерінен пайда болатын тұтыну күшінің нәтижесі болып саналады.

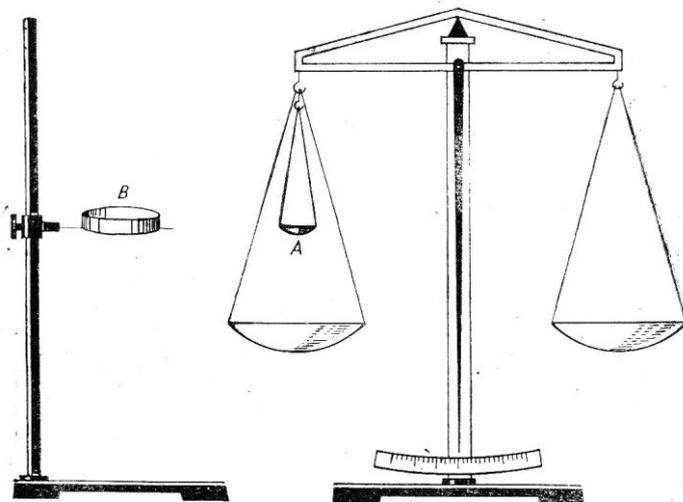
Бізге белгілі, жүйенің потенциал энергиясы өте кіші болса, ол тепе – теңдік күйінде болады. Сұйық беті де тепе – теңдік күйінде болуы үшін қысқаруға әрекет жасайды. Сұйық бетінде оны қысқартыратын жанама бойымен бағытталған беттік керулік күші пайда болады. Бұл күштің мәні:

$$F = \sigma \cdot l, \text{ бұдан } \sigma = \frac{F}{l}$$

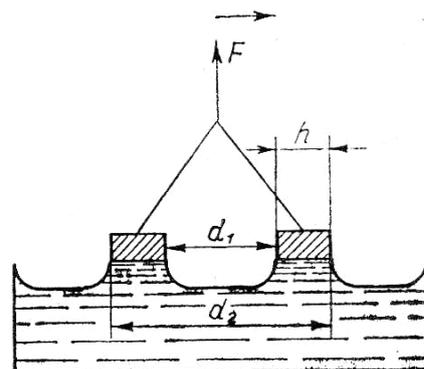
Егер сақинаны сұйық бетінен ажыратуға әрекет жасалынса, молекулалар арасындағы тұтыну күштері бұған кедергі жасайды, бұл үшін оған перпендикуляр бағытталған күш әсер еттіру керек. Сұйық бетінен үзіп алынып жатқан денеге сұйық жұғады, яғни сұйықтың

еркін беті артады, бұл беттің алғашқы жағдайына ұмтылуы беттік керілу күшін келтіріп шығарады.

Экспериментал қондырғы техникалық таразы болып, оның иіндерінің бірінде иіннен сыртта жұқа алюминий А сақина асылады(31-сурет).



31-сурет



32-сурет

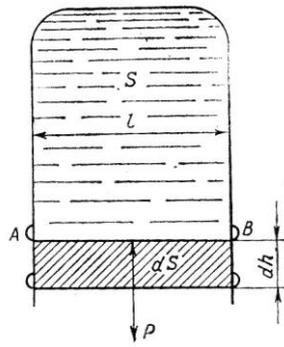
Сақинаның астына штативке орнатылған тексерілетін сұйығы бар В ыдыс жақындатылады. Егер В ыдыс А сақина астына жақындатылып, сақина сұйыққа тигізілсе, сақина сұйыққа жабысып алады. Сақинаны сұйықтан ажыратып алу үшін F күш жұмсау қажет болады. Сақинаның үзілу диаметрлері d_1 және d_2 болған (ішкі және сыртқы диаметрлер) екі шеңбер бойымен жүз береді (32-сурет). Үзілу сызығының жалпы ұзындығы:

$$h = \pi \cdot d_1 + \pi \cdot d_2.$$

Егер сақина қабырғасының қалыңдығын h десек, $d_2 = d_1 + 2h$ болады. d_2 ның мәнін жоғарыдағы теңдеуге қойсақ, төмендегіге ие боламыз:

$$h = 2\pi(d_1 + h)$$

Беттік керілу күшінің келіп шығуына бірінші себеп сыртқы қабат молекулаларына әсер ететін және сұйық бетіне перпендикуляр болып сұйық ішіне қарай бағытталған молекулалараралық әсер күштерінің тең әсер етушісі болып есептелінеді. Егер бірер металл рамка АВ қозғалтушыға ие болып, жұқа сабын пердесімен қапталған болса (33-сурет), оны тепе – теңдікке келтіру үшін АВ ға перпендикуляр Р жүк ілу керек болады (өйткені бет қысқаруға әрекет жасап АВ жақтарын жоғарыға тартады).



33-сурет

Егер перденің екі беті барлығы есепке алынса, f беттік керілу күші тепе – теңдік күйде P жүктің жарты ауырлығына тең:

$$f = \frac{P}{2}$$

Егер f күш әсерінде перде dh қашықтыққа ығысқан болса, бұл күштің орындаған жұмысы $dA = f dh$ қа тең болады. Бұл жұмыс перденің еркін энергиясының кемеуіне тең: $d\phi = \sigma \cdot dS$. Осы күйде $dS = l \cdot dh$, сол үшін

$$dA = \sigma \cdot l dh = f \cdot dh = \frac{P}{2} dh \text{ және } \sigma = \frac{P}{2l}$$

Бұл формулаға негізделіп, сұйықтың беттік керілу коэффициенті сұйық бетіне жанама бойымен әсер ететін және беттің ажралу сызығының ұзындық бірлігіне тура келетін күшке сан жағынан тең шама деп сипаттау мүмкін. Бұл уақытта σ СИ да $\frac{H}{m}$ да өлшенеді.

$\sigma = \frac{P}{2l}$ теңдеуге негізделіп $h = 2\pi(d_1 + h)$ дан пайдаланып, σ үшін төмендегі өрнекке ие боламыз:

$$\sigma = \frac{F}{2\pi(d_1 + h)}$$

мұнда F сақинаны сұйықтан үзіп алу үшін қажет болған күш болып, тепе – теңдікке келтірілетін таразы тастарына тең ($P=F$).

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Штангенциркуль жәрдемінде сақинаның ішкі диаметрі d_1 және қалыңдығы h түрлі жерлерінен 4-5 рет өлшеп алынады және орташа мәні табылады.
2. Сақина таразының сол жағына ілінеді және таразы тастары жәрдемінде тепе- теңдікке келтіріледі (31-суретке қараң).
3. Тексерілетін сұйық құйылған B ыдыс A сақина астына алып келінеді. B ыдысты жайымен көтеріп барып, сақина негізінің сұйық бетіне бір қалыпты тиуіне ие боламыз.
4. Таразының оң жағына жайымен миллиграммдық тастардан қойып, тастар сақина сұйық бетінен үзілгенше арттырып

барылады. Таразы жақтарына қойылған тастар ауырлығы сақинаны сұйық бетінен үзіп алу үшін қажет болған F күшке тең болады. Таразы тастарын алдыннан ариентирленген таразы жағына қою ұсынылады.

Тәжірибе 3-5 рет қайталанады және бұлар жәрдемінде

$$\sigma = \frac{F}{2\pi(d_1 + h)}$$

формула арқылы σ табылады.

Нәтижелер төмендегі кестеге жазып қойылады.

№	$d_1, м$	$h, м$	$F, Н$	$\sigma, \frac{Н}{м}$	$\Delta\sigma, \frac{Н}{м}$	$\frac{\Delta\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}} \cdot 100\% = N$
1						
2						
3						
...						
Орт мән						

?

1. Сұйық бетінде оны қысқартыратын жанама бойымен бағытталған қандай күш пайда болады? Бұл күштің мәнін жазыңыз.
2. Беттік керілу күшінің келіп шығуына бірінші себеп не?
3. $\sigma = \frac{F}{2\pi(d_1 + h)}$ формуласын келтіріп шығарыңыз.
4. Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаңыз.
5. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

БЕТТІК КЕРІЛУ КОЭФФИЦИЕНТІН СҰЙЫҚТЫҢ КАПИЛЛЯР ТҮТІКТЕРДЕ КӨТЕРІЛУ БИКТІГІНЕ ҚАРАП АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Беттік керілу коэффициентін сұйықтың капилляр түтіктерде көтерілу биіктігі бойынша табу

Қажетті құралдар: 1) капилляр түтіктер жиынтығы, 2) сызғыш, 3) боялған сұйық.

Теориялық негіздеме

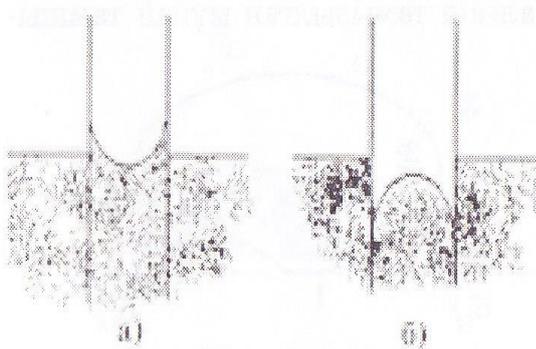
Жұққыштыққа тікелей тәуелді - капиллярлық деп аталған құбылыстарды қарастырайық. Егер ыдыстағы сұйыққа жуан шыны түтік батырылса, жұққыштық әсерінен, оның қабырғасымен жанасқан шекаралық бетте, сұйық біршама көтеріледі және ойыс бет

(мениск) пайда болады (34, а-сурет). Ал, жұқпайтын жағдайда шынының қабырғаларымен жанасу шекараларында сұйық деңгейі төмендеп, дөңес бет (мениск) пайда болады (34, б-сурет).

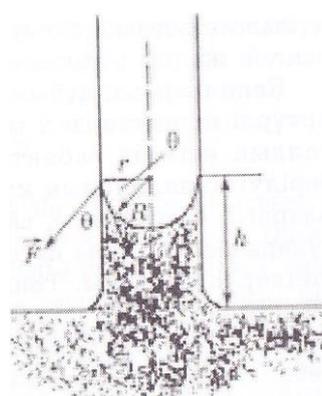
Сұйыққа батырылатын түтік жіңішке болған жағдайда бұл құбылыс басқаша жүреді. Мысалы, диаметрі миллиметрден кіші шыны түтікшелерде имек бет, жазық емес, сфералық пішін алады және оның деңгейі, ыдыстағы сұйық деңгейімен салыстырғанда біршама жоғары көтеріледі. Бұндай жіңішке түтіктер капиллярлар, ал ондағы жүретін құбылыстар **капиллярлық құбылыстар** деп аталады.

Сұйықтың осы иілген бетінің (ойыс менискінің) қисықтық радиусы R түтіктің радиусымен r шамалас болады (35-сурет). Ойыс менискіде имек беттің қысымы сұйықтан ауаға бағытталады. Лапластың формуласы бойынша сфералық бет үшін

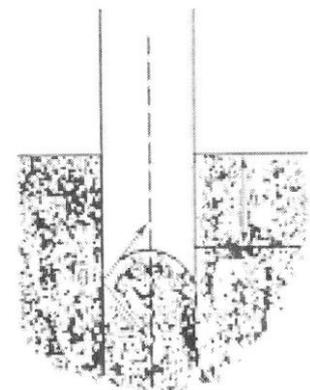
$$P = \frac{2\sigma}{R} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} = \frac{4\sigma \cos \theta}{d}$$



34 – сурет



35-сурет



36-сурет

Мұндағы $R = \frac{r}{\cos \theta}$ - ойыс менискінің қисықтық радиусы, $d = 2r$ - капиллярдың диаметрі.

Бұл қосымша қысым сұйықтың капилляр арқылы көтерілуін қамтамасыз етеді және ол шыны түтіктегі су бағанасының гидростатикалық қысымына ρgh теңелгенше биіктейді. Осы екі қысымның $\rho gh = \frac{2\sigma}{R}$ теңдігін пайдаланып, капиллярдағы сұйық деңгейінің көтерілу биіктігін анықтауға мүмкіндік беретін формуланы мына түрде жазуға болады:

$$\rho gh = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} = \frac{4\sigma \cos \theta}{d}$$

немесе

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}$$

Соңғы өрнектен сұйықтың көтерілу биіктігі капиллярдың радиусына тәуелді екендігі айқын көрінеді. Капилляр неғұрлым жіңішкерген сайын, солғұрлым сұйықтың көтерілу биіктігі арта түседі. Егер сұйық капиллярға жұқпайтын болса $\theta > \frac{\pi}{2}$, яғни, $\cos \theta$ теріс. Сондықтан, $h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}$ өрнек бойынша, түтіктегі сұйық деңгейі төмендейді. Бұл жағдай капиллярды сынап құйылған ыдысқа батырғанда байқалады, яғни, түтіктегі сынап деңгейі жалпы ыдыстағы сынап деңгейінен төмен орналасады.

Шекаралық бұрыш өте кіші болғанда $\cos \theta = 1$ (абсолют жұққыштық) бұл $h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g} = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}$ теңдеуді қарапайым түрде төмендегіше жазу мүмкін:

$$h = \frac{2\sigma}{r\rho g} = \frac{4\sigma}{\rho g d}$$

Капиллярлық құбылыстар табиғатта кең тараған және оның әртүрлі процестердегі маңызы зор. Мысалы, топырақтағы ылғалдың өсімдік сабақтарына, бұтақтар мен жапырақтарға берілуі капиллярлық құбылыс арқылы жүзеге асады. Себебі, олардың өзектерінде, сабақтарында, тамырларында, Жер асты суларының жоғары көтерілуін қамтамасыз ететін жіңішке капиллярлар болады. Топырақтың астыңғы қабатындағы судың, жердің бетіне көтерілуі онда пайда болатын капилляр түтіктердің себебінен. Сондықтан шаруалар, суғарылған жерді, ол кебе бастағанда, шауып, пайда болған капиллярларды бұзып отырады немесе, көтерілген су буланбауы үшін, жарықшақтанған жерлерді ағаш ұнтақтарымен жауып тастайды. Ұй қабырғаларының дымқыл тартып, ызаланып кетуі де капиллярлық құбылыстың себебінен болады. Адамдағы қан айналу процесінде капиллярлық үлкен рөл атқарады. Бұнда қан жүретін жіңішке тамырлар капилляр деп аталады, олар жоғарыда айтылған капилляр түтіктердің рөлін атқарады.

Таукен өндірісіндегі кеңінен қолданылатын флотация процесі сұйықтардың жұққыштық құбылысына негізделген. Майдаланған қазбаны, рудаға жұғатын, ал бос қоспаға жұқпайтындай етіп, таңдап алынған сұйыққа салып араластырады. Осыдан кейін сұйыққа ауа көпіршіктері енгізілсе, олар сұйық жұқпайтын түйіршіктердің бетіне қонып, жоғары көтеріп шығарады. Ал қазбаның, сұйық жұғатын, руданы құрайтын түйіршіктері, оның астына шөгіп бос қоспадан арылады.

Жоғарыда баяндалған, сұйық пен қатты дене шекарасындағы жүретін құбылыстарды тереңірек түсіну үшін, сұйық молекулаларының арасындағы өзара әсер күштерімен сұйық пен қатты дене молекулаларының арасындағы әсерлеу күштерінің ара қатынасы есепке алынуы тиіс. Мұнда, егер, сұйық молекулаларының өзара әсерлесу күші, қатты дене молекулалары мен сұйық молекулаларының арасындағы әсерлесу күшінен артық болса, онда сұйық қатты денеге жұқпайды. Мұнда, ол екеуінің шекарасындағы қорытқы әсерлесу күші сұйыққа қарай бағытталады (36-сурет). Ал, кері жағдайда сұйық қатты денеге жұғады және олардың шекарасындағы қорытқы әсерлесу күші қатты денеге қарай бағытталады (35-сурет).

Сонымен, сұйықтың беттік керілу коэффициенті қанша үлкен немесе капиллярдың радиусы қанша кіші болса, оның капилляр түтік бойынша көтерілу биіктігі сонша үлкен болады. Егер сұйық капиллярға жұқпайтын болса, шекаралық бұрыш 90^0 тан үлкен, яғни сұйық менискі дөңес болады. Бұндай күйлерде капиллярдағы сұйық деңгейі кең ыдыстағыдан төменіректе болады.

Егер радиустары r_1, r_2, r_3 болған капилляр түтіктерді абсолют жұққыш сұйық ішіне түсірілсе, $h = \frac{2\sigma}{r\rho g} = \frac{4\sigma}{\rho g d}$ ге негізделіп, олардағы сұйықтардың көтерілу биіктіктері дәл ретте

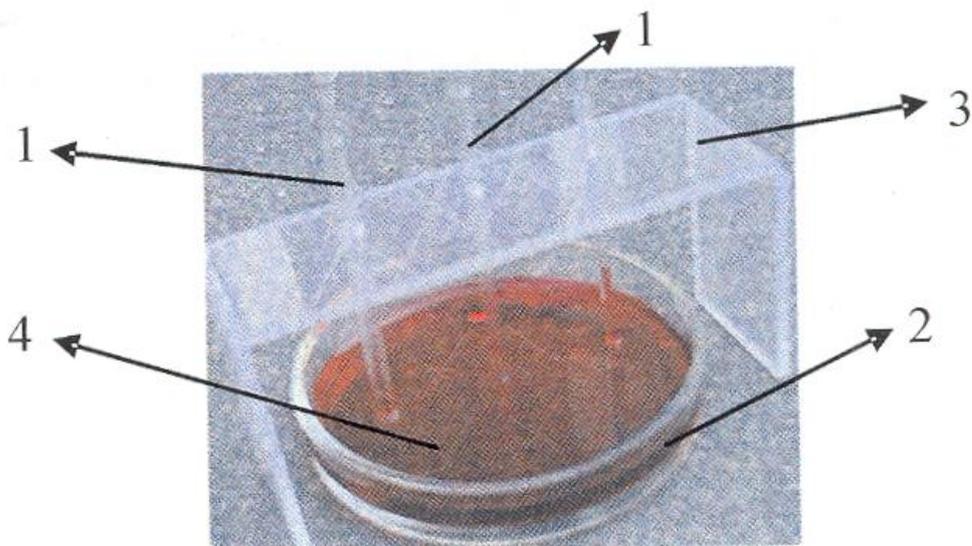
$$h_1 = \frac{2\sigma}{r_1\rho g} = \frac{4\sigma}{\rho g d_1}, \quad h_2 = \frac{2\sigma}{r_2\rho g} = \frac{4\sigma}{\rho g d_2}, \quad h_3 = \frac{2\sigma}{r_3\rho g} = \frac{4\sigma}{\rho g d_3}$$

болады. Бұл жерде σ - сұйықтың беттік керілу коэффициенті, ρ - сұйық тығыздығы, d – капилляр түтіктің диаметрі, g – еркін түсу үдеуі.

Бұл формуладан беттік керілу коэффициентін табатын болсақ,

$$\sigma_1 = \frac{d_1 \cdot \rho \cdot h_1 \cdot g}{4}, \quad \sigma_2 = \frac{d_2 \cdot \rho \cdot h_2 \cdot g}{4}, \quad \sigma_3 = \frac{d_3 \cdot \rho \cdot h_3 \cdot g}{4}$$

Беттік керілу коэффициентін сұйықтың капилляр түтіктерде көтерілу биіктігі бойынша табудағы қондырғы 37- суретте көрсетілген. Қондырғы диаметрі әр түрлі болған капилляр түтіктер (1), сұйық құйылатын мөлдір ыдыс (2), сұйыққа капиллярды тік түсіруге мөлшерленген арнайы штатив (3), боялған сұйық (4) тан тұрады.



37-сурет

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Тәжірибе үшін қажетті аспаптар лаборатория столының үстіне қойылады.
2. Түтіктер арнайы ерітіндіде, кейін дистилденген суда тазалап жуылады және жылы ауа өткізіліп құрғатылады.
3. Ыдысқа сұйық құйылады (бояу ретінде йод немесе марганцовкадан пайдалану мүмкін) және стол үстіне горизонтал күйде орналастырылады.
4. Түтіктер арнайы штативке вертикал орналастырылады және дистилденген суы бар ыдысқа жарымынан артығы батырылып, бір аз уақыт сондай қойылады.
5. Түтік қабырғаларына сұйық жұққаннан кейін олар бір неше сантиметр көтеріледі, капилляр ішіндегі сұйық биіктігі анықтап алынады.
6. Түтіктердің суға бату күйін және 2-3 рет өзгертіріп нәтиже алынады.
7. Капилляр түтіктің ішкі диаметрлері сызғыш жәрдемінде өлшенеді.
8. $\sigma = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4}$ формулаға көре беттік керілу коэффициенті есептеледі.

Ескерту: тәжірибеде сұйық ретінде су алынғаны үшін оның тығыздығы $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ге тең (судың боялғандығы да есепке алынуы қажет).

9. Диаметрі түрліше болған түтіктер үшін тәжірибе қайталанады және олардың беттік керілу коэффициенті $\sigma = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4}$ формулаға көре есептеледі.
10. Алынған нәтижелер негізінде төмендегі кесте толтырылады және қателіктер анықталады.

№	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$h, \text{м}$	$d, \text{м}$
1			
2			
3			

?

- Капиллярлар және капиллярлық құбылыстар деп неге айтылады?
- Түтік каналының таза болмауы нәтижеге қандай әсер етеді?
- Сұйықтың капилляр түтікте көтерілу немесе түсу себебін түсіндіріңіз.
- Капилляр түтік бойымен көтерілген сұйық бағанының биіктігі қандай шамаларға байланысты?
- Капиллярлық құбылысының күнделік тұрмыста қолданылуына мысалдар айтыңыз.
- $\sigma = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4}$ формуласын келтіріп шығарыңыз.
- Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаңыз.
- Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

СҰЙЫҚТАРДЫҢ МЕНШІКТІ БУЛАНУ ЖЫЛУЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Тиісті қондырғыдан пайдаланып, судың меншікті булану жылулығын анықтау.

Қажетті құралдар: 1) калориметр, 2) термометр, 3) конденсатор, 4) электр плитка, 5) техникалық таразы тастарымен.

Теориялық негіздеме

Заттың сұйық күйден газ тәріздес фазаға ауысуын - булану мен қайнау процестерін қарастырайық. Беті ашық ыдыстағы сұйықтың, мысалы әтірдің, біртіндеп булана отырып, таусылатыны белгілі.

Олай болса, булану - энергиясы жоғары молекулалардың, өзімен көршілес молекулалардың тартылыс күшін жеңіп, сұйық бетіне шығып ұшып кету процесі. Олай болса, сұйық бетінен сыртқа кетіп жатқан молекулалар, сұйықтың беттік керілу күшіне және сыртқы қысымға қарсы жұмыс жасауы тиіс. Бұл жұмыс молекуланың жылулық қозғалысының кинетикалық энергиясына тең болуы керектігі түсінікті, яғни,

$$\frac{mv_{\text{кө}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT.$$

Сондықтан, сұйық бетін, осы энергияға тең немесе одан жоғары энергияға ие молекулалар ғана тастап кете алады. Сұйықтың температурасы жоғарылаған сайын ондағы энергиясы жоғары молекулалардың саны өсетін болғандықтан, булану процесінің интенсивтілігі артады, яғни, булану жылдамырақ жүреді.

Сұйықтардың ішкі, яғни, молекулалық қысымы өте жоғары. Мысалы, судың ішкі қысымы, шамамен, 11000 атм. Сондықтан сұйық молекулаларының, оның бетін тастап кетуі үшін, жеткілікті энергиясы болуы тиіс. Энергиясы көп молекулалар сұйықты тастап кете беретін жағдайда, оның салқындауы керек, себебі, қалған молекулалардың кинетикалық энергиясы төмендейді. Сондықтан, сұйықтардағы булану процесі, оның температурасының төмендеуімен қабаттаса жүреді, сұйық салқындайды. Олай болса, булану процесі жасырын булану жылуын анықтауға мүмкіндік береді.

Булану процесімен қатар, сұйықтың сыртындағы бу молекулаларының, оған қайта оралу процесі - конденсация процесі жүріп жатады. Бұл будың суыққа қайта айналу процесі. Егер, булану конденсацияға қарағанда жылдам жүретін болса, сұйық мөлшері кемиді, керісінше, булануға қарағанда конденсация жылдамырақ жүрсе, сұйық мөлшері өседі.

Сұйық өзінің буымен тепе-теңдікте де бола алады. Бұл жағдай берілген температурада будың қысымы мен тығыздығы белгілі мәндерге ие болғанда орнайды. Осыдан өз сұйығымен динамикалық тепе-теңдіктегі бу **қаныққан бу** деп аталады. Қаныққан будың қысымы тек температураға ғана тәуелді, ол температура жоғарылаған сайын артып отырады. Сондықтан, есеп кітаптарда

сұйық үшін (мысалы, су үшін) әр температурадағы оның қаныққан буының серпімділігі (қысымы) беріліп қойылады.

Булану адиабаталық процесс арқылы жүретін болса, сұйықтың температурасы төмендейді. Ал, изотермиялық процесс кезіндегі булануда, сұйықтың жоғалтқан жылу мөлшері толықтырылып отыруы тиіс. Процесс тұрақты температурада жүргендіктен, берілген сұйыққа бірлік уақытта әкелінетін жылу мөлшері бірдей, уақытқа байланысты өзгермейді. Температура өзгертін болса сұйыққа берілетін жылу мөлшері де өзгереді. Бұл жылу сұйықты буландыруға жұмсалады, сондықтан меншікті (жасырын) булану жылуы деп аталады және λ әріпімен белгіленеді. Ал, конденсациялану процесінде, керісінше, меншікті булану жылуына тең жылу бөлінеді, яғни, $-\lambda$. Жасырын булану (конденсациялану) жылуының өлшем бірлігі Дж/кг және ол мына формулалар арқылы анықталады:

$$Q = m\lambda, \quad Q = -m\lambda.$$

Тұрақты қысымдағы қайнап тұрған сұйықтың температурасы өзгермейді. Сұйыққа берілетін жылу мөлшерінің басым көпшілігі, оны қыздыруға жұмсалады, ал азғантай бөлігі буландыруға жұмсалады. Қайнау басталу үшін, сұйықта қайнау центрлері, ауаның көпіршіктері пайда болуы тиіс, яғни, жүйе екі фазалы болуы қажет. Сұйық құйылған ыдыс қабырғаларына жабысқан ауа көпіршіктері булану нүктелерінің қызметін атқарады. Көпіршік ішіндегі сұйықтың булануы нәтижесінде ол үлкейіп Архимед күшінің әсерінен сұйық бетіне қалқып шығады да жарылады, сұйық қайнайды. Ыдыс қабырғасынан бөлінген көпіршіктің орнында майда көпіршіктер қалады және олар жаңа булану нүктелеріне айналады.

Қайнау кезінде температура тұрақты сақталуы тиіс, себебі, оның аз ғана өзгерісі буланудың интенсивтілігін арттырады, ал ол сұйық температурасын төмендетеді де, бұрынғы тепе-тең күй қайта орнайды. Көпіршік пайда болатын газ қайнайтын сұйықтың буы емес, ауа немесе басқа бір газ болуы керек, себебі, ол сол сұйықтың буынан тұратын болса, температураның өсуіне сәйкес қысымның артуы, оны конденсациялануға мәжбүр етеді де көпіршік көлемінің жоғалуына әкеледі. Ал көпіршікте басқа газ болса, температураның жоғарылауына сәйкес оның қысымы да көлемі де артады.

Сұйықтағы көпіршіктің тепе - тең күйде табылу шарты мына теңдеумен анықталады:

$$P_0 + \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = P + \rho gh + \frac{2\sigma}{r},$$

мұндағы $P = f(T)$ - көпіршіктің ішіндегі қаныққан бу қысымы, $\frac{m RT}{\mu V}$ - көпіршіктегі ауа қысымы, P_0 – атмосфералық қысым, ρgh - көпіршік тұрған жердегі сұйық деңгейінің гидростатикалық қысымы, $\frac{2\sigma}{r}$ - көпіршіктің иілген беті түсіретін Лаплас қысымы, ρ - сұйықтың тығыздығы, ал V - көпіршіктің көлемі.

Көпіршік өзі жабысып тұрған қабырғаға белгілі күшпен F тартылып тұрады. Бұл тарту күші, көпіршік қабырғадан бөлінгенше Архимед күшінен үлкен болуы тиіс, яғни,

$$F > \rho V g$$

Көп қайнату арқылы, аса қызған сұйық күй алынады. Бұл кезде сұйықтағы еріген газдың барлығы ауа көпіршіктерімен шығып бітеді, ал жаңа көпіршіктер толығынан будан тұрады. Мұндай көпіршіктер, $P_0 + \frac{m RT}{\mu V} = P + \rho gh + \frac{2\sigma}{r}$ өрнектің оң жағындағы қысымға төтеп бере алмайды, көпіршіктің көлемі, Архимед күші оны ұстап тұратын күштерді жеңетіндей, мөлшерге дейін өспейді. Сұйықтың температурасы едәуір көтерілгенімен, ол қайнамайды. Бірақ бұл күй ұзаққа созылмайды. Біршама уақыттан соң аса қызған сұйық, қопарылысқа ұқсап, бірден қайнайды. Бұл жағдайда ыдыс жарылып кетуі мүмкін, ал ол айналаға аса қауіпті. Сондықтан, оны болдырмау үшін арнайы шаралар қолданады. Мысалы, сұйығы бар ыдысқа, қызған кезде ауаны көп бөліп шығаратын, күймеген фарфор, керамикалық түтіктер сияқты кеуек заттар салынады. Ыдыстың ішкі қабырғаларын газ молекулалар жабысып тұра алатындай, кедір-бұдыр етіп жасайды, ол жып-жылтыр болып тегістелмейді.

Булану жылуы екі бөліктен құралады. Бірі, молекуланы беттік қабаттан алып өтетін шығару жұмысын жасауға, ал екіншісі мына өрнек арқылы анықталатын $P\Delta V$, ұлғаю жұмысын жасауға жұмсалады. Сұйықтардың жасырын булану жылуын анықтаудың әртүрлі әдістері бар. Бұлардың көпшілігінде, булану (конденсациялану) процесінде жұмсалатын (бөлінетін) жылу мөлшерін есептеуге негізделген, калориметрлер қолданылады.

Көз алдымызға келтірейік, m массалы бу температурасы t болған суға қосылған болсын. Бұл уақытта біріншіден T температурадағы (судың қайнау температурасында) суға айналған бу $\lambda \cdot m$ ге тең жылулық мөлшері ажыратады (λ - меншікті бу пайда болу жылулығы) және екіншіден T температуралы бұл бу θ ге дейін

салқындап және $cm(T-\theta)$ ге тең жылулық мөлшері шығарады (c – судың меншікті жылулық сыйымдылығы).

Сонымен, бұл будың өзінен ажыратқан жылулық мөлшері $\lambda \cdot m + cm(T-\theta)$ ден тұратын болады. Бұл жылулық мөлшері калориметрдегі суды, калориметрді және термометрді жылыту үшін жұмсалады, нәтижеде олар бастапқы t температурадан жалпы θ температураға дейін жылиды. Егер калориметрдегі су массасы m_1 болса, ол $cm_1(\theta-t)$ мөлшерде жылулық қабылдайды. Калориметрдің массасы m_2 және меншікті жылулық сыйымдылығы c_1 болсын. Ол күйде калориметр қабылдаған жылулық мөлшері $c_1 m_2 (\theta-t)$ болады. Жылулықтың баланс теңдеуі төмендегіше жазылады:

$$\lambda m + cm(T-\theta) = cm_1(\theta-t) + c_1 m_2 (\theta-t),$$

бұдан:

$$\lambda = \frac{(cm_1 + c_1 m_2)(\theta-t) - cm(T-\theta)}{m}$$

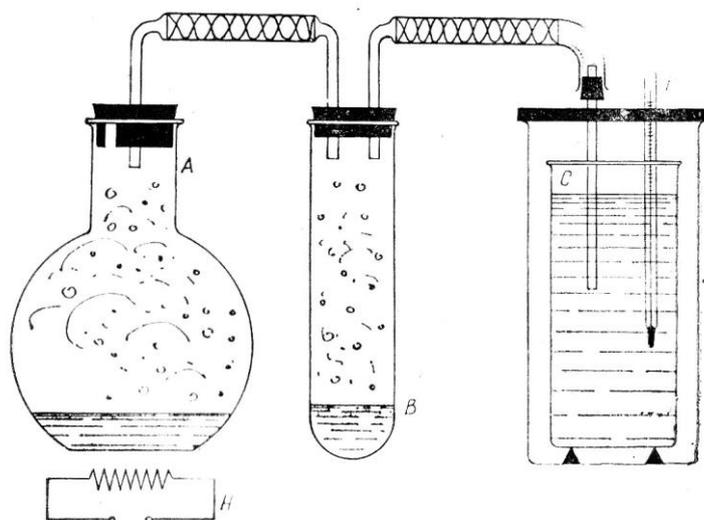
Меншікті бу пайда болу жылулығын анықтау үшін жұмсалатын калориметр үсті жабық металл ыдыстан құралған болып, жоғары бөлігінде бу кіргізу үшін және термометр үшін екі тесігі бар (38-сурет). Бу құратқыш В түтік қабырғаларында конденсацияланатын суларды жинап алып калориметрге түсуден сақтайды. Түтіктер қабырғасында терлеуді кеміту үшін оны матамен орау мүмкін.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. А ыдысқа су құйып қайнатылады.
2. Калориметр массасы m_2 техникалық таразыда өлшеп, оған су құйылып, жалпы масса m_3 өлшенеді және калориметрге құйылған судың массасы табылады:

$$m_1 = m_3 - m_2$$
3. Калориметрдегі судың бастапқы температурасы t ны өлшеп, оның ішіне бу кіргізіледі.
4. Судың температурасы үй температурасынан $5-7^0$ жоғары болғаннан кейін, бу келетін түтікті судан жылдамдықпен шығарып, қоспа температурасы θ өлшеп алынады.
5. Судың қайнау температурасы T қысымға қарап кестеден немесе төмендегі формуладан табылады:

$$T = 100 + 0,0375(H - 760)^0 C,$$
 мұнда H -мм сын.бағ.да өрнектелген атмосфера қысымы.
6. Калориметрдің суымен бірге массасы m_4 өлшенеді және суға айналған будың массасы $m_6 = m_4 - m$ қатынастан табылады.



38- сурет

Алынған нәтижелер төмендегі кестеге жазылады және $\lambda = \frac{(cm_1 + c_1m_2)(\theta - t) - cm(T - \theta)}{m}$ формула жәрдемінде λ анықталады.

Тәжірибе кемінде үш рет қайталанып, λ ның орташа мәні және тәжірибенің қателіктері есептелінеді.

№	m, кг	$c_1, \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	m ₁ , кг	t, °C	θ, °C	T, °C	M, кг	$\lambda \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$	қателіктер		
									$\bar{\lambda}$	$\Delta\lambda$	№, %
1											
2											
3											
4											
5											

?

1. Сұйықтардың булану және қайнау құбылыстарын түсіндіріңіз.
2. Буланудағы жасырын жылулық деп неге айтылады?
3. Қаныққан бу деп неге айтылады?
4. Меншікті булану жылулығы немесе мольдік булану жылулығы деп неге айтылады? Олардың бірлігі не?
5. Қаныққан бу қысымы мен температурасының байланысын түсіндіріңіз?
6. Жұмыстағы жылулық баланс теңдеуін келтіріп шығарыңыз. Буланудағы жасырын жылулықтың өрнегін жазыңыз.

7. Қондырғының түзілісін және жұмыстың орындалуын сипаттаңыз.
8. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ ЖЫЛУЛЫҚТАН ҰЛҒАЮ КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Тиісті қондырғылардан пайдаланып, қатты денелердің сызықты және көлемдік ұлғаю коэффициенттерін анықтау.

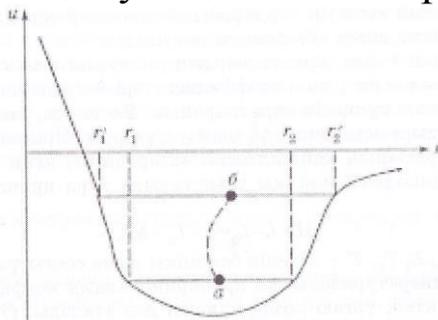
Қажетті құралдар: 1) арнайы қондырғылар, 2) әр түрлі үлгілер жиынтығы, 3) су булатқыш, 4) ұзындық индикаторы, 5) резина түтіктер, 6) миллиметрлі сызғыш, 7) штангенциркуль.

Теориялық негіздеме

Қатты денелерді құрайтын бөлшектердің жылулық қозғалысы газдар мен сұйықтардағыдан мүлдем өзгеше. Атом аралық қашықтықтардағы өзара әсері күшті болғандықтан, кеңістік тордың түйініндегі бөлшектер тепе-тең күйдің маңында тербеліп қана тұра алады. Бөлме температурасында, бұл тербелістің амплитудалары атом аралық қашықтықтың 10-15% құрайды (шамамен $(0,1 \div 0,2) \cdot 10^{-10}$ м). Көрші атомдардың байланысымен анықталатын бұл күрделі тербелістердің, кристалл денелердің қасиеттерінің анизотроптылығы салдарынан белгілі бағыттары болмайды.

Жалпыға мәлім, кристалдар қызғанда көлемін ұлғайтады. Оны *жылулық ұлғаю* деп атайды. Кристалды құрайтын кеңістік тордағы атомдардың өзара әсерінің бағыттарының әртүрлілігі, олардың тербелістерінің анизотроптылығына әкеледі. Бұл монокристалдың әр бағыттардағы сызықтық ұлғаюлары түрліше болуын қамтамасыз етеді. Қыздырған кездегі дененің ұлғаюы, оны құрайтын атомдардың тербеліс амплитудасының өсуінен емес. Осыны қарастырайық.

Жылулық ұлғаю кеңістік тордың түйіндеріндегі атомдардың тербеліс энергиясының өсуінің есебінен жүзеге асады (39-сурет).



39- сурет

Суретте атомдардың өзара әсерінің толық энергиясының өзгерісін сипаттайтын қисық кескінделген. Онда a горизонталь сызық, кеңістік тордағы атом энергиясының бөлме температурасындағы бастапқы мәнін білдіреді. Оның энергия қисығымен қиылысу нүктелері r_1, r_2 , бөлшектің тербеліс амплитудаларының шекті нүктелері. Осы сызықтың ортасы атомның берілген температурадағы тепе-тең күйін сипаттайды.

Температура өскенде атом b сызығымен кескінделген жоғары энергетикалық деңгейге ауысады. Суреттен b сызығының a дан ұзын екендігі, оның r'_1, r'_2 тербеліс амплитудаларының шекті нүктелерінен айқын көрінеді. Энергия қисығының асимметриялы екендігінен графиктен тепе-тең күйді сипаттайтын нүктенің (b) оңға жылжығаны байқалады. Осыдан, қыздырғанда атом аралық қашықтық өседі және соған сәйкес кристалл өз өлшемдерін ұлғайтады деген қорытынды жасалады. Бірақ, егер атомдар гармониялық тербелсе, олар бір көршісіне жақындағанда екіншісінен қашықтап, екіншісіне жақындағанда біріншісінен алыстар еді де, атом аралық қашықтық өзгермес еді. Бұл кезде дененің көлемі тұрақты қалатыны түсінікті. Сонда қалай?

Шындығында, кеңістік тордағы бөлшектердің тербелісі, олардың өзара әсерлесу сипатына сәйкес ангармониялы болады. Үлкен қашықтықтарда, атомдар арасындағы тартылыс күштері артық, ал кіші қашықтықтарда тербеліс күштері басым. Бұдан, атом тербелісінің амплитудасы өскен сайын, олардың бірін-бірі тебу күші тартылыс күшінен біршама артықтау болатындығы және соған сәйкес, кеңістік тордың түйіндеріндегі бөлшектердің ара қашықтығы да өсетіндігі байқалады. Сондықтан, қатты денелердің қызған кездегі ұлғаюының негізгі себебі, оны құрайтын кеңістік торлардағы бөлшектер тербелісінің ангармониялығы деген қорытынды жасалады.

Мөлшерлі түрде, кристалдардың жылулық ұлғаюы сызықтық және көлемдік ұлғаю коэффициенттерімен сипатталады. Сызықтық ұлғаю процесін қарастырайық. Бастапқы ұзындығы L_0 денені қыздырғанда, оның ΔL , шамаға ұзаруы: біріншіден, оның температурасының қаншалықты өзгергеніне, яғни $T - T_0 = \Delta T$ мәніне, екіншіден бастапқы ұзындығына тура пропорционал. Демек,

$$\Delta L = L - L_0 = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

мұндағы L_0, L, T_0, T - дененің бастапқы және соңғы ұзындықтары мен температуралары, ал пропорционалдық коэффициент α оның

сызықтық ұлғаю коэффициенті деп аталады. $\Delta L = L - L_0 = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$ формуладан оны мына түрде анықтауға болады:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

Дененің сызықтық ұлғаю коэффициенті деп, температурасын бір градусқа өсіргендігі, оның ұзындығының салыстырмалы өзгерісіне тең шаманы айтады. Өрнектен сызықтық ұлғаюдың өлшемі $\frac{1}{K}$ екендігі білінеді.

Қыздыру кезіндегі дене көлемінің өзгерісі де дәл осы жолмен анықталады. Бұл кезде, дене көлемінің абсолют өзгерісі $\Delta V = V - V_0$, оның бастапқы көлеміне V_0 және температуралар айырмасына $\Delta T = T - T_0$ тура пропорционал. Олай болса,

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T, \quad \beta = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T},$$

мұндағы V_0 , V , T_0 , T - дененің бастапқы және соңғы көлемдері мен температуралары, ал β - дененің көлемдік ұлғаю коэффициенті. Ол денені бір градусқа қыздыру кезіндегі оның көлемінің салыстырмалы өзгерісін сипаттайды. Айта кету керек, бастапқы температура үшін 0°C немесе 273K алынады. Жоғарыда айтылғандардан дененің соңғы ұзындықтары мен көлемдерін анықтау қиын емес:

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T), \quad V = V_0(1 + \beta \cdot \Delta T)$$

және

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot t), \quad V = V_0(1 + \beta \cdot t)$$

Соңғы өрнектегі t Цельсий шкаласы бойынша 0°C -дан басталатын температураның өзгерісі.

Кристал денелердің анизотроптылығы салдарынан, оның сызықтық ұлғаю коэффициенті әр бағытта әртүрлі. Егер зерттелетін кристалдан шар жасап қыздыратын болса, ол шардың пішіні эллипсоидқа ауысу мүмкіндігі туады, себебі, осьтері кристаллографтық осьтермен тығыз байланысты. Сондықтан, эллипсоидтың үш осьіне сәйкес сызықтық ұлғаю коэффициенттері a_1 , a_2 , a_3 кристалдың негізгі сызықтық ұлғаю коэффициенттері болып саналады. Ал кристалдың көлемдік ұлғаю коэффициенті былай анықталады:

$$\beta = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3.$$

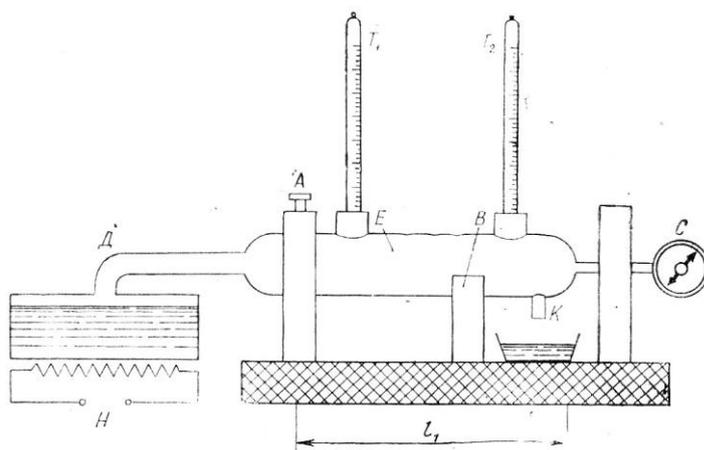
Кубтық симметриялы кристалдар үшін $a_1 = a_2 = a_3 = a$. Олай болса $\beta = 3\alpha$

Поликристалдар үшін сызықтық ұлғаю коэффициенті үш бағытта да бірдей, яғни, $a_1 = a_2 = a_3$. Олай болса, көлемдік ұлғаю коэффициенті барлық уақытта $\beta = 3\alpha$. Монокристалдар үшін сызықтық ұлғаю коэффициенті, оның әр бағыты үшін әртүрлі. Мысалы, кварцтың Х осьінің бойымен есептелген сызықтық ұлғаю коэффициенті $7,8 \cdot 10^{-7} \frac{1}{K}$, ал осы оське перпендикуляр бағыттағы сызықтық ұлғаю коэффициенті $11,2 \cdot 10^{-7} \frac{1}{K}$. Төменгі температураларда ұлғаю коэффициенттерінің асауы температураның кубына тура пропорционал және абсолют нөлде нөлге ұмтылады.

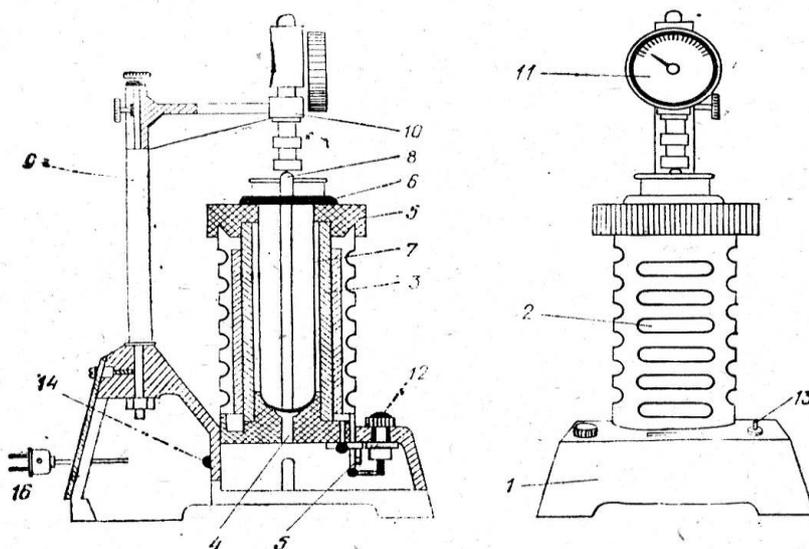
Бұл жұмыста екі түрлі метод келтіріледі: 1.Д.И.Менделеев қондырғысы -классикалық метод жәрдемінде изотроп денелер (металлдар)дің сызықты ұлғаю коэффициентін анықтау және 2.Қазіргі уақытта жалпы білім беру мектептерінде қолданылатын арнайы қондырғы қатты денелердің ұлғаю коэффициентін анықтау аспабы (ПРТТ) жәрдемінде сызықты ұлғаю коэффициентін есептеу.

Қондырғылардың түзілісін жеке-жеке көріп шығамыз.

1.Қондырғы Е металл түтіктен құралған болып, жылуды изоляциялаушы материалмен оралған болады (40-сурет). Түтіктің бір ұшы А тіреуішке бекітілген және екінші ұшы В тіреуішке еркін қойылған болады. Түтіктің жабық ұшы тегістелген, оған С ұзындық индикаторының стержені тиіп тұрады. Индикатордың әр бір бөлігі 0,01 мм ге туры келеді. Жылытқыш Н жәрдемінде Д ыдыстағы су қайнатылады, нәтижеде түтіктің бір ұшынан бу кіріп екінші ұшынан шығады. T_1 және T_2 термометрлер түтіктің әр екі ұшындағы температураларды өлшеу үшін қызмет етеді. Түтікте конденсацияланған бу сулары кесе К ға келіп түседі.



40 - сурет



41 – сурет

2. Қондырғы (41-сурет) 1 корпустан құралған болып, оған 2 қорғау қорабы бекітілген. Қорап ішінде 3 жылытқыш орналастырылған болып, екі жағынан 4 тіреуіш және 5 қақпақ пен центрлестірілген. Тәжірибе уақытында 6 жылытқышқа қысқыш арқылы 7 шиша пробиркаға құйылған 8 стержень орналастырылады. Қондырғы корпусында 9 стойка бекітілген болып, ол 10 кронштейн және 11 индикатор мен қамтамасыз етілген. Кронштейн өз осы айналасында 90° қа бұрыла алады. Корпус панелінде 12 индикаторлы лампа 13 кнопкалы включатель орналастырылған, ішкі бөгетке 14 жерге қосу винті орналасқан. Корпус ішінде тіреуіште 15 предохранителді ұстағыш орналастырылған. 16 штепселді вилка қондырғының кернеуін 220 В болған тармаққа қосу үшін мөлшерленген. Қондырғының істеу принципі электротермализацияға негізделген. Тексерілетін үлгі шиша пробиркадағы суға орналастырылады және қыздырылады. Ұзындықтың өзгеруі индикатор жәрдеміне есептеп алынады және тиісті формулаға қойып есептеледі.

Жұмысты орындау тәртібі:

1-ші қондырғы бойынша

1. Су қайнатқыш Д ға шамамен 3/4 бөлік су құйылып, ол резина түтік жәрдемінде Е түтікпен бірлестіріледі және түтік А тіреуішке сондай бекітіледі, индикатордың стержені түтікке тиіп, оның стрелкасы азғана ығыссын.

2. Түтіктің А тіреуішке бекітілген жерінен екінші ұшына дейін болған ұзындық l_1 сызғыш жәрдемінде 0,5 мм анықтыққа дейін өлшеп алынады.

3. Термометрлерді сондай орналастыру керек, оның сынапты ұштары түтік ішінде орналассын, олардың көрсетулері T_1 және T_2 ні жазып алып, бастапқы температура $t_1 = \frac{T_1 + T_2}{2}$ ні есептеу қажет.

4. Су қайнатқышты Н электр плиткасы үстіне орналастырып, электр тармағына қосылады және индикатордың барабанын айналтырып, шкала “О”ге келтіріледі. Сонан соң қондырғыға тиюге тыйым салынады.

5. Су қайнатқыш және К кесеге бу түсе бастаған соң және 10-15 минут күтіп, термометрлердің көрсеткіштері T_1^1 және T_2^1 ге жазып алынады және соңғы температура $t_2 = \frac{T_1^1 + T_2^1}{2}$ есептелінеді.

Индикатордан Δl ұзаруыда есептелінеді.

6. Бұл тәжірибені кемінде 3 рет қайталап l_1, t_1, t_2 және Δl мәндері негізінде $\alpha = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{l_1} \frac{\Delta l}{t_2 - t_1}$ формула көмегінде сызықты және көлемді ұлғаю коэффициенттері есептелінеді. Алынған және есептелген нәтижелер төмендегі кестеге жазылады:

Тәжірибелер	Металл							
	$l_1, м$	t_1, K	t_2, K	$\Delta l, м$	α, K^{-1}	$\bar{\alpha}, K^{-1}$	α, pK^{-1}	$\bar{\alpha}p, K^{-1}$
1								
2								
3								
4								

2-ші қондырғы бойынша:

1. Қондырғы комплектіндегі пробиркалар $\frac{1}{2}$ бөлігіне тең сумен толтырылып, олардың әр біріне тексерілетін стержень орналастырылады.
2. Стерженнің сферик соңы пробирканың түбіне орналасуы қажет.
3. Қондырғы әрине жерге қосылуы керек.
4. Штепселді вилка электр тармағына қосылады.
5. Шеңберлі кронштейнге индикаторды орнатып, бір шетке айналтырып қою қажет.
6. Пробиркалардан біріндегі судың температурасы лаборатория термометрі жәрдемінде өлшеп алынады.
7. Тексерілетін стерженді пробирка резиналы проклатка және қақпақтағы кеуек арқылы ысытқышқа кіргізіледі.
8. Индикатор стержені жоғарыға тартылып, пробиркадағы стерженнің ойық ұшына орналастырылады.
9. Индикатор шкаласындағы күй анықталады. (бірінші тәжірибеде оны “О” күйге қою керек).
10. Содан кейін қондырғыдағы кнопка басылып, токқа қосылады. Мұнда индикатор лампасы жануы керек.

Пробиркадағы су қайнағанда ондағы стерженнің температурасы судың қайнау температурасына теңдеседі. Ұзындықтың қаншаға артуы индикатор жәрдемінде есептеп алынады. Тәжірибені қайталау немесе жалғастыру үшін включатель жәрдемінде аспап токдан үзіледі, индикатор және шетке ығыстырып қойылады, жылыған пробирка басқасымен алмастырылады, басқа үлгілер үшін де 5-10 пункттер қайталанады. Бұл методда да бастапқы ұзындық (l_1), температураны (t_1) және артқан ұзындықты (Δl) және соңғы температураны (судың қайнау температурасын (t_2)) деп алып
$$\alpha = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{\Delta l}{t_2 - t_1}$$
 формула жәрдемінде және кейін α_p есептелінеді, нәтижелер кестеге жазылады.

Әр екі метод үшін да салыстырмалы және абсолют қателіктер есептелінеді.

?

1. Жылулық ұлғаю деп неге айтылады?
2. Қатты денелердің сызықты және көлемдік ұлғаюларын түсіндіріңіз.
3. Дененің сызықтық ұлғаю коэффициенті деп неге айтылады?

4. Бірінші қондырғының түзілісі және жұмыстың орындалуын баяндаңыз.
5. Екінші қондырғының түзілісі және жұмыстың орындалуын баяндаңыз.
6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ МЕНШІКТІ ЖЫЛУЛЫҚ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫН ЖӘНЕ РЕАЛ ЖҮЙЕНІҢ ЭНТРОПИЯСЫНЫҢ ӨЗГЕРУІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Қарапайым калориметр жәрдемінде қатты дененің меншікті жылулық сыйымдылығын және жүйе үшін энтропия өзгеруін тәжірибеде анықтау.

Қажетті аспап және материалдар: 1) калориметр, 2) екі термометр, 3) тексерілетін қатты денелер, 4) жылулық көзі, 5) су қайнатқыш, 6) техникалық таразы және оның тастары.

Териялық негіздеме.

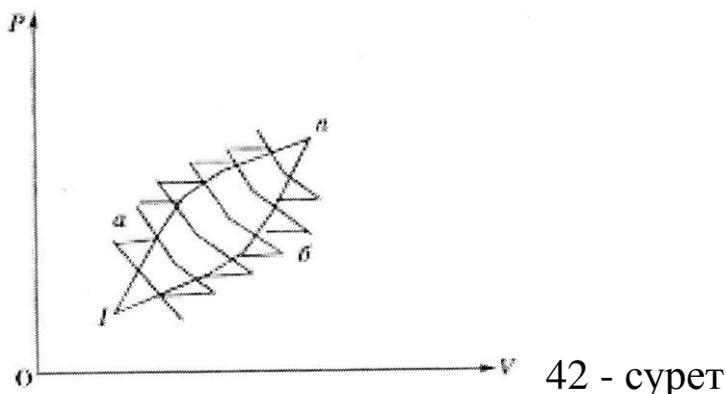
Карно циклымен жұмыс істейтін идеал жылу машинасының ПӘК-і мына өрнек арқылы анықталады:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Осыны Q_1 мен T_1 -ге жекелеп бөлу арқылы мына түрге келтіруге болады:

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad \text{осыдан} \quad \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}.$$

Соңғы қатынас *келтірілген жылу мөлшері* деп аталады. Карно циклымен изотермиялық ұлғаю және сығылу процестері жүзеге асырылғанда келтірілген жылу мөлшерлерінің қатынастары тең. Енді 1 *анб* 1 тепе-тең циклды қарастырайық (42-сурет).



Тура $1an$ және кері $nб1$ ауысуларды бір-біріне жақын адиабаталарға бөліп әр кескіннің ортасынан изотермалар жүргізейік. Сонда 42-суреттегі цикл өте кіші Карно циклдарының жиынынан құралады. Әр цикл үшін келтірілген жылу мөлшерлерінің теңдігі орындалады. Яғни,

$$\frac{dQ_{a1}}{T_{a1}} = \frac{dQ_{\delta 1}}{T_{\delta 1}}; \frac{dQ_{a2}}{T_{a2}} = \frac{dQ_{\delta 2}}{T_{\delta 2}}; \frac{dQ_{a3}}{T_{a3}} = \frac{dQ_{\delta 3}}{T_{\delta 3}}; \dots$$

Бұдан Клаузиус келтірілген жылу мөлшерлерінің қосындысы ауысу жолына байланысты емес деген қорытынды жасаған:

$$\sum_{i=1}^n \frac{dQ_{ai}}{T_{ai}} = \sum_{i=1}^n \frac{dQ_{\delta i}}{T_{\delta i}}$$

Қайтымсыз жылу машинасы үшін

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \text{ немесе } \frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2};$$

Осыны $\sum_{i=1}^n \frac{dQ_{ai}}{T_{ai}} = \sum_{i=1}^n \frac{dQ_{\delta i}}{T_{\delta i}}$ формуламен біріктіріп жазу арқылы мынадай теңдік (теңсіздік) алынады:

$$\frac{Q_1}{T_1} \leq \frac{Q_2}{T_2} \text{ немесе } \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

Егер қыздырғыштың берген жылуын оң, суытқыштың алған жылуын теріс деп санасақ, жоғарыдағы $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$ формула мына түрге келеді: $\frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$ немесе жалпы түрде $\sum_{i=1}^n \frac{dQ_i}{T_i} \leq 0$.

Дене күйін үнемі өзгерту кезінде, оны температурасы үздіксіз өзгеріп отыратын, өзара жылу алмасатын қыздырғыш пен суытқыштың тізбекті қатарынан тұрады деп санауға болады. Сонда осы қыздырғыштың немесе суытқыштың әрқайсысы жұмыстық денеге элементар dQ жылу береді немесе одан сонша жылу алады.

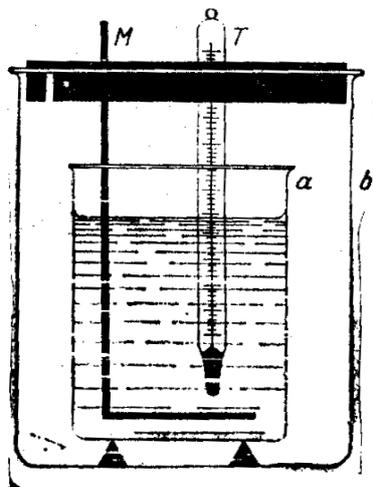
Осыдан $\sum_{i=1}^n \frac{dQ_i}{T_i} \leq 0$ қосынды мынандай интегралға айналады:

$$\int \frac{dQ}{T} \leq 0$$

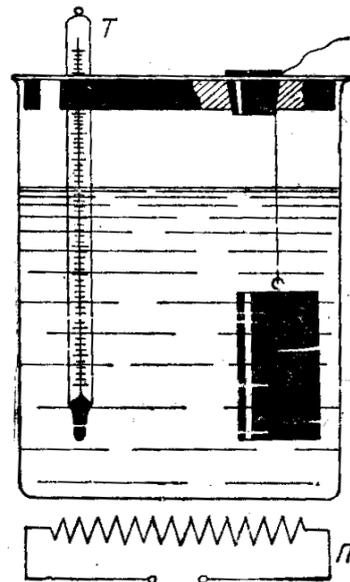
Бұл қатынас термодинамиканың екінші заңының жалпы өрнегі болып табылады және Клаузиус теңдігі (немесе теңсіздігі) деп аталады. Енді жоғарыдағы (42-сурет) қайтымды циклды қарастырайық. Бұл қайтымды цикл үшін $\int \frac{dQ}{T} \leq 0$ формула екі интегралдың қосындысы ретінде жазылады:

$$\int_{1a}^n \frac{dQ}{T} + \int_{n\delta}^1 \frac{dQ}{T} = 0$$

жіпке байлап тексерілетін дене суға түсіріледі. Су ысытқыш П жәрдемінде қайнатылады. Оның температурасы T термометр жәрдемінде өлшенеді.



43 – сурет



44 - сурет

Қатты дененің меншікті жылулық сыйымдылығын анықтауда аралас әдісінен пайдаланылады. Ойымызша, меншікті жылулық сыйымдылығы c болған m массалы қатты дене T градусқа дейін қыздырылып, суы бар калориметрге батырылсын. Калориметрдегі судың массасы m_1 , меншікті жылу сыйымдылығы c_1 , температурасы T_0 болып, калориметрдің массасы m_2 , меншікті жылу сыйымдылығы c_2 және температурасы T_0 болсын. Бұл уақытта қатты дененің температурасы төмендеп, калориметр және ондағы судың температурасы көтеріледі. Белгілі уақыттан соң бұл температуралар теңеседі. Ойлауымызша, соңғы температура T_1 болсын. Бұл уақытта қатты дене өзінен шығарған жылулық мөлшері:

$$Q = cm (T - T_1)$$

Калориметрдегі су қабылдаған жылулық мөлшері:

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_1 - T_0)$$

Калориметр қабыл қылған жылулық мөлшері:

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_1 - T_0)$$

болады.

Араластыру әдісіне негізделіп қатты дене шығарған және калориметрмен су қабыл қылған жылулық мөлшерлері бір – біріне тең болғаны үшін, жылулықтың баланс теңдеуін төмендегіше жазу мүмкін:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = cm(T - T_1), Q_1 = c_1 m_1 (T_1 - T_0), Q_2 = c_2 m_2 (T_1 - T_0)$$

теңдеулерді есепке алып, $Q = Q_1 + Q_2$ ні төмендегіше жазамыз:

$$cm(T - T_1) = c_1 m_1 (T_1 - T_0) + c_2 m_2 (T_1 - T_0)$$

$cm(T - T_1) = c_1 m_1 (T_1 - T_0) + c_2 m_2 (T_1 - T_0)$ теңдеуден қатты дененің меншікті жылулық сыйымдылығы:

$$c = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)(T_1 - T_0)}{m(T - T_1)}$$

болады. (T_0 – үйдің температурасы, T – судың қайнау температурасы, T_1 – қыздырылып суға салынғаннан кейінгі температура, c_2 – алюминийдің меншікті жылу сыйымдылығы алынады, себебі, калориметр алюминийден дайындалған).

Егер қыздырылған дененің суы бар калориметрге түсіруден алдыңғы күйінен калориметр ішіндегі суға түсіруден кейінгі температуралық тепе – теңдік күйіне өтуіндегі энтропия өзгеруін ΔS_1 деп алсақ, оны төмендегіше жазу мүмкін:

$$\Delta S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_T^{T_1} \frac{cm dT}{T} = cm \ln \frac{T_1}{T}$$

Жүйенің температурасы қоспа температурасына ие болғанда калориметр және калориметрдегі су энтропиясының өзгеруі $\Delta S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_T^{T_1} \frac{cm dT}{T} = cm \ln \frac{T_1}{T}$ ге ұқсас тәрізде есептелінсе, сай күйде төмендегіше болады. Калориметр үшін:

$$\Delta S_2 = c_2 m_2 \ln \frac{T_1}{T_0}$$

және калориметрдегі су және араластырғыш үшін:

$$\Delta S_3 = c_1 m_1 \ln \frac{T_1}{T_0}$$

Толық жүйе энтропиясының өзгеруі төмендегіше болады:

$$\Delta S = (m_1 c_1 + m_2 c_2) \ln \frac{T_1}{T_0} + cm \ln \frac{T_1}{T}$$

немесе

$$\Delta S = 2,3 \left[(c_1 m_1 + c_2 m_2) \lg \frac{T_1}{T_0} + cm \lg \frac{T_1}{T} \right]$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Қатты дененің меншікті жылулық сыйымдылығын анықтау үшін алдын оның массасы m ды таразыда өлшеп алынады.
2. Денені ысыту үшін оны жіпке байлап, су қайнатқышқа орналастырылады. Тексерілетін дене және термометр су

қайнатқышқа орналастырылғаннан кейін электр плиткасына қойып ысытылады. Су қайнағаннан кейін оның температурасы T жазып алынады.

3. Калориметр және M араластырғыштың біргеліктегі массасы m_2 таразыда өлшеп алынады.

4. Калориметрдің $\frac{2}{3}$ бөлігіне дейін салқын су құйылады және массасы анықталынады. Егер калориметр араластырғыш және судың біргеліктегі массасы m_3 болса, судың массасы $m = m_3 - m_2$ болады. Содан кейін калориметр (араластырғышпен бірге) сыртқы ыдыс ішіне орналастырылады.

5. Калориметрдің ішіндегі судың температурасы өлшеп алынады және оны қайнатқыштың алдына қойылады. Тексеріліп жатқан дене сақтықпен қысқа уақыт ішінде су қайнатқыш ішінен алынып, калориметрдің ішіне салынады және ол ысытқыштан ұзақтастырылады.

6. Араластырғыш жәрдемінде суды қозғап тұрып, температураның көтерілуі күзетіледі. Температура алдын көтеріліп, кейін түсе бастайды. Қоспаның ең жоғары температурасы T_1 өлшеп жазып алынады. Бұл тәжірибе және екі рет қайталанып, жазып алынған нәтижелер негізінде

$$c = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)(T_1 - T_0)}{m(T - T_1)}$$

теңдеу жәрдемінде қатты дененің меншікті

$$\text{жылулық сыйымдылығы және } \Delta S = 2,3 \left[(c_1m_1 + c_2m_2) \lg \frac{T_1}{T_0} + cm \lg \frac{T_1}{T} \right]$$

жәрдемінде жүйе энтропиясының өзгеруі есептеп табылады.

7. Алынған нәтижелер негізінде c және ΔS үшін орташа мән, абсолют және салыстырмалы қателіктер есептелінеді.

Нәтижелер төмендегі кестеге жазып қойылады:

Тәжіри белер	$m, \text{кг}$	$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$T_0, \text{К}$	$T, \text{К}$	$T_1, \text{К}$	$c_1, \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	c_1			
1											
2											
3											
4											

?

1. Келтірілген жылу мөлшері деп неге айтылады?
2. Қатты денелердегі жылулық қозғалысы неден тұрады?
3. Жылулық сыйымдылығын өлшеу әдістері және калориметрлердің түзілісін түсіндіріңіз.
4. Жылулық мөлшері, жылулықтың баланс теңдеуі қандай түзіледі?
5. Энтропия не? Жүйе энтропиясының өзгеруін қандай есептеу мүмкін?
6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

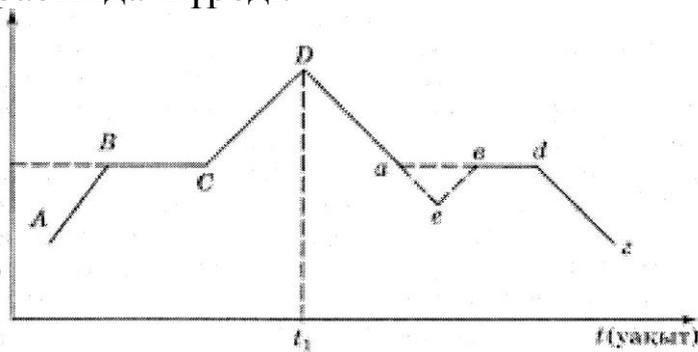
ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІҢ МЕНШІКТІ БАЛҚУ ЖЫЛУЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Тез еритін қатты денелердің меншікті балқу жылулығын анықтауды үйрену.

Қажетті аспап және материалдар: 1) таразы және оның тастары, 2) термометр, 3) калориметр, 4) жылулық көзі, 5) мұз бөлектері.

Териялық негіздеме

Кристалдың сұйық күйге айналу процесі *балқу* деп аталады. Олардың сыртқы қысымға тәуелді белгілі балқу температуралары болады. Ал, керісінше, оның сұйық күйден қатты күйге өтуін кристалдану немесе қату деп атайды және ол процесс балқу температурасында жүреді.



45 - сурет

45-суретте, температура-уақыт координаталарында қатты дененің қызу және суу кысықтарының график түріндегі кескіні келтірілген. Графиктен қисықтың *AB* бөлігі, қатты дененің балқу температурасына T_0 дейін қызатынын білдіреді. Ал *B* нүктесінде кеңістік торды құрайтын атомдардың тербеліс амплитудалары ең жоғарғы мәніне жетіп, олардың арасындағы байланыс үзіле бастайды, яғни, кристалдық денеде балқу процесі басталады. Балқу, қатты дененің жылу сіңіруімен қабаттаса жүргендіктен, тұрақты

температурада жүзеге асады. Қатты дененің балқуы түгелдей аяқталғанда ғана, оның температурасы жоғарылайды (CD-қисығы).

Егер t_1 уақыт мезетінде балқыған денені қыздыруды тоқтатып суытуды бастасақ, қисық a нүктесіне дейін төмендейді (Da - бөлік). Бұл кезде оның температурасы кристалдану температурасына теңеледі T_k , ал ол балқу температурасына тең. Сұйық қатты күйге айналу үшін онда кристалдану центрлері болуы керек және қатаю процесі жылу бөлінумен қабат жүретіндіктен тұрақты температурада жүзеге асады. Суретте кристалдану процесі ad кесіндісімен сипатталған. Егер сұйықта кристалдану центрлері жоқ болса, оның температурасы кристалдану температурасынан біршама төмендеп барып, қайта жоғарылайды (ae және eb кесінділері). Бұл кезде аса суыған сұйық алынады. Мысалы, бұлақ суын өте таза, шаң-тозаңнан арылған термостатқа құйып, температурасы $-10 \div 15$ °C су алуға болады. Ал біздің графикте, аса суыған сұйықтың кристалдануы b нүктесінен басталады да, заттың кристалдану процесі түгел аяқталғаннан соң ғана, оның температурасының төмендеуі байқалады ($d \gamma$ -кесіндісі).

Нақты жағдайларда, балқыған денелерде кристалдану центрлері өте көп болады. Сондықтан, суу процесі оның өн бойында түгелдей, бейберекет бағытталған, кіші кристалдардың түзілуімен қабат жүреді. Нәтижесінде поликристалл қатты денелер пайда болады. Сұйықтың қатты күйге немесе кристалдың сұйыққа айналулары фазалық ауысулар. Жылу алмасу болмаған жағдайда, кристалдану (балқу) температурасында, осы екі күй ұзақ уақыт тепе-тең күйде бола алады.

Балқу температурасы заттардың тазалығына өте тығыз байланысты. Кейде қатты денелерге қосылған өте аз қоспаның өзі, оның балқу температурасын елеулі мәнге өзгертеді. Кристалдың балқу жылуы да, сұйықтардағы булану жылуы сияқты, термодинамиканың бірінші заңының көмегімен анықталады:

$$Q_{\sigma} = \Delta U + P(V_c - V_k)$$

мұндағы V_k - кристалдың көлемі, V_c - оның балқыған, сұйылған кезіндегі көлемі, $V_c - V_k = \Delta V$ - осы екі күйдегі көлем өзгерісі, $\Delta U = U_c - U_k$ - қатты күйден сұйық күйге ауысу кезіндегі жүйенің ішкі энергиясының өзгерісі. Балқу кезінде қатты денелердің көлемі шамамен $10 \div 15$ % өзгереді, сондықтан, сыртқы қысымға қарсы жасалған жұмысты $P (V_c - V_k)$ ескермеуге болады. Ал, жоғарғы $Q_{\sigma} = \Delta U + P(V_c - V_k)$ өрнек мына түрде жазылады:

$$Q_{\sigma} = \Delta U$$

Нақты процестерде λ меншікті балқу жылуы деген физикалық шама пайдаланылады. Ол балқу температурасындағы 1 кг қатты затты балқытуға керекті жылу мөлшеріне тең, ал өлшем бірлігі Дж/кг. Осыдан массасы m денені балқытуға қажетті жылу мөлшері мынадай формула арқылы анықталады:

$$Q_{\sigma} = \lambda \cdot m$$

Кристалдардың балқу температурасының сыртқы қысымға тәуелділігі Клапейрон-Клаузиус теңдеуі арқылы сипатталады:

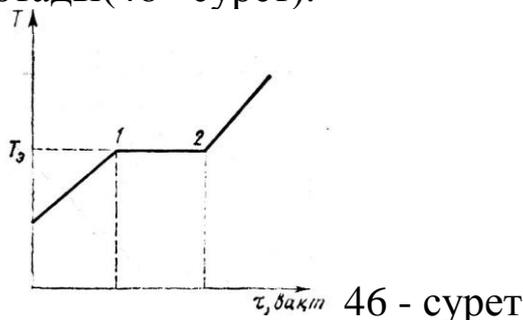
$$\frac{dT}{dP} = \frac{T(V_c - V_k)}{\lambda}$$

Бұл өрнектен $\frac{dT}{dP}$ туындысының таңбасы, теңдіктің оң жағындағы жақшаның таңбасымен анықталатыны көрініп тұр. Сондықтан, егер $V_c > V_k$ болғанда, ал мұндай заттар көпшілік, $\frac{dT}{dP} > 0$.

Демек, сыртқы қысымның өсуіне сәйкес, кристалдардың балқу температурасы жоғарылайды. Ал аздаған заттар балқығанда (мұз, висмут, сурьма, кремний және т.б.), $V_c - V_k < 0$ болғандықтан, көлемдерін кішірейтеді. Мұндай кристалдарда, сыртқы қысымның өсуі, олардың балқу температурасының төмендеуіне әкеледі, яғни:

$$\frac{dT}{dP} < 0$$

Бізге белгілі, кристалл қатты денелерге жылулық өткізілсе, оның температурасы алдын белгілі балқу температурасы t ға дейін артып барады. Денеге жылулық беру тоқтатылмаса ол толық балқығанша температурасы өзгермейді, содан кейін сұйық дененің температурасы және артады (46 – сурет).



Мұздың меншікті балқу жылулығын анықтау үшін меншікті жылулық сыйымдылығы c_1 болған m_1 массалы калориметрге m_2 массалы су құйылады. Калориметр және судың бастапқы температурасы t_0 термометр жәрдемінде анықталады. Суға $t = 0^{\circ}\text{C}$ температуралы және массасы m болған мұз бөлегі салынады. Араластырғыш жәрдемінде су араластырылады және барлық мұз

ерігеннен кейін қоспаның температурасы анықталады. Мұздың балқуында және еріген мұздың θ температураға дейін жылуында алған жылулық мөлшері:

$$Q = \lambda m + cm(\theta - t),$$

мұнда c – судың меншікті жылулық сыйымдылығы, λ – мұздың меншікті балқу жылулығы. Калориметрдің және судың сууында берген жылулық мөлшерлері:

$$Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_0) \dots$$

$$Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_0) \dots$$

Бұл уақытта жылулықтың баланс теңдеуі:

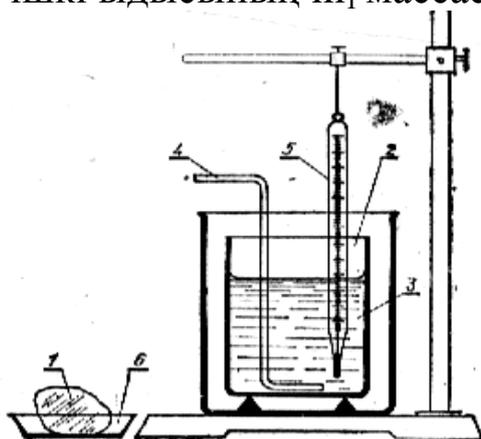
$$\lambda m + cm(\theta - t) = c_1 m_1 (\theta - t_0) + c_2 m_2 (\theta - t_0)$$

көрінісінде жазылады. Бұдан:

$$\lambda = - \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(\theta - t_0) - cm(\theta - t)}{m} \dots$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Калориметр ішкі ыдысының m_1 массасы таразыда өлшенеді.



47- сурет

2. Калориметрге жылы су құйылады және суы бар калориметрдің массасы m_3 өлшенеді.
3. $m_2 = m_3 - m_1$ ден калориметрге құйылған судың массасы анықталады.
4. Судың температурасы t_0 термометрге қарап анықталады және бірер қағаз жәрдемінде калориметрге мұз бөлегі салынады.
5. Термометр жәрдемінде су араластырылады және мұз толық еріп болғаннан кейін ең төмен температура θ анықталынады.
6. Калориметрдің ішкі ыдысы ондағы суымен бірге m_4 массасы таразыда өлшенеді және онда еріген мұз массасы m анықталынады: $m = m_4 - m_3$
7. Кестеден судың және калориметр ыдысы материалының меншікті жылулық сыйымдылықтары c және c_1 жазып

алынады және $\lambda = -\frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(\theta - t_0) - cm(\theta - t)}{m}$... формула жәрдемінде мұздың меншікті балқу жылулығы анықталынады.

8. Тәжірибе кемінде 3 рет қайталанады, абсолют және салыстырмалы қателіктер есептелінеді.
9. Алынған және есептелген нәтижелер негізінде есеп кестесі түзіледі.

T/n	$m_1,$ кг	$m_2,$ кг	$m,$ кг	$t_1,$ °C	$\theta^0,$ C	$\lambda,$ $\frac{Ж}{кг}$	$\lambda_{орт},$ $\frac{Ж}{кг}$	$\Delta\lambda,$ $\frac{Ж}{кг}$	$\Delta\lambda_{орт},$ $\frac{Ж}{кг}$	$\frac{\Delta\lambda_{орт},}{\lambda_{орт},}$
1										
2										
3										

?

1. Балқу деп неге айтамыз?
2. Меншікті балқу жылуы деген физикалық шама жайлы мәлімет берің.
3. Кристалдардың балқу температурасының сыртқы қысымға тәуелділігі қандай тендеу арқылы сипатталады?
4. Не үшін балқу нүктесінен кристалл еріп болғанша температура артпайды?
5. Мұздың меншікті балқу жылулығын анықтау үшін жұмыстың орындалу тәртібін түсінтіріп беріңіз.
6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

АУАНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН ПСИХРОМЕТР ЖӘРДЕМІНДЕ АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын психрометр жәрдемінде анықтауды үйрену

Қажетті аспап және материалдар: психрометр

Териялық негіздеме

Ауа атмосферасының құрамында барлық уақыт азба-көп су булары болады. Бұл булардың мөлшері және қанығу дәрежесі өзгеріп тұрады. *Ауада су буларының болуы, яғни ауаның ылғалдылығы бір қанша шамалар мен белгіленеді: абсолют ылғалдылық, максимал ылғалдылық, салыстырмалы ылғалдылық және шық нүкте.*

Граммдармен есептелген 1 м^3 ауадағы су буларының массасына абсолют ылғалдылық деп аталады, яғни абсолют ылғалдылық су буларының тығыздығы бойынша анықталады. Бу тығыздығымен қысымы өзара пропорционал болғаны үшін метеорологияда әдетте абсолют ылғалдылықты су буларының тығыздығымен емес, бәлкім оның мм.сын.бағ.да бейнеленген қысыммен өлшейді.

Берілген температурада 1 м^3 ауаны қанықтыру үшін қажет болған су буларының граммдармен есептелінген массасына **максимал ылғалдылық** делінеді. **Салыстырмалы ылғалдылық** деп, проценттермен есептелген P абсолют ылғалдылықтың P_m максимал ылғалдылыққа болған қатынасына айтылады.

$$r = \frac{\rho_a}{\rho_m} \cdot 100\%$$

Салыстырмалы ылғалдылық ауаның су буларынан қай дәрежеде қаныққандығын білдіреді.

Егер қанықпаған буды тұрақты қысым астында жай суыта отырылса, ол белгілі температураға жеткенде қаныққан буға айналады.

Шық нүктесі деп, ауадағы су буларының қанығу температурасына (конденсациялану нүктесіне) айтылады. Шық нүктесі ауадағы абсолют ылғалдылықты бейнелейді. Ол су буларының порциал қысымын және ауаның салыстырмалы ылғалдылығын табу мүмкіндігін береді.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын әдетте шық нүктесінде шашты, перделі немесе жарым өткізгішті гигрометрлер жәрдемінде немесе психрометр әдісінде арнайы кестелер жәрдемінде немесе есептеу жолымен анықтайды.

Адам денесінен сұйықтың булану интенсивтігі де ауадағы ылғалдылық дәрежесіне байланысты. Булану процесі адам денесіндегі температураны бірдей сақтап тұруы үшін үлкен маңызға ие. Космостық кемелерде ауаның температурасы және қысымынан тыс адам үшін қажет болған салыстырмалы ылғалдылық да нормада болуы керек (40-60%). Ылғалдылықты білу метеорологияда ауа-райын алдыннан айту үшін үлкен маңызға ие. Атмосфера су буларының мөлшері өте кем (1%ге жақын) болса да, оның атмосферада болатын құбылыстар үшін рөлі өте қажетті. Булардың конденсациялану нәтижесінде бұлттар пайда болып, жауынгершілік жүзеге келеді. Бұл уақытта үлкен мөлшердегі жылулық ажыралып шығады және керісінше, булану кезінде суу жүз береді.

Ауаның ылғалдылығын психрометриялық жолмен анықтаудың маңызы төмендегілерден тұрады. Екі бірдей термометр бірдей ауа ағымы әсерінде болсын. Бұл термометрлердің көрсетуі де бірдей болады. Егер термометрлерден бірінің сынап шары барлық уақытта ылғал болса (мысалы, шарға сумен ылғалданған дәке оралған болса), термометрлердің көрсетуі бір-бірінен айырмашылық етеді. Ылғал термометр дәке сыртынан судың булануы себепті суу нәтижесінде төменрек t_1 температураны көрсетеді. Айналадағы ауа ылғалдылығы қанша аз болса, булану жылдамдығы сонша жоғары болады және сол үшін ылғал термометрдің көрсетуі сонша төменге түсе береді. Ылғал және құрғақ термометрлер көрсетулерінің айырмасы $(t - t_1)$ ауа ылғалдылығын белгілейді, мұнда t - құрғақ термометрдің көрсетуі.

Булану тұрақты болған кезде ылғал термометрдің көрсетуі тұрақты болады және ол уақытта қоршаған ортадан ағып келетін жылулық мөлшері Q_1 , булану үшін керек болған жылулық мөлшері Q_2 ге тең болады. Онша жоғары болмаған температураларда және температуралар айырмашылығы үлкен болмағанда қоршаған ортадан τ уақытта ағып келе жатқан жылулық мөлшері Ньютон заңына негізделіп:

$$Q = a(t - t_1) \cdot S \cdot \tau$$

болады, мұнда $(t - t_1)$ - ең үлкен температуралар айырмасы, S - термометр шарының дәке оралған беті, a - пропорционалдық коэффициенті, τ уақытта буланған су массасы m Дальтон заңына негізделіп төмендегіше анықталады:

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

Мұнда H -атмосфера қысымы, P_m -булану температурасындағы судың қанықтырушы буының қысымы, яғни ылғал термометр бойынша t_1 температурада ауадағы судың қысымы, P_a -ауаның абсолют ылғалдылығы, C -пропорционалдық коэффициент болып, негізінен буланып жатқан беттен ауа ағымының жылдамдығына байланысты болады. Егер ылғал термометр температурасында судың меншікті булануы жылулығы λ болса, онда Q_2 булану жылулығын төмендегіше жазу мүмкін:

$$Q = m\lambda = \frac{C\lambda \cdot S(P_m - P_a)}{H} \cdot \tau$$

$$Q_1 = Q_2 \text{ болғаны үшін } m = \frac{C \cdot S(P_m - P_a)}{H} \cdot \tau, \text{ және } Q = m\lambda = \frac{C\lambda \cdot S(P_m - P_a)}{H} \cdot \tau$$

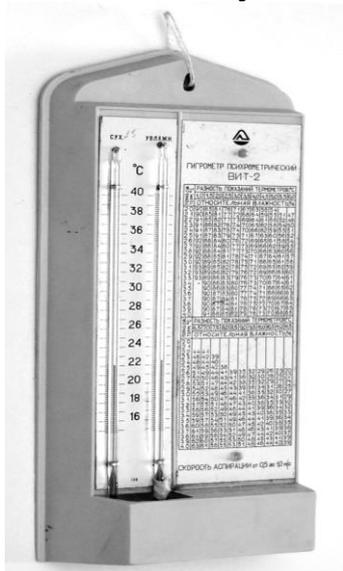
өрнектерден:

$$\frac{C\lambda \cdot S(P_m - P_a)}{H} \cdot a(t - t_1)$$

болады. Бұдан абсолют ылғалдылық: $P_a = P_m - A(t - t_1)H$ болып, ондағы $A = \frac{a}{C \cdot \lambda}$ шама психрометр тұрақтысы деп аталады.

Жұмысты орындау реті:

1. Лаборатория жұмысының теориялық негіздемесін оқып – үйреніңдер
2. Психрометр стаканшасына су салыңдар және 5 -10 минут күтің



48-сурет

3. Құрғақ және ылғал термометрдің көрсеткіштерін жазып алыңыз (мысалы, құрғақ термометрдің шкаласы 21°C , ал ылғал термометрдің көрсеткіші $19,4^{\circ}\text{C}$)
4. Құрғақ және ылғал термометрлердің айырмашылығын есептеңіз ($21^{\circ}\text{C} - 19,4^{\circ}\text{C} = 1,6$)
5. Психрометрик кестеден құрғақ термометрдің көрсеткішін және екі термометрдің айырмашылығының кездескен санды табамыз. Міне, осы табылған сан (% те) сол жердің салыстырмалы ылғалдылығы болып саналады.
6. Тәжірибені таңертең оқу немесе жұмысқа кету алдынан, түсте және оқудан кейін қайталаңыз. Кешкі мезгілде және түнде қайталаңыз. Тәжірибе өткізіліп жатқан күннің уақытын белгілеп қойыңыз.
7. Ауаның салыстырмалы және абсолют ылғалдылығын температураға байланыс графигін миллиметр қағазға сызыңыз.
8. Ауаның салыстырмалы және абсолют ылғалдылығын күннің уақытына байланыс графигін миллиметр қағазға сызыңыз.

?

1. Ауада су буларының болуы, яғни ауаның ылғалдылығы қандай шамалар мен белгіленеді?
2. Максимал ылғалдылық деп неге айтамыз?
3. Салыстырмалы ылғалдылық қандай өрнектеледі және нені білдіреді?
4. Шық нүктесі деп неге айтылады?
5. Жұмысты орындау тәртібін түсіндіріп беріңіз.
6. Жұмысқа қорытынды жасаңыз.

МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА ПӘНІНЕН ТЕСТ СҰРАУЛАРЫ

1. Молекула-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын көрсет.

- а) Зат көзге көрінбейтін бөлшектер-молекулалардан құралған
- б) Олар үздіксіз және тәртіпсіз қозғалады
- в) Бөлшектер бір-бірімен өзара әсерлеседі
- с) *Барлық жауаптар туры

2. Молекула массасы нешеге тең?

- а) * 10^{-26} кг
- б) 10^{22} кг
- в) 10^{-9} кг
- с) 10^{27} кг

3. Молекула диаметрі нешеге тең?

- а) $4 \cdot 10^{-9}$ м
- б) $3 \cdot 10^{-9}$ м
- в) * $2 \cdot 10^{-9}$ м
- с) $3 \cdot 10^{-8}$ м

4. Судағы молекулалар саны қанша?

- а) * $3 \cdot 10^{22}$
- б) $2 \cdot 10^{22}$
- в) $3 \cdot 10^{23}$
- с) $2 \cdot 10^{23}$

5. Молекула көлемі нешеге тең?

- а) * 10^{-6} м³
- б) 10^{-9} м³
- в) 10^{-7} м³
- с) 10^{-5} м³

6. Массасы бір мольге тең болған зат құрамындағы молекулалар саны... деп аталады

- а) Больцман тұрақтысы
- б) * Авогадро тұрақтысы
- в) Газдың универсал тұрақтысы
- с) Электр тұрақтысы

7. Авогадро тұрақтысының мәнін тап

- а) * $6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹
- б) $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
- в) $8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
- с) $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

8. Зат мөлшерінің өлшем бірлігі

- а) Дж
- б) К
- в) м
- с) * моль

9. Заттың мөлшері үшін тура жазылған өрнекті көрсет

- а) $\nu = \frac{N_A}{N}$
- б) * $\nu = \frac{N}{N_A}$
- в) $M = m_0 \cdot N_A$
- с) $\nu = N \cdot N_A$

10. Шамасы бір мольге тең болған заттың массасы не деп аталады?

- а) Зат мөлшері
- б) Идеал газ

в) *Молярлық масса

с) Газ қысымы

11. Молярлық масса үшін тура жазылған өрнекті көрсет.

а) * $M = m_0 \cdot N_A$

б) $M = m \cdot v$

в) $m = \frac{m_0}{N_A}$

с) $M = \frac{N_A}{m_0}$

12. Идеал газ қысымы үшін молекула-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін көрсет.

а) * $p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

б) $p = \frac{3}{2} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

в) $p = \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

с) $p = \frac{2}{3} \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

13. Дененің ішкі күйін сипаттайтын физикалық шама ...

а) Қысым

б) Көлем

в) *Температура

с) Энергия

14. Газ күйі параметрлерінің бірі тұрақты болған сәттегі басқа екі параметрлер арасындағы қатынас не деп аталады?

а) Жылулық тепе-теңдік

б) Процесс

в) Газ күйлері

с) *Газ заңдары

15. Тұрақты температурадағы газдың бір күйден басқа күйге өтуі не деп аталады?

а) *Изотермиялық процесс

б) Изобаралық процесс

в) Изохоралық процесс

с) Адиабаталық процесс

16. Газдың тұрақты қысымда бір күйден екінші күйге өтуі не деп аталады?

а) Изотермиялық процесс

б) *Изобаралық процесс

в) Изохоралық процесс

с) Адиабаталық процесс

17. Тұрақты көлемдегі газдың бір күйден екінші күйге өтуі не деп аталады?

а) Изобаралық процесс

б) *Изохоралық процесс

в) Изотермиялық процесс

с) Адиабаталық процесс

18. $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}$, бұл қандай тұрақтының мәні?

а) Гравитациялық тұрақтылық

б) Авогадро тұрақтысы

в) Электр тұрақтысы

с) *Больцман тұрақтысы

19. $8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - бұл қандай тұрақтының мәні?

а) *Универсал газ тұрақтысы

б) Больцман тұрақтысы

в) Авогадро тұрақтысы

с) Электр тұрақтысы

20. $\frac{PV}{T} = \frac{m}{M} R$ бұл қандай теңдеу?

а) Идеал газ көлемінің теңдеуі

- б) Идеал газ қысымының теңдеуі
 в) *Идеал газ күйінің теңдеуі
 с) Идеал газ молекула-кинетикалық теориясының теңдеуі

21. Бұдың сұйыққа айналу құбылысы

- а) *Конденсация
 в) Қаныққан бу
 б) Концентрация
 с) Булану

22. $f = \eta \frac{du}{dz} ds$ бұл қандай өрнек?

- а) Тұтқырлық
 в) Импульс мөлшері
 б) Жылу өткізгіштік
 с) *Ішкі үйкеліс күштері

23. Тұтқырлық коэффициентінің дәлірек мәні неге тең?

- а) $\eta = \frac{1}{3} mn_0 v \lambda$
 в) $\eta = 2v \lambda \rho$
 б) * $\eta = \frac{1}{2} v \lambda \rho$
 с) $\eta = \frac{1}{3} v \lambda \rho$

24. Егер газ қабаттарының температурасы әртүрлі болса, онда температурасы жоғары қабаттан төмен қабатқа жылу ауысады. Бұл процесс не деп аталады?

- а) *Жылу өткізгіштік
 в) Импульс мөлшері
 б) Тұтқырлық
 с) Ішкі үйкеліс

25. Жылу өткізгіштік коэффициентінің өлшем бірлігі

- а) $Bm \cdot m$
 в) $Bm \cdot m \cdot K$
 б) * $\frac{Bm}{m \cdot K}$
 с) $\frac{Bm \cdot m}{K}$

26. $\chi = \frac{1}{3} c_v \rho \cdot v \cdot \lambda$ бұл қандай коэффициент?

- а) Тұтқырлық коэффициенті
 б) *Жылу өткізгіштік коэффициенті
 в) Ішкі үйкеліс коэффициенті
 с) Диффузия коэффициенті

27. Диффузия коэффициентінің өлшем бірлігі не?

- а) $m^2 \cdot c$
 в) $m \cdot c^2$
 б) * $\frac{m^2}{c}$
 с) $\frac{m^2}{c^2}$

28. $D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$ қандай коэффициент?

- а) *Диффузия
 б) Тұтқырлық
 в) Жылу өткізгіштік
 с) Ішкі үйкеліс

29. Түтіктегі газ ағыны ламинар болғанда ғана тұтқырлық коэффициентін анықтауға мүмкіндік беретін Пуазейль өрнегін көрсет

a) $* V = \frac{\pi \cdot r^2 \Delta P}{8 \eta l}$

б) $\Delta M = D \frac{\Delta \rho}{\Delta Z} \Delta s \Delta t$

в) $F = \frac{\eta \Delta v}{\Delta Z \Delta s}$

с) $\Delta Q = X \frac{\Delta T}{\Delta Z} \Delta s \Delta t$

30. Пуазейль радиусы R, биіктігі h цилиндрлік құбырдан бірлік уақытта ағып өтетін газ массасын қандай формуламен анықтайды?

a) $* m = \frac{\rho}{\lambda} \frac{P_1 - P_2}{h} R^4$

б) $m = \sqrt{\frac{M}{T}} \frac{R^3}{h} (P_1 - P_2)$

в) $v = \frac{m}{\mu} = \sqrt{\frac{1}{T}} \frac{R^3}{h} P_1 - P_2$

г) $\Delta M = D \frac{\Delta \rho}{\Delta Z} \Delta s \Delta t$

31. Вакуумдегі газ ағыны қандай формуламен анықталады?

a) $m = \frac{\rho}{\lambda} \frac{P_1 - P_2}{h} R^4$

б) $* m = \sqrt{\frac{M}{T}} \frac{R^3}{h} (P_1 - P_2)$

в) $v = \frac{m}{\mu} = \sqrt{\frac{1}{T}} \frac{R^3}{h} P_1 - P_2$

г) $\Delta M = D \frac{\Delta \rho}{\Delta Z} \Delta s \Delta t$

32. Шексіз аз жылу мөлшерін беру арқылы дененің температурасын dt шамаға көтерсек оның жылу сыйымдылығы қандай қатынаспен анықталады?

a) $* C = \frac{dQ}{dT}$

б) $C = \frac{1}{2} v \lambda \rho$

в) $C = 2v \lambda \rho$

с) $C = \frac{1}{3} v \lambda \rho$

33. Р. Майердің теңдеуін бейнелейтін өрнекті көрсет.

a) $* \varepsilon = \frac{3}{2} kT$

б) $\varepsilon = \frac{1}{2} v \lambda \rho$

в) $\varepsilon = 2v \lambda \rho$

с) $\varepsilon = \frac{1}{3} v \lambda \rho$

34. Энтропияның өлшем бірлігі

a) $Bm \cdot m$

б) $* \frac{Дж}{К}$

в) $Bm \cdot m \cdot K$

с) $\frac{Bm \cdot m}{K}$

35. Термодинамиканың екінші заңының жалпы өрнегі болып табылатын Клаузиус теңдігін көрсет

a) $p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

б) $* \int \frac{dQ}{T} \leq 0$

в) $Q = \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

с) $\int Q = \frac{2}{3} \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

36. Циклдегі толық энтропия өзгерісі қандай өрнекпен анықталады?

$$a) \Delta S = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$б) \int \frac{dQ}{T} \leq 0$$

$$в) Q = \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$с) * \Delta S = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

37. Термодинамиканың негізгі теңдеуін өрнектейтін формуланы көрсет.

$$a) \Delta S = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$б) * dS = \frac{dU + PdV}{T}$$

$$в) Q = \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$с) \Delta S = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

38. Энтальпияны сипаттайтын өрнекті көрсет.

$$a) H = \frac{N_A}{N}$$

$$б) H = \frac{N}{N_A}$$

$$в) * H = U + PV$$

$$с) H = N \cdot N_A$$

39. Еркін жүру жолының уақыты τ (тау) қалай анықталады?

$$a) \tau = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$б) \tau = \frac{dU + PdV}{T}$$

$$в) * \tau = \frac{\lambda}{v} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 nv}}$$

$$с) \tau = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

40. Еркін жүру жолы уақытының мәні қалыпты жағдайларда азот молекулалары үшін нешеге тең?

$$a) \tau = 133 \cdot 10^{-1}$$

$$б) \tau = 760 \cdot 10^{-10}$$

$$в) * \tau \approx 1,33 \cdot 10^{-10}$$

$$с) \tau = 101125$$

41. Кеңістіктің бір жерінен екіншісіне қандай болса да физикалық қасиеттің молекулалардың жылулық қозғалысымен тасылуы ғылымда не деп аталады?

а) *Тасымалдау құбылыстары

б) соқтығысу

в) Критиктік

с) тұтқырлық

42. Табиғатта кездесетін тасымалдау құбылыстарының ішіндегі ең маңызды міндет атқаратыны нешеу?

а) 1-еу

б) *3-еу

в) 2-еу

с) 6-ау

43. Ван-дер Ваальс теңдеуін көрсет.

$$a) \Delta S = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$б) * \left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

$$в) (V - b) = RT$$

$$с) \tau = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

44. Сұйық пен оның қаныққан буының арасындағы ерекшелік жойылатын температура не деп аталады?

а) Тасымалдау құбылыстары

б) соқтығысу

в) *Критиктік с) тұтқырлық

45. Критиктік құбылысын кім және қашан ашқан?

а) 1961 жылы Р.Майер

б) 1881 жылы Д.И.Менделеев

в) *1861 жылы Д.И.Менделеев

с) 1841 жылы Лаплас және Дитерчи

46. Беттік керілу коэффициентінің СИ жүйесіндегі өлшем бірлігі....

а) * $\frac{Дж}{м^2}$

б) $\frac{м^2}{с}$

в) $м \cdot с^2$

с) $\frac{м^2}{с^2}$

47.Еріткіштің жартылай өткізгіш қалқан арқылы біржақты өту құбылысы ... деп аталады.

а) криоскоптық

б) *осмос

в) жұққыштық

с) ерігіш молекула

48. Вант-Гофф заңын сипаттайтын формуланы көрсет.

а) * $P_{осм} = \frac{m}{\mu \cdot v} RT, P_{осм} = \frac{C}{\mu} RT$

б) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$

в) $(V - b) = RT$

с) $P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$

49. Нақты кристалда атомдық жазықтықтар алмасу дұрыстығы бұзылуы мүмкін.Кристалдың мұндай ақауын не деп атайды?

а) Тасымалдау құбылыстары

б) соқтығысу

в) * Дислокация

с) тұтқырлық

50. Беттік керілу коэффициентін анықтайтын өрнекті көрсет.

а) * $\sigma = \frac{f}{l}$

б) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$

в) $(V - b) = RT$

с) $P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$

51.Құрамында массасы 0,012 кг көміртеkte қанша құрылымдық элемент болса, сонша құрылымдық элементі бар зат мөлшері.....

а) Тасымалдау құбылыстары

б) соқтығысу

в) * бір моль делінеді

с) тұтқырлық

52. Молекула не?

а) беттік керілу коэффициентін анықтайтын өрнек

б) бет пішіні кез келген түрде болғанда беттің қисықтығының салдарынан туған қысым

в) *заттың физикалық қасиетін сақтай алатын ең кіші бөлшек

г) тасымалдау құбылыстары

53. Дененің m массасы неге тең?

а) * $m = m_0 \cdot N$

б) $M = m \cdot \nu$

в) $m = \frac{m_0}{N_A}$

с) $M = \frac{N_A}{m_0}$

54. Затта қанша молекула бар екендігі анықтайтын формуланы тап?

а) $\nu = \frac{N_A}{N}$

б) * $N = \nu \cdot N_A$

в) $M = m_0 \cdot N_A$

с) $\nu = N \cdot N_A$

55. Молекулалардың санын анықтау формуласын көрсет?

а) $\nu = \frac{N_A}{N}$

б) * $N = \nu \cdot N_A = N_A \frac{m}{M}$

в) $M = m_0 \cdot N_A$

с) $\nu = N \cdot N_A$

56. Газдың сығылғыштығы деп неге айтылады?

а) беттік керілу коэффициентін анықтайтын өрнек

б) бет пішіні кез келген түрде болғанда беттің қисықтығының салдарынан туған қысым

в) заттың физикалық қасиетін сақтай алатын ең кіші бөлшек

г) * газдың қысымы өзгерген кездегі көлемін өзгерту қасиеті

57. Газдың сығылғыштығын сипаттайтын коэффициент қандай аталады және формуласын көрсет.

а) * Изотермиялық сығылу коэффициенті $\alpha_T, \alpha_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)$

б) беттік керілу коэффициенті $\sigma_T, \sigma_T = \frac{F}{l} \cdot \mu$

в) заттың физикалық қасиетін сақтай алатын ең кіші бөлшек коэффициенті $\alpha_T, \alpha_T = -\frac{1}{V} \cdot \eta$

г) газдың қысымы өзгерген кездегі көлемін өзгерту коэффициенті $\alpha_T, \alpha_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)$

58. Барлық газдардың бір молінің көлемі нешеге тең?

а) $2,41 \text{ л} = 2,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

б) * $22,41 \text{ л} = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

в) $4,1 \text{ л} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

с) $0,41 \text{ л} = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

59. Клапейрон теңдеуінің $PV_\mu = RT$ түрін алғаш ұсынған ғалым кім?

а) * Орыс химигі Д.И. Менделеев.

б) Ағылшын ғалымы И.Ньютон

в) Орыс химигі М.В. Ломоносов

с) Италиян ғалымы Г.Галилей

60. Универсал газ тұрақтысының сан мәні нешеге тең?

а) $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

б) $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

$$в) * 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$$

$$с) 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$$

61. Қоспалы газ үшін Клапейрон–Менделеев теңдеуі төмендегілерден қайсы бірі?

$$а) * PV_{\mu} = \frac{m}{\mu} RT$$

$$б) \left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

$$в) (V - b) = RT$$

$$с) \alpha_T = - \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)$$

62. Онша үлкен емес қысымдарда сұйықтар сіңіретін газ мөлшері қысымға пропорционал. Бұл қандай заң?

а) Паскаль

б) * Генри

в) Архимед

с) Аристотель

63. Атмосфераның жер бетіне беретін қысымын кім анықтаған?

а) Паскаль

б) * Торричелли

в) Архимед

с) Аристотель

64. Сұйық немесе газға берілген қысым осы сұйық немесе газдың барлық нүктелеріне өзгеріссіз ұзатылады. Бұл ... заңы деп аталады.

а) * Паскаль

б) Торричелли

в) Архимед

с) Аристотель

65. Температураның абсолют шкаласын пәнге енгізген ағылшын ғалымы кім?

а) Паскаль

б) Торричелли

в) Архимед

с) * У. Кельвин.

66. Браундық қозғалыс деп қандай қозғалысқа айтылады?

а) Қатты денелердің өзара әсерлесуі

б) * Сұйықта (немесе газда) қалықтаған бөлшектердің жылулық қозғалысы.

в) Егер газ қысымы өзгермесе, берілген массалы газ үшін көлемнің температураға қатысы тұрақты болады.

г) Физикалық қасиеттердің кристалл ішіндегі бағыттарға тәуелділігі

67. Клапейрон-Клаузиус теңдеуін көрсет.

$$а) P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$б) P_i = \frac{a}{V_{\mu}^2}$$

$$в) * \frac{dP}{dT} = \frac{\lambda}{(V_{\sigma} - V_c) dP}$$

$$г) P_c = \frac{2\sigma}{R}$$

68. Қаныққан бу дегеніміз не?

а) Температурасы критикалық температурадан төменгі бу

б) Температурасы қайнау температурасынан жоғарғы бу

в) * Сұйықпен динамикалық тепе – теңдікке тұрған бу

г) Қайнау температурасындағы бу

69. Адиабаталық процесс деп-.... орындалатын процеске айтылады.

а) жұмыс атқармай

б) қысым өзгермей

в) * жылулық алмаспай

г) тепе – теңдігі өзгермей

70. Көлемін ғана емес, пішінін де сақтайтын денелер ... болып есептеледі.

а) Газдар

б) Сұйықтар

в) * Қатты денелер

г) Атомдар

71. Молекулалары арасындағы өзара әсер елеусіз аз болатын газ ... деп аталады.

а) инерт газ

б) сұйық газ

в) * идеал газ

г) нақты газ

72. Идеал газ молекуласының ілгерілемелі қозғалысы үшін орташа кинетикалық энергиясы қайси өрнек жәрдемінде табылады?

а) * $U = \frac{3}{2} RT$

б) $E = kT\eta$

в) $C = \frac{3K}{2M}$

г) $E = \frac{5}{2} kT$

73. Газ молекулаларының бейберекет қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы формуласын көрсетіңдер.

а) * $E = \frac{3}{2} kT$

б) $E = \frac{2}{3} nT$

в) $N = nm$

г) $p = nkT$

74. Серпінді серіппе 20 Н күш әсерінде 2 см ге созылған болса, серіппенің қатаңдығы неге тең? (Н/м)

а) 10

б) 100

в) 200

г) * 1000

75. Температураны өлшеу үшін неден пайдаланасыз?

а) спидометр

б) ареометр

в) психрометр

г) * термометр

76. Идеал газдың ішкі энергиясы ... байланысты.

а) оның үш параметріне – T, P және V ға

б) * тек T ға

в) тек P және V ға

г) тек V ға

77. Температура артқанда сұйықтардың беттік керілу коэффициенті

а) * артады

б) алдын артып, кейін азаяды

в) алдын азайып, кейін артады

г) сұйықтың түріне байланысты

78. Ыдыстың қабырғаларына молекулалардың сансыз көп рет соғылуынан газда не пайда болады?

а) жұмыс

б) күш

в) заряд

г)* қысым

79. Газдардың, сұйықтардың және қатты денелердің тікелей жанасқанындағы араласуы ...

а) Браундық қозғалыс

б) Механикалық қозғалыс

в)* Диффузия

г) Өзара әсерлесу

80. Не үшін C_p –жылулық сыйымдылығы C_v –жылулық сыйымдылығынан үлкен?

а) Бұл екі күйде газ молекулаларының еркіндік дәрежелері саны түрлі болғаны үшін

б) $P = \text{const}$ болғанда, газ ұлғайып жұмыс атқарады

в)* $P = \text{const}$ болғанда, газ көбірек жұмыс атқарады

г) $V = \text{const}$ болғанда газ жұмыс атқармайды

81. Карно циклінің ПӘК – і дегеніміз не?

а) Газдың алған жылу мөлшерінің толық циклде орындалған жұмысына қатынасы

б)* Бір циклде орындалған жұмыстың қыздырғыштан алынған жылу мөлшеріне қатынасы

в) Бір циклде орындалған жұмыстың суытқышқа берілген жылу мөлшеріне қатынасы

г) $V = \text{const}$ болған газ жұмыс атқармайды

82. Зәйтүн майы молекуласының өлшемін шамалау үшін қандай өлшеулер жүргізу керек?

а) Май қабатының көлемі V ны S ауданына көбейту керек.

б) Май қабатының S ауданын көлемі V ға қосу керек.

в)* Май қабатының көлемі V ны S ауданына бөлу керек.

г) 1,2,3 жауаптар туры.

83. Жылуды затты құрап тұрған бөлшектердің айналмалы қозғалысы ретінде қарастырған ғалым кім?

а)* М.В. Ломоносов

б) А.С. Попов

в) И.Ньютон

г) Циалковский

84. Аморф дененің қатты күйден сұйық күйге өту процессінде температурасы қандай өзгереді?

а) азаяды

б) *артады

в) алдын азаяды, кейін өзгермейді

г) өзгермейді

95. Карноның идеал циклінің ПӘК-і жұмыстық дененің тегіне байланысты емес. Бұл қандай теорема?

- а) *Карноның екінші теоремасы
- б) Карноның бірінші теоремасы
- в) Термодинамиканың екінші заңы
- с) Термодинамиканың бірінші заңы

96. Кез-келген газ массасына арналған Ван-дер Ваальс теңдеуін көрсет.

а) $\Delta S = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$

б) $* \left(P + \frac{m}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left(V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT$

в) $(V - b) = RT$

с) $\tau = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$

97. Газдың ішкі қысымы P_i дің формуласын көрсет.

а) $P_i = \frac{3}{2} \mu v$

б) $* P_i = \frac{a}{V_\mu^2}$

в) $P_i = \frac{3K}{2M}$

г) $P_i = \frac{5}{2} kT$

98. Сұйық бетінің өзінің имек бетінің астына түсіретін қосымша қысымын, яғни Лаплас формуласын көрсет.

а) $* P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

б) $P_i = \frac{a}{V_\mu^2}$

в) $P_i = \frac{3K}{2M}$

г) $P_i = \frac{5}{2} kT$

99. Егер беттік қабат сферадан бөлініп алынса $R_1 = R_2 = R$. Бұл кезде сұйық бетінің өзінің имек бетінің астына түсіретін қосымша қысымын, яғни Лаплас формуласын көрсет.

а) $P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

б) $P_i = \frac{a}{V_\mu^2}$

в) $P_i = \frac{3K}{2M}$

г) $* P_c = \frac{2\sigma}{R}$

100. Егер беттік қабат цилиндр тәріздес болса, онда қисықтық радиустың бірі, мысалы, R_2 шексіздікке ұмтылады ($R_2 \rightarrow \infty$). Бұл кезде сұйық бетінің өзінің имек бетінің астына түсіретін қосымша қысымын, яғни Лаплас формуласын көрсет.

а) $P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

б) $P_i = \frac{a}{V_\mu^2}$

в) $* P_u = \frac{\sigma}{R_1}$

г) $P_c = \frac{2\sigma}{R}$

КЕСТЕЛЕР

Негізгі физикалық шамалар

Физикалық шамалар	Белгі ленуі	Сан мәні
Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы	c	$3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$
Электрон заряды	e	$1,602 \cdot 10^{-19} Кл$
Больцман тұрақтысы	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К}$
Универсал газ тұрақтысы	R	$8,31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$
Планк тұрақтысы	h	$6,625 \cdot 10^{-34} Дж \cdot с$
Гравитациялық тұрақтылық	γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$
Авагадро саны	N_A	$6,025 \cdot 10^{23} моль^{-1}$
Лошмидт саны	n_0	$2,69 \cdot 10^{25} м^{-3}$
Еркін түсу үдеуі	g	$9,807 \frac{м}{с^2}$
Қалыпты жағдайда идеал газдың мольдік көлемі	V	$22,4 \cdot 10^{-3} \frac{м^3}{моль}$
Фарадей саны	F	$9,648 \cdot 10^4 \frac{Кл}{моль}$
Тыныштықтағы масса: Электрон үшін Протон үшін Нейтрон үшін		$9,109 \cdot 10^{-31} кг$ $1,673 \cdot 10^{-27} кг$ $1,675 \cdot 10^{-27} кг$

Күн, Жер және Айға тиісті кейбір өлшемдер

Өлшемдер	Күн	Жер	Ай
Масса, кг	$1,98 \cdot 10^{30}$	$5,98 \cdot 10^{24}$	$7,33 \cdot 10^{22}$
Радиус, м	$6,96 \cdot 10^8$	$6,371 \cdot 10^6$	$1,738 \cdot 10^6$
Орташа тығыздық, кг/м ³	1410	5500	3300
Жерге дейінгі ара қашықтық	$1,496 \cdot 10^8$	-	384400

Кейбір заттардың тығыздықтары (кг/м³)

Газдар (0 ⁰ С температура қалыпты атмосфера қысымында)			
Сутегі	0,08988	Оттегі	1,429
Ауа	1,293	Көмірқышқыл	1,977
Сұйықтар			
Бензол	880	Керосин	800

Су(+4)	1000	Қан	1050
Глицерин	1200	Сынап	13600
Алтын	17200	Күміс	9300
Күнжіт майы	950	Спирт	790
Қатты денелер			
Алюминий	2600	Қалайы	7100
Темір	7900	Платина	21400
Алтын	19300	Никель	8800
Ас тұзы	2200	Қорғасын	11300
Жез	8400	Күміс	10500
Мүз	900	Болат	7700
Мыс	8600	Шиша	2700

Судың тығыздығы							
Температура, °С	20	30	40	50	60	70	80
Тығыздық, кг/м ³	998	996	992	988	983	978	972

Түрлі температураларда судың тығыздығы

T, K	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	T, K	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	T, K	$\rho, \frac{кг}{м^3}$
273	999,87	285	999,52	297	997,32
274	999,93	286	999,40	298	997,07
275	999,97	287	999,27	299	996,81
276	999,99	288	999,13	300	996,54
277	1000,00	289	999,97	301	996,26
278	999,99	290	998,80	302	995,97
279	999,97	291	998,62	303	995,67
280	999,93	292	998,43	304	995,37
281	999,88	293	998,23	305	995,05
282	999,81	294	998,02	306	994,72
283	999,73	295	997,80	307	994,40
284	999,63	296	997,57		

Жануарлар әлеміндегі қозғалыс жылдамдықтар

Аты	Жылдамдығы, км/сағ
Акула	40
Көбелек	80
Қасқыр	55-60
Бұлбұл	35

Қарға	25-32
Гепард	112
Кептер	60-70
Дельфин	54
Жираф	51
Кит	38-40
Қоян	60
Кенгуру	48
Қарлығаш	54-63
Аю	40
Май қоңызы	11
Лос	47
Шыбын	18
Бал ара	25
Піл (Африка)	40
Шегіртке	36
Тасбақа	0,5

Жылдамдықтың км/сағ бірлігінен м/с бірлігіне өту
 $1 \text{ км/сағ} = 0,2777 \text{ м/с}$

км/с ағ	км/сағ							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	м/с							
0	0	2,2778	0,555	0,8333	1,111	1,388	1,66	1,944
10	2,778	3,0556	3,333	3,611	3,888	4,166	4,44	4,722
20	5,555	5,833	6,111	6,388	6,666	6,944	7,22	7,5
30	8,333	8,611	8,888	9,166	9,444	9,722	10,0	10,27
40	11,11	11,38	11,666	11,94	12,22	12,5	12,7	13,05
50	13,88	14,166	14,444	14,722	15,0	15,277	15,555	15,833
60	16,66	16,944	17,222	17,5	17,777	18,055	18,333	18,611
70	19,44	19,722	20,0	20,277	20,555	21,111	21,388	21,388

Кейбір заттардың серпінділік модулі (ГПа)

Алюминий	70	Мыс	120
Ағаш	10	Қорғасын	17
Дюралюминий	75	Болат (темір)	210
Кірпіш	10	Шойын	100

Жез	90	Каучук	0,008
-----	----	--------	-------

Дыбыстың кейбір орталардағы жылдамдығы(м/с)

Алюминий	5100	Темір	5300
Су	1450	Кірпіш	3650
Ауа (0 ⁰ С)	332		

Атом және молекулалардың массалары

Атомдар	10 ⁻²⁷ кг	Молекулалар	10 ⁻²⁷ кг
Азот	23,2	Азот	46,5
Алюминий	44,8	Аммиак	28,3
Сутегі	1,67	Су	29,9
Гелий	6,64	Сутегі	3,3
Темір	92,8	Ауа	48,1
Алтын	327	Оттегі	53,2
Оттегі	26,6	Метан	26,6
Кремний	46,6	Күміс нитрат	282
Мыс	105	Азон	80
Натрий	38,1	Натрий хлор	97
Сынап	333	Мыс сульфат	265
Қорғасын	344		

Күн жүйесіндегі ғаламшарлардың тығыздықтары

Ғаламшардың аты	Тығыздығы, кг/м ³	Ғаламшардың аты	Тығыздығы, кг/м ³
Меркурий	5500	Юпитер	1330
Венера	5200	Сатурн	710
Жер	5500	Уран	1400
Марс	3900	Нептун	1600

Күн жүйесіндегі ғаламшарлар үшін бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтар

Ғаламшар аты	$v_1, \frac{км}{с}$	$v_2, \frac{км}{с}$
Меркурий	3,0	4,25
Венера	7,2	10,2
Жер	7,9	11,2
Марс	3,57	5,05
Юпитер	42,6	60,04
Сатурн	25,7	36,4
Уран	15,2	21,5

Нептун	16,6	23,5
--------	------	------

0⁰-90⁰ бұрыштар үшін синустар және тангенстер мәндерінің кестесі

Гра- дус- тар	Синус- тар	Тан- генс- тер	Гра- дус- тар	Синус- тар	Тангенс- тер	Градус- тар	Синус- тар	Тангенс- тер
0	0,0000	0,0000	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,804
1	0,0175	0,0175	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,881
2	0,349	0,0349	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,963
3	0,0523	0,524	34	0,5592	0,6745	64	0,9888	2,050
4	0,0698	0,699	35	0,5736	0,7002	65	0,9063	2,145
5	0,0872	0,875	36	0,5878	0,7265	66	0,9135	2,246
6	0,1045	0,1051	37	0,6018	0,7536	67	0,9205	2,356
7	0,1219	0,1228	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,475
8	0,1392	0,1405	39	0,6293	0,8098	69	0,9336	2,605
9	0,1564	0,1584	40	0,6428	0,8391	70	0,9397	2,747
10	0,1736	0,1763	41	0,6561	0,8693	71	0,9455	2,904
11	0,1908	0,1944	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,078
12	0,2079	0,2126	43	0,6820	0,9323	73	0,9563	3,271
13	0,2250	0,2309	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,487
14	0,2419	0,2493	45	0,7071	1,0000	75	0,9659	3,732
15	0,2588	0,2679	46	0,7193	1,036	76	0,9703	4,011
16	0,2756	0,2867	47	0,7314	1,072	77	0,9744	4,331
17	0,2924	0,3057	48	0,7431	1,111	78	0,9781	4,705
18	0,3090	0,3249	49	0,7547	1,150	79	0,9816	5,145
19	0,3256	0,3443	50	0,7660	1,192	80	0,9848	5,671
20	0,3420	0,3640	51	0,7771	1,235	81	0,9877	6,314
21	0,3584	0,3839	52	0,7880	1,280	82	0,9903	7,115
22	0,3746	0,4040	53	0,7986	1,327	83	0,9925	8,114
23	0,3907	0,4245	54	0,8090	1,376	84	0,9945	9,514
24	0,4067	0,4452	55	0,8192	1,428	85	0,9962	11,43
25	0,4226	0,4663	56	0,8290	1,483	86	0,9976	14,30
26	0,4384	0,4877	57	0,8387	1,540	87	0,9986	19,08
27	0,4540	0,5095	58	0,8480	1,600	88	0,9994	28,64
28	0,4695	0,5317	59	0,8572	1,664	89	0,9998	57,29
29	0,4848	0,5543	60	0,8660	1,734	90	1,0000	∞
30	0,5000	0,5774						

Түрлі күйлерде үдеу

Үдемелі қозғалыс	$\frac{m}{c^2}$	Баяуламалы қозғалыс	$\frac{m}{c^2}$
Пассажир лифты	0,3-0,6	Пассажир лифты	0,3-0,6
Трамвай	0,5-1	Трамвай	3
Троллейбус	1-1,5	Троллейбус	5
Электропойыз	0,6-0,7	Электропойыз	0,8-1,5
Метрополитен вагоны	0,8-1,3	Вольга автомобилі	0,18
Жигули автомобилі	1,3	Жигули автомобилі	0,48
Иль-62 ұшағы	1,7	Иль-62 ұшағы	2

Ескерту! Тормоздалу жолы тормоз беру уақытынан толық тоқтағанға дейін алынған.

Жерде теңіз деңгейінен түрлі биіктіктерде g (еркін түсу үдеуі) нің мәндері

Биіктік,м	$\frac{m}{c^2}$	Биіктік,м	$\frac{m}{c^2}$
0	9,8066	11000	9,7728
50	9,8065	12000	9,7697
100	9,8063	13000	9,7667
150	9,8062	14000	9,7636
200	9,8060	15000	9,7605
300	9,8057	16000	9,7575
400	9,8054	17000	9,7544
500	9,8051	18000	9,7513
600	9,8048	19000	9,7483
700	9,8045	20000	9,7452
800	9,8042	25000	9,7300
900	9,8039	30000	9,7147
1000	9,8036	40000	9,6844
1500	9,8020	50000	9,6542
2000	9,8005	60000	9,6241
3000	9,7074	70000	9,5942
4000	9,7943	80000	9,5644
5000	9,7912	90000	9,535
6000	9,7882	100000	9,505

7000	9,7851	120000	9,447
8000	9,7820	500000	9,845
9000	9,7789	1000000	9,736
10000	9,7759	5000000	3,08

Гравитациялық тұрақтылықтың анықталынуы

Тәжірибе авторы, мемлекет аты	Тәжірибе жылы	Алынған G мәні, $10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{кг^2}$
Г. Кавендиш, Англия	1798	6,67 ± 0,05
Ф.Райх, Германия	1852	6,64 ± 0,06
Д.Пойтинг, Англия	1891	6,70 ± 0,04
Р.Этвиш, Венгрия	1896	6,657 ± 0,013
П. Хейл, П.Хржановский, АҚШ	1942	6,673 ± 0,005
Л.Фасси, К.Понтикс, Франция	1972	6,6714 ± 0,0006
М.У.Сагитов, В.К. Милюков, Россия	1978	6,6745 ± 0,0008
Ж.Лазер, У.Тоулер, АҚШ	1982	6,6726 ± 0,0005

Күш бірліктері арасындағы байланыс

Күш бірліктері	Н	Дина	кГ	тГ	кН
1-	1	10 ⁵	0,102	1,02*10 ⁻⁴	10 ⁻³
1дина	10 ⁻⁵	1	1,02*10 ⁻⁶	1,02*10 ⁻⁹	10 ⁻⁸
1кГ	9,81	9,81*10 ⁵	1	10 ⁻³	9,81*10 ⁻³
1тГ	9,81*10 ³	9,81*10 ⁸	10 ³	1	9,81
1кН	10 ³	10 ⁸	102	0,102	1

Жерден түрлі биіктіктерде атмосфералық қысым

Биіктік, м	Қысым, Па	Биіктік, м	Қысым, Па
0	101325	10000	26500
50	100720	11000	22700
100	100129	12000	19399
150	99536	13000	16580
200	98945	14000	14170
300	97773	15000	12112
400	96611	16000	10353
500	95461	17000	8850

600	94322	18000	7565
700	93194	19000	6467
800	92077	20000	5529
900	90972	25000	2549
1000	89876	30000	1197
2000	79501	40000	296
3000	70121	50000	79,8
4000	61660	60000	21,2
5000	54048	70000	5,22
6000	47218	80000	1,05
7000	41105	90000	0,183
8000	35652	100000	0,032
9000	30801	120000	0,0026

Атмосфера құрамына кіретін газдардың порциал қысымы

Газ	Салыстырмалы молекулалық массасы	Порциал қысым, Па
Азот	28	79110
Оттегі	32	21220
Аргон	40	943
Көмірқышқыл	44	31
Неон	20	1,9
Гелий	4	0,51
Криптон	83,8	0,11
Сутегі	2	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Ксенон	131,3	$8,1 \cdot 10^{-3}$
Азон	48	$2 \cdot 10^{-4}$

Түрлі заттар үшін сырғанау- үйкеліс коэффициенті

Бір – бірінде сырғанап жатқан заттардың аты	Тыныш күйде	Қозғалғанда
Бронза және бронза	-	0,2
Бронза және шойын	-	0,21
Ағаш және ағаш	0,65	0,33
Ағаш және тас	0,46-0,60	-
Темір және темір	0,15	0,14

Темір және шойын	0,19	0,18
Металл және ағаш	0,6	0,4
Металл және металл	0,18-0,20	-
Резина және қатты гурунт (топырақ)	0,4-0,6	-
Болат және мұз	0,002-0,003	0,015
Мұз және мұз	-	0,028
Болат және болат	0,15-0,25	0,09

**Кейбір машина және қондырғылардың жылулық
двигателдерінің қуаты**

Машина немесе қондырғы аты	Қуаты, кВт	Қуаты, Ат күші
Жигули автомобилі	47	64
Москвич автомобилі	50,7	69
Вольга автомобилі	74	100
КамАЗ автомобилі	154	210
БелАЗ самосвалы	1790	2300
РАФ автобусы	70	95
ЛАЗ автобусы	122	180
Ява мотоциклі	14,7	20
Ил-62 ұшағы	30600	41600
МТЗ -80 тракторы	59	80

Түрлі газ және буларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Газ немесе бу	Температура °С	Дыбыс жылдамдығы м/с
Азот	0	333,6
Аргон	0	319
Ацетилен	0	327
Бензин	90	200
Сутегі	0	1284
Ауа	0	331,5
Су буы	0	401
Қаныққан су буы	110	413
Гелий	0	965
Оттегі	0	316
Неон	0	435
Хлор	0	206

Көмірқышқыл	0	259
-------------	---	-----

Жерден түрлі биіктіктерде дыбыстың ауада таралу жылдамдығы

Биіктік, м	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Биіктік, м	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
0	340,29	4000	324,59
50	340,10	5000	320,54
100	339,91	6000	316,45
200	339,53	7000	312,31
300	339,14	8000	308,10
400	338,76	9000	303,85
500	338,37	10000	293,53
600	337,98	11000-20000	295,07
700	337,60	30000	301,71
800	337,21	40000	317,19
900	336,82	50000	329,80
1000	336,43	60000	315,07
2000	332,53	70000	297,06
3000	328,58	80000	282,54

Ауада түрлі температураларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
-100	263,7	60	365,8
-90	271,2	70	371,2
-80	278,5	80	376,6
-70	285,6	90	381,9
-60	292,6	100	387,7
-50	299,3	150	412,3
-40	306	200	436
-30	312,5	250	458,4
-20	318,8	300	479,8
-10	325,1	400	520
0	331,5	500	557,3
10	337,3	600	592,3

20	343,1	700	625,3
30	348,9	800	656,6
40	354,6	900	686,5
50	360,3	1000	715,2

Түрлі сұйықтарда дыбыстың таралу жылдамдығы

Сұйық	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
Азот	-203	929
Аргон	-186	837
Ацетон	20	1192
Су	25	1497
Бензин	17	1166
Теңіз суы	20	1490
Сутегі	-253	1127
Гелий	-269	18
Глицерин	20	1923
Керосин	15	1330
Оттегі	-210	1130
Сынап	20	1452
Этил спирті	23	1177

Түрлі қатты денелерде дыбыстың таралу жылдамдығы

Қатты дене	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Қатты дене	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
Алюминий	60	Никель	4785
Бетон	5250	Қалайы	3320
Ағаш	3625	Органикалық шиша	2550
Темір	5850	Парафин	1300
Алтын	3240	Платина	3960
Ас тұзы	4400	Резина	1480
Кірпіш	3600	Қорғасын	2160
Магний	4600	Күміс	3620
Мыс	4700	Болат	6100
Кварц шиша	5570	Уран	3300

Мәрмәр	6100	Форфор	5900
Мырыш	4170	Шойын	5600

Суда түрлі температураларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
0	1402,7	55	1547,7
5	1426,5	60	1551,3
10	1447,6	65	1553,8
15	1466,2	70	1555,1
20	1482,7	75	1555,4
25	1497	80	1554,8
30	1509,4	85	1553,2
35	1520,1	90	1550,8
40	1529,2	95	1547,5
45	1536,7	96	1546,8
50	1542,9	100	1543,4

Түрлі дыбыс көздерінің тербеліс жиілігі

Дыбыс көзі	Тербеліс жиілігі, Гц
Еркектер дыбысы	100-7000
Әйелдер дыбысы	200-9000
Скрипка	260-15000
Домбыра	90-14000
Рояль	90-9000
Радио және телевизордың дыбыс көтергіші	80-10000

Түрлі дыбыс көздерінің қуаты

Дыбыс көзі	Максимал қуаты, Вт
Еркектер дыбысы	$2 \cdot 10^{-3}$
Әйелдер дыбысы	$2 \cdot 10^{-3}$
Скрипка	0,2
Домбыра	1225
Рояль	2
Радио және телевизор дыбыс	1,5-3

көтергіші	
-----------	--

Ультрадыбыстың қолданылуы

Ультрадыбыс тербелістер жиілігі	Қолданылу саласы
20-30 кГц	Заттарды механикалық қайта өңдеуде, яғни диэлектрик, электр өткізгіш және қатты материалдарды кесуде
0,2-25 МГц	Металлдар деффе́ктоскопиясында
50 кГц-10 МГц	Заттардағы ақауларды анықтауда (металл плита, бетон конструкция, резиналы шиналарда және тағы басқа)
0,5-20МГц	Металдар деффе́ктоскопиясында (резонанс әдісі)
500-800кГц	Деталлдарды тазалауда

Қазақ халқының тіршілігінде тарихи қолданылып келе жатқан бірліктер

Шаманың атауы	Бірліктер атауы және олардың үлестері	СИ бірлігімен қатынасы (шамамен)
Ұзындық	1 елі 1 сүйем 1 тұтам 1 қарыс 1 білек 1 адым 1 құлаш 1 сала құлаш 1 құрық бойы 1 шақырым 1 күншілік жол (атпен)	2 см 12-14 см - 20-22 см 45 см 60 см 1 м 1,7 м 5 м 1 км 50 км
Уақыт	1 сәт 1 қас-қағым 1 бие- сауым 1 сүт пісірім 1 күн (1 сәтке)	1-5 мин 1 сек 15 мин 30 мин 24 сағ

	1 ай	-
	1 жыл	-
Сұйықтың көлемі	1 қасық	50 мл
	1 шелек	10 л
Сусымалы көлем	1 уыс	0,1 дм ³
	1 қос уыс	0,35 дм ³
	1 қоржын	-
Масса	1 пұт	16 кг

Ресейде тарихи қолданылып келген бірліктер

Физикалық шама	Бірліктер атауы және олардың үлестері	СИ бірлігімен қатынасы
Ұзындық	1 верста = 500 сажень 1 сажень = 3 аршин 1 аршин = 16 вершок 1 вершок = 7 фут 1 фут = 12 дюйм 1 дюйм = 10 линия 1 линия = 10 точка	1,0668 км 2,1336 км 71,120 см 2,1336 км 0,3048 км 2,54 см 2,54 мм
Аудан	1 десятина = 2400 сажень квадраты	10925,4 м ²
Сұйықтың көлемі	1 бочка = 40 ведро 1 ведро = 10 штоф 1 штоф = 2 бутылка 1 бутылка = 5 чарка 1 чарка = 10 шкалик	491,98 дм ³ 12,2994 дм ³ 1,22994 дм ³ 0,614970 дм ³ 0,122994 дм ³
Сусымалы көлем	1 четверть = 8 четверик 1 четверик = 8 гарнц 1 гарнц	209,91 дм ³ 26,2387 дм ³ 3,27984 дм ³
Масса	1 берковец = 10 пуд 1 пуд = 40 фунт 1 фунт = 32 лот 1 лот = 3 злотник = 288 доля 1 доля	163,805 кг 16,3805 кг 409,512 г 12,797 г 44,4349 мг
Аптекарь салмағы	Аптекарь фунты = 12 унция 1 унция = 8 драхма 1 драхма = 3 скурпул 1 скурпул = 20 гран 1 гран	358,328 г 32 г 3,732 г 1,244 г 0,062 г

Судың түрлі қысымдарда қайнау температурасы

<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>	<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>	<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>
0,1	99,7	1,1	183,8	2,5	224
0,2	120,3	1,2	187,8	3	236
0,3	133,4	1,3	191,5	3,5	244
0,4	143,5	1,4	195	4	252
0,5	151,7	1,5	198,2	4,5	259
0,6	158,7	1,6	201,3	5	266
0,7	164,8	1,7	204,2	5,5	272
0,8	170,8	1,8	207	6	277
0,9	175,2	1,9	210,2	6,5	283
1	179,7	2,0	212,3	7	288

Газ молекулаларының орташа еркін жол ұзындығы

<i>Газ</i>	<i>t=0° C және P=0,1 Па (7,5·10⁻⁴ мм.сын.бағ)</i>	<i>t =0° C және P=133 Па (1мм.сын.бағ.)</i>	<i>t =25° C және P=133 Па (1 мм.сын.бағ)</i>	<i>t =0° C және P=101325 Па (760 мм.сын.бағ)</i>	<i>t =25° C және P=101325 Па (760 мм.сын.бағ)</i>
	<i>l, мкм</i>				
<i>Азот</i>	6070	48,0	50,7	0,063	0,067
<i>Аргон</i>	6440	47,1	53,1	0,062	0,067
<i>Сутегі</i>	11380	83,9	93,1	0,110	0,123
<i>Ауа</i>	6170	45,4	50,9	0,060	0,067
<i>Гелий</i>	18200	133,2	147,2	0,175	0,194
<i>Оттегі</i>	6560	48,1	54,0	0,063	0,071
<i>Криптон</i>	4900	36,9	40,9	0,048	0,053
<i>Ксенон</i>	3500	26,4	29,8	0,035	0,039
<i>Неон</i>	12600	94,4	104,5	0,124	0,138
<i>Углерод оксиды (IV)</i>	-	29,5	33,4	0,039	0,044

Реал газдар үшін a және b физикалық тұрақтылардың мәндері

Зат (газ)	$\alpha \cdot 10^{-5}, \frac{Н \cdot м^4}{кмоль^2}$	$b \cdot 10^2, \frac{м^3}{кмоль}$
Су буы	5,56	3,06
Көмірқышқыл	3,64	4,26
Оттегі	1,36	3,16
Аргон	1,36	3,22
Азот	1,36	3,85
Сутегі	$2,44 \cdot 10^{-1}$	2,63
Гелий	$3,43 \cdot 10^{-2}$	2,34

Жер деңгейінен түрлі биіктіктерде ауа молекулаларының еркін жол ұзындығы

$h, м$	$l, м$	$h, м$	$l, м$	$h, м$	$l, м$
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	0,143
500	$6,961 \cdot 10^{-8}$	20000	$9,139 \cdot 10^{-7}$	120000	2,925

Атмосфера ауасының құрамы

Газ	Көлемі, %	Ауырлығы, %	Газ	Көлемі, %	Ауырлығы, %
Азот	78,09	75,5	Ксенон	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Оттегі	20,95	23,1	Радон	$6 \cdot 10^{-18}$	-
Аргон	0,9325	1,286	Көмірқышқыл	0,030	0,046
Неон	0,0018	0,0012	Сутегі	$5 \cdot 10^{-5}$	-
Гелий	0,0005	0,00007	Азон	$1 \cdot 10^{-6}$	-
Криптон	0,000108	0,0003			

Ұлғаю коэффициенттері (K⁻¹)

Сызықты ұлғаю (ұзару)			
<i>Алюминий</i>	$2,4 \cdot 10^{-5}$	<i>Мыс</i>	$1,7 \cdot 10^{-5}$
<i>Темір</i>	$1,3 \cdot 10^{-5}$	<i>Шииа</i>	$1 \cdot 10^{-5}$
<i>Жез</i>	$1,9 \cdot 10^{-5}$	<i>Мырыш</i>	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Көлемдік ұлғаю			
<i>Су (5-10⁰С)</i>	<i>0,000053</i>	<i>Су (40-60⁰С)</i>	<i>0,000458</i>
<i>Су (10-20⁰С)</i>	<i>0,000150</i>	<i>Су (60-80⁰С)</i>	<i>0,000587</i>
<i>Су (20-40⁰С)</i>	<i>0,000302</i>	<i>Сынап (18⁰С)</i>	<i>0,00019</i>

Сұйықтардың 20⁰С температурадағы беттік керілу коэффициенттері

<i>Зат</i>	<i>Беттік керілу, мН/м</i>	<i>Зат</i>	<i>Беттік керілу, мН/м</i>
<i>Анилин</i>	<i>43</i>	<i>Күнжіт майы</i>	<i>33</i>
<i>Бензол</i>	<i>30</i>	<i>Керосин</i>	<i>30</i>
<i>Су</i>	<i>73</i>	<i>Сабынды су</i>	<i>45</i>
<i>Су (70⁰С)</i>	<i>64</i>	<i>Сынап</i>	<i>500</i>
<i>Глицерин</i>	<i>64</i>	<i>Күміс (еру.т. 960⁰С)</i>	<i>780</i>
<i>Алтын (балқу.т.1070⁰С)</i>	<i>610</i>	<i>Спирт</i>	<i>22</i>

Түрлі температураларда ауамен шекарада судың беттік керілуі

<i>Темпера тура, °С</i>	<i>Беттік керілу, мН/м</i>	<i>Темпера тура, °С</i>	<i>Беттік керілу, мН/м</i>	<i>Темпера тура, °С</i>	<i>Беттік керілу, мН/м</i>
<i>0</i>	<i>75,62</i>	<i>15</i>	<i>73,48</i>	<i>24</i>	<i>72,12</i>
<i>5</i>	<i>74,90</i>	<i>16</i>	<i>73,34</i>	<i>25</i>	<i>71,96</i>
<i>6</i>	<i>74,76</i>	<i>17</i>	<i>73,20</i>	<i>30</i>	<i>71,15</i>
<i>8</i>	<i>74,48</i>	<i>18</i>	<i>73,05</i>	<i>40</i>	<i>69,55</i>
<i>10</i>	<i>74,20</i>	<i>19</i>	<i>72,89</i>	<i>50</i>	<i>67,90</i>
<i>11</i>	<i>74,07</i>	<i>20</i>	<i>72,75</i>	<i>60</i>	<i>66,17</i>
<i>12</i>	<i>73,92</i>	<i>21</i>	<i>72,60</i>	<i>70</i>	<i>64,41</i>

13	73,78	22	72,44	80	62,60
14	73,64	23	72,28	90	60,74
				100	58,84

Түрлі температураларда судың беттік керілу коэффициенті

T, К	$10^3, \frac{H}{м}$	T, К	$10^3, \frac{H}{м}$	T, К	$10^3, \frac{H}{м}$
273	75,49	303	71,03	333	66,00
278	74,75	308	70,29	338	65,10
283	74,01	313	69,54	343	64,20
288	73,26	318	68,60	348	63,30
293	72,53	323	67,80	353	62,30
298	71,78	328	66,90		

Қаныққан су буының қысымы және тығыздығы

$t, ^\circ C$	$p, Па$	$\rho, г/м^3$	$t, ^\circ C$	$p, Па$	$\rho, г/м^3$
-30	37,3	0,33	12	1402,3	10,7
-29	41,3	0,37	13	1519,6	11,4
-28	46,7	0,41	14	1598,3	12,1
-27	50,7	0,46	15	1704,9	12,8
-26	57,3	0,51	16	1816,9	13,6
-25	62,7	0,55	17	1936,8	14,5
-24	69,3	0,66	18	2063,5	15,4
-23	77,3	0,68	19	2196,8	16,3
-22	85,3	0,73	20	2338,1	17,3
-21	93,3	0,80	21	2486,0	18,3
-20	102,6	0,85	22	2643,3	19,4
-19	113,3	0,96	23	2808,6	20,6
-18	125,3	1,05	24	2983,3	21,8
-17	137,3	1,15	25	3167,2	23,0
-16	150,6	1,27	26	3360,5	24,4
-15	165,3	1,38	27	3567,1	25,8
-14	181,3	1,51	28	3779,1	27,2
-13	198,6	1,65	29	4004,3	28,7

-12	217,3	1,80	30	4241,6	30,3
-11	237,3	1,96	31	4603,2	31,9
-10	259,9	2,14	32	4753,6	33,9
-9	283,9	2,33	33	5029,4	36,7
-8	337,2	2,54	34	5316,7	37,6
-7	351,9	2,76	35	5622,6	39,6
-6	367,9	2,99	36	5939,8	41,8
-5	401,2	3,24	37	6274,4	44,0
-4	437,2	3,51	38	6623,7	46,3
-3	457,9	3,81	39	6990,3	48,7
-2	517,2	4,13	40	7374,2	51,2
-1	562,5	4,47	45	9581,6	65,4
0	610,5	4,84	50	12330,3	83,0
1	656,5	5,22	55	15729,4	104,3
2	758,4	5,60	60	19915,0	130
3	797,3	5,98	65	24993,8	161
4	812,1	6,40	70	31152,2	198
5	871,1	6,84	75	38577,0	242
6	934,4	7,3	80	47334,8	293
7	1001,1	7,8	85	57798,9	354
8	1073,1	8,3	90	70089,1	424
9	1147,7	9,4	95	84498,9	505
10	1227,7	9,4	100	101303,0	598
11	1300,7	10,0			

Әр текті идеал газдар үшін a_v және a_p коэффициенттердің орташа мәндері
($1,3 \cdot 10^5$ Па қысым мен 0 ден 100°C температуралар аралығы үшін)

Газ	$a_v \cdot 10^6 \text{ K}$	$a_p \cdot 10^6 \text{ K}$
Азот N_2	3672	3674
Сутек H_2	3663	3661
Гелий He	3660	3658
Көмірқышқыл газы CO_2	3726	3741
Ауа	3674	3671

**Газ молекулаларының орта еркін жол ұзындығы $\bar{\lambda}$ олардың
эффektivті диаметріне σ -ға, яғни газдың тегіне тәуелді**

Газ	$\bar{\lambda} \cdot 10^7 \text{ м}$	$\sigma \cdot 10^{10} \text{ м}$
Сутек	1,123	2,3
Азот	0,599	3,1
Оттек	0,647	2,9
Гелий	1,798	1,9
Аргон	0,666	3,6

Тасымалдау құбылыстарын салыстырып көрсету

Құбылыс	Тасымалданатын шама	Негізгі теңдеу	Тасымалдау коэффициенттері
Диффузия	Масса	$dM = -D \frac{d\rho}{dz} dS \cdot dt$	$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$
Жылу өткізгіштік	Жылу мөлшері	$dQ = -x \frac{dT}{dz} dS \cdot dt$	$x = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho c_v$
Ішкі үйкеліс	Импульс	$dK = \eta \frac{dv}{dz} dS \cdot dt$	$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho$
Үйкеліс	Үйкеліс күші	$df = \eta \frac{dv}{dz} dS$	

**Әр текті газдардың меншікті жылу сыйымдылықтары, олардың
тұтқырлық және жылу өткізгіштік коэффициенттері**

Газ	$\eta, \text{пуаз}$	$x, \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$	$c_v, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\frac{x}{\eta \cdot c_v}$
Азот	$1.66 \cdot 10^{-4}$	0,0237	744,05	1,90
Оттек	$1.92 \cdot 10^{-4}$	0,0239	622,08	1,90
Су буы	$1.21 \cdot 10^{-4}$	0,0231	1529,88	1,24
Көміртек	$1.38 \cdot 10^{-4}$	0,0142	631,18	1,64
Аммиак	$0.90 \cdot 10^{-4}$	0,300117	1672,00	1,40

Кейбір газдардың меншікті жылулық сыйымдылығы

Газ	$c_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$c_v, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\frac{c_p}{c_v}$
Азот	1,051	0,745	1,40
Аммиак	2,244	1,675	1,31
Аргон	0,523	0,322	1,67
Ацетилин	1,683	1,352	1,25
Сутегі	14,269	10,132	1,41

Ауа	1,009	0,720	1,40
Гелий	5,269	3,182	1,66
Оттегі	0,913	0,653	1,40
Метан	2,483	1,700	1,31
Неон	1,038	0,620	1,68
Пропан	1,863	1,650	1,13

Меншікті жылулық сыйымдылығы

Қатты денелер және сұйықтар			
Зат	Меншікті жылулық сыйымдылығы, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$	Зат	Меншікті жылулық сыйымдылығы, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$
Алюминий	896	Мұз	2100
Бензин (50 ⁰ С)	2095	Трансформатор майы (20 ⁰ С)	1800
Висмут	130	Мыс	395
Су (20 ⁰ С)	4190	Сынап	238
Вольфрам	295	Қорғасын	131
Темір (болат)	460	Спирт	2510
Жез	386		

Термометрлерді градуирлеу үшін халықаралық практикалық температуралық шкала белгілеген нүктелерден басқа реперлік нүктелер

№	Тепе – теңдік күй	0 ⁰ С
1	Сутектің үштік нүктесі	-259,340
2	Сутектің қайнау нүктесі	-252,870
3	Оттектің үштік нүктесі	216,789
4	Оттектің қайнау нүктесі	-182,962
5	Судың үштік нүктесі	0,010
6	Мұздың балқу нүктесі	0,800
7	Судың қайнау нүктесі	100,000
8	Мырыштың қатаю нүктесі	419,505
9	Күмістің кристалдану нүктесі	961,930
10	Алтынның кристалдану нүктесі	1064,430

**Тұрақты 273 К температура мен әртүрлі қысымдарда
тәжірибелер арқылы өлшенген, ауа молекулаларының орта
еркін жол ұзындықтары**

$P, \text{Па}$	$1,013 \cdot 10^5$	1,333	$1,333 \cdot 10^{-2}$	$1,333 \cdot 10^{-3}$	$1,333 \cdot 10^{-5}$
$\bar{\lambda}, \text{м}$	$6,21 \cdot 10^{-8}$	$4,72 \cdot 10^{-3}$	$4,72 \cdot 10^{-1}$	4,72	$4,72 \cdot 10^2$

**Бір, екі, үш атомды газ молекулалары үшін C_p, C_v және γ
мәндері**

Молекулалар	i	C_v	C_p	γ
Бір атомды	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	1,67
Екі атомды	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	1,40
Үш атомды	6	$\frac{6}{2}R$	$\frac{8}{2}R$	1,33

**Әр түрлі қысымдағы және 273 К температурадағы бір моль азот
үшін Бойль – Мариотт заңының орындалмайтындығы төмендегі
кестеде анық байқалады**

$P \cdot 10^5 \text{ Па}$	$V \cdot 10^4 \text{ м}^3$	$PV \cdot 10^9 \text{ м}^3 \text{ Па}$
1	224	224
100	2,4	240
300	0,85	255
500	0,625	322
700	0,532	372
900	0,482	435
1000	0,460	460

Кейбір сұйықтардың сығылғыштығы

Сұйық аттары	$t, ^\circ\text{C}$	$\beta, \left(\frac{1}{\text{Па}}\right)$
Эфир	0	$1,45 \cdot 10^{-9}$
Этил спирті	0	$0,75 \cdot 10^{-9}$
Бензол	18	$0,91 \cdot 10^{-9}$
Керосин	16,5	$0,68 \cdot 10^{-9}$
Су	15	$0,49 \cdot 10^{-9}$
Сынап	20	$0,038 \cdot 10^{-9}$

Кейбір сұйықтар үшін бөлме температурасында анықталған α мәндері

Сұйық	$\alpha, \left(\frac{1}{K}\right)$
Эфир	$1,63 \cdot 10^{-3}$
Бензол	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Этил спирті	$1,08 \cdot 10^{-3}$
Глицерин	$0,53 \cdot 10^{-3}$
Су	$0,21 \cdot 10^{-3}$
Сынап	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Пісте майы	$0,72 \cdot 10^{-3}$

Түрлі қысымдарда судың қайнау температурасы

ГПа	806,6	919,9	933,3	946,6	960,9	973,3	986,6	999,9	1013,24	1026,6	1039,9	1053,2
0	370,07	370,47	370,86	371,26	371,64	372,03	372,41	372,78	373,15	373,52	373,88	374,24
1	370,11	370,51	370,90	371,29	371,68	372,06	372,44	372,82	373,19	373,55	373,91	374,27
2	370,15	370,55	370,94	371,33	371,72	372,10	372,47	372,85	373,22	373,59	373,95	374,31
3	370,19	370,59	370,98	371,37	371,76	372,14	372,52	372,89	373,26	373,63	373,99	374,34
4	370,23	370,63	371,02	371,41	371,80	372,18	372,56	372,93	373,30	373,66	374,02	374,38
5	370,27	370,67	371,06	371,45	371,84	372,22	372,59	372,97	373,33	373,70	374,06	374,41
6	370,31	370,71	371,10	371,49	371,87	372,25	372,63	373,00	373,37	373,73	374,09	374,45
7	370,35	370,75	371,14	371,53	371,91	372,29	372,67	373,04	373,41	373,77	374,13	374,48
8	370,39	370,78	371,18	371,57	371,95	372,33	372,71	373,08	373,44	373,80	374,17	374,52
9	370,43	370,82	371,22	371,60	371,99	372,37	372,74	373,11	373,48	373,84	374,20	374,56
10	370,47	370,86	371,26	371,64	372,03	372,41	372,78	373,15	373,52	373,88	374,24	374,59

ГПа – Гектопаскаль 1 ГПа = 10^2 Па
760 мм.сын.бағ = 101324 Па = 1013,24 Па

Түрлі қысымдарда судың қайнау температурасы

P, МПа	$t, ^\circ C$	P, МПа	$t, ^\circ C$	P, МПа	$t, ^\circ C$
0,1	99,7	1,1	183,8	2,5	224
0,2	120,3	1,2	187,8	3	236
0,3	133,4	1,3	191,5	3,5	244
0,4	143,5	1,4	195	4	252
0,5	151,7	1,5	198,2	4,5	259
0,6	158,7	1,6	201,3	5	266
0,7	164,8	1,7	204,2	5,5	272
0,8	170,8	1,8	207	6	277
0,9	175,2	1,9	210,2	6,5	283
1	179,7	2,0	212,3	7	288

Қатты денелердің кейбір тұрақтылары

α - ұлғаю коэффициенті (273-373) К да; C – 291 К да меншікті жылу сыйымдылығы;
 χ - 291 К да жылулық өткізгіштік коэффициенті; T_3 - балқу температурасы;
 r – балқу жылулығы; E – Юнг модулі; N – ығысу модулі;
 (Сан кестеден алынып жатқанда көрсетілген коэффициентке бөлінуі қажет.)

Қатты денелер	$\alpha \cdot 10^4, \frac{1}{K}$	$C \cdot 10^{-3} \frac{Дж}{кг \cdot K}$	$\chi \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot K}$	T_3, K	$r \cdot 10^{-3}, \frac{Дж}{кг}$	$E \cdot 10^{-10} Па$	$N \cdot 10^{-10}, Па$
Алюминий	0,238	0,897	2,011	931,7	321,79	7,05	2,63
Бронза	0,171-0,212	0,436	0,587	-	-	10,60	2,9
Висмут	0,135	1,299	0,080	544	52,96	3,19	1,2
Вольфрам	0,045	0,155	1,592	3655,3	-	-	-
Вуд күймасы	-	0,168	1,257	338,5	35,20	-	-
Темир	0,121	0,429	0,587	1803	96,4-138	21,2	8,2
Болат	0,106	0,503	0,461	-	-	20,9	8,12
Константан	0,1523	0,419	0,226	-	-	16,6	6,11
Жез	0,188-0,193	0,384	1,089	1173	-	9,7-10,2	3,5
Мұз	0,51	2,095	0,025	273	33365	-	-
Мыс	0,167	0,394	3,855	1356	175,98	12,98	4,83
Никель	0,128	0,461	0,587	1725	244,3-305,8	20,4	7,9
Қалайы	0,230	0,230	0,658	504,9	58,66	5,43	2,04
Платина	0,091	0,117	0,696	2043	-	16,8	6,04
Қорғасын	0,293	0,126	0,348	600	22,46	1,62	0,552
Шыны	0,04	-	0,010	-	-	-	-

Сұйық денелердің кейбір тұрақтылары

σ - 291 К де беттік керілу коэффициенті; η - 291 К де ішкі үйкеліс коэффициенті.
 β - 291 К де көлемдік ұлғаю коэффициенті; c – 291 К де меншікті жылулық сыйымдылығы.
 T_k – қалыпты қысымда қайнау температурасы. b - меншікті булану жылулығы (273 К және қалыпты қысымда); T_k – критикалық температура; p_k – критикалық қысым.
 (Сан кестеден алынып жатқанда көрсетілген коэффициентке бөлінуі қажет.)

Денелер	$\sigma \cdot 10^2, \frac{Н}{м}$	$\eta \cdot 10^3, Па \cdot с$	$\beta \cdot 10^4, \frac{1}{K}$	$c \cdot 10^{-3}, \frac{Дж}{кг \cdot K}$	T_k, K	$g \cdot 10^3, \frac{Дж}{кг}$	$T_k, \frac{Дж}{кг}$	$p_k \cdot 10^{-5}, Па$
Анилин	4,3	4,6	8,5	2,095	457,2	435,76	699	52,99
Ацетон	2,3	0,337	13,1	2,179	329,7	523,75	508	47,67
Су	7,3	1,05	1,8	4,186	373,0	2258,83	647	220,88
Глицерин	6,6	13,93	5,0	2,430	563,0	-	-	-
Сынап	50,0	1,59	1,81	0,138	629,7	284,92	1743	-
Этил спирті	2,2	1,22	11,0	2,430	351,3	846,38	516	63,83
Этил эфир	1,7	0,238	16,3	2,346	307,6	846,38	467	35,46

Газдардың кейбір тұрақтылары

ρ - тығыздық; C_p – 291 К де меншікті жылулық сыйымдылығы және $\frac{C_p}{C_v}$ қатынас; μ - 273 К де ішкі үйкеліс коэффициенті; χ - 273 К де жылулық өткізгіштік коэффициенті; P_k - критикалық қысым; T_k – критикалық температура.

Газдар	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$c_p \cdot 10^{-3}, \frac{Дж}{кг \cdot К}$	$\frac{C_p}{C_v}$	$\mu \cdot 10^4, Па \cdot с$	$P_k \cdot 10^{-5}, Па$	$\chi \cdot 10^{-2}, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$T_k, К$
Азот	1,2507	1,0433	1,40	0,167	33,94	2,27	126,0
Аргон	1,7839	0,7271	1,67	0,222	48,70	1,62	151,0
Сутегі	0,0899	14,2879	1,41	0,084	12,97	15,75	33,2
Ауа	1,2928	1,0098	1,40	0,172	37,69	2,37	132,0
Гелий	1,1786	5,2375	1,67	0,189	2,28	14,16	5,0
Оттегі	1,4290	0,9134	1,40	0,192	50,66	2,40	154,0
Көмірқышқыл	1,9768	0,8464	1,30	0,140	73,96	1,39	304,0

Түрлі температураларда қаныққан су буының қысымы және 1 м³ көлемдегі массасы

(T – абсолют температура; p – қысым; m – 1 м³ буының массасы)

T, К	P, мм.сын.бағ.	m, Г	T, К	P, мм.сын.бағ.	m, Г
273	4,58	4,84	300	26,74	25,8
274	4,93	5,22	301	28,35	27,2
275	5,29	5,60	302	30,04	28,7
276	5,69	5,98	303	31,82	30,3
277	6,10	6,40	304	33,70	32,1
278	6,54	6,84	305	35,66	33,9
279	7,01	7,3	306	37,73	35,7
280	7,51	7,8	307	39,90	37,6
281	8,05	8,3	308	42,18	39,6
282	8,61	8,8	309	44,56	41,8
283	9,21	9,4	310	47,07	44,0
284	9,84	10,0	311	49,69	46,3
285	10,52	10,7	312	52,44	48,7
286	11,23	11,4	313	55,32	51,2
287	11,99	12,1	318	71,88	65,4
288	12,79	12,8	323	92,5	83,0
289	13,63	13,6	328	118,0	104,3
290	14,53	14,5	333	149,4	130
291	15,48	15,4	338	187,5	161
292	16,48	16,3	343	233,7	198
293	17,54	17,3	348	289,1	242
294	18,65	18,3	353	355,1	293
295	19,83	19,4	358	433,6	354
296	21,07	20,6	363	525,8	424
297	22,38	21,8	368	633,9	505
298	23,76	23,0	373	760,0	598

299	25,21	24,4			
-----	-------	------	--	--	--

Түрлі температура және қысымдарда құрғақ ауаның

ТЫҒЫЗДЫҒЫ $[\rho]$, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right]$

(Кестедегі сандар 1000 ға көбейтіріп алынсын)

Р,Па мм.сын. бағ. Т,К	933,3 700	946,6 710	960,9 720	973,3 730	986,6 740	999,9 750	1013,2 760	1026,6 770	1039,9 780
273	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
274	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310	1327
275	1187	1204	1221	1238	1255	1272	1288	1305	1322
276	1182	1199	1216	1233	1250	1267	1284	1300	1318
277	1178	1195	1212	1229	1245	1262	1279	1296	1313
278	1174	1191	1207	1224	1241	1258	1274	1291	1308
279	1170	1186	1203	1220	1236	1253	1270	1287	1303
280	1165	1182	1199	1215	1232	1249	1265	1282	1299
281	1161	1178	1194	1211	1228	1244	1261	1277	1294
282	1157	1174	1190	1207	1223	1240	1256	1273	1289
283	1153	1169	1186	1202	1219	1235	1252	1268	1285
284	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264	1280
285	1145	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259	1276
286	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1239	1255	1271
287	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251	1267
288	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246	1262
289	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242	1258
290	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238	1254
291	1121	1137	1153	1169	1195	1201	1217	1233	1249
292	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1213	1229	1245
293	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225	1241
294	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1236
295	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216	1232
296	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212	1228
297	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208	1224
298	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204	1220
299	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200	1216
300	1087	1103	1118	1134	1149	1165	1181	1196	1212
301	1084	1099	1115	1130	1146	1161	1177	1192	1208
302	1080	1096	1111	1126	1142	1157	1173	1188	1204
303	1077	1092	1107	1123	1138	1153	1169	1184	1200
304	1073	1088	1104	1119	1134	1150	1165	1180	1196

Ауа салыстырмалы ылғалдылығының психрометриялық кестесі

Құрғақ термометрдің көрсетуі, °С	Құрғақ және ылғал термометрдің көрсетулеріндегі айырмашылық (°С есебінде)										
0	100	81	63	45	28	11					
2	100	84	68	51	35	20					
4	100	85	70	56	42	28	14				
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	9
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	28
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	31
28	100	93	85	78	72	65	69	53	48	42	34
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	37
											39

P=760 мм.сын.бағ. да салыстырмалы ылғалдылық, % терде

$t^0 - t_h^0$ t^0	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7
-9	85	71									
-8	87	73	59	46							
-6	88	76	64	52	40	29					
-4	89	78	67	57	46	36					
-2	90	80	70	61	52	42	33	25			
0	91	82	73	65	56	48	39	31			
2	92	84	76	68	60	52	45	37	22		
4	92	85	78	70	63	56	49	42	29		
6	93	86	79	73	66	60	53	47	35	23	
8	94	87	81	75	69	63	57	51	40	29	18
10	94	88	82	76	71	65	60	54	44	34	24

$t^0 - t_h^0$ t^0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
15	90	80	71	61	52	44	27	12			
20	91	83	74	66	59	51	37	24	12		
25	92	84	77	70	63	57	44	33	22	12	
30		86		73		61	50	39	30	21	13
35		87		75		64	53	44	35	27	20

Ескерту: t^0 - құрғақ термометрдің температурасы, t_h^0 - ылғал термометрдің температурасы.

20⁰С температурада кейбір заттардың қаныққан бу қысымы

Зат	P, кПа
Ацетон	24,0
Бензол	10,0
Су	2,34
Метил спирті	12,9
Сынап	$1,63 \cdot 10^{-4}$
Толуол	2,93
Хлорофол	21,3
Этил спирті	5,87

Заттардың жылулық өткізгіштігі

Зат	Жылулық өткізгіштік, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	Зат	Жылулық өткізгіштік, $\frac{Вт}{м \cdot К}$
Алюминий	205	Мыс	390
Аргон	0,16	Қазан құйқымы	2,3
Асбест	0,14	Қалқыма	0,035
Висмут	10	Құрым	0,25
Су	0,58	Қорғасын	34,8
Ауа	0,026	Смола	0,52
Ағаш (талшығына көлденең)	0,17	Шиша	0,74
Темір (болат)	62	Эбонит	0,16
Кірпішті қабырға	0,84		

Заттардың жылулық өткізгіштігі

<i>Зат</i>	<i>Жылулық өткізгіштік, Вт/(м.К)</i>	<i>Зат</i>	<i>Жылулық өткізгіштік, Вт/(м.К)</i>
<i>Алюминий</i>	<i>205</i>	<i>Мыс</i>	<i>390</i>
<i>Аргон</i>	<i>0,16</i>	<i>Қазан құйқымы</i>	<i>2,3</i>
<i>Асбест</i>	<i>0,14</i>	<i>Қалқыма</i>	<i>0,035</i>
<i>Висмут</i>	<i>10</i>	<i>Құрым</i>	<i>0,25</i>
<i>Су</i>	<i>0,58</i>	<i>Қорғасын</i>	<i>34,8</i>
<i>Ауа</i>	<i>0,026</i>	<i>Смола</i>	<i>0,52</i>
<i>Ағаш (талшығына көлденең)</i>	<i>0,17</i>	<i>Шиша</i>	<i>0,74</i>
<i>Темір (болат)</i>	<i>62</i>	<i>Эбонит</i>	<i>0,16</i>

Әдебиеттер:

1. М.С.Бердібаев “Физикалық метрология”. Алматы. “Қазақ университеті”.2003 жыл.
2. Б.Ф.Избосаров. И.Р.Камолов “Umumiy fizikadan laboratoriya ishlari”. “VORIS-NASHRIYOT”. Ташкент. 2007 жыл.
3. Н.Қойшыбаев “Физика” (Анықтамалық құрал). Алматы. “Атамұра”. 2008жыл.
4. Б.Ф.Ахметова, Ә.Х. Әбілдаев “Физика”. Алматы. “Мектеп”. 1987 жыл.
5. Б.Ф.Избосаров., И.Р.Камолов. “Механика”. “LIDER PRESS”. Ташкент. 2009 жыл.
6. М.Х.Ўлмасова, Ж.А.Тошхонова, И.Исмоилов, Ж.Камолов. “Физикадан практикум” (Механика және молекулалық физика). Тошкент “Ўқитувчи”.1996 жыл.
7. М.Ш.Ҳайдарова, Ў.Қ.Назаров. “Физикадан лаборатория ишлари”. Тошкент “Ўқитувчи”.1989 жыл.
8. О.Ф.Кабардин, С.И.Кабардина, Н.И.Шефер. “Физикадан факультатив курс”. Тошкент “Ўқитувчи”.1978 жыл.
9. А.А.Марголис, Н.Е.Парфентьева, Л.А.Иванова “Мактаб физика экспериментидан практикум”. Тошкент “Ўқитувчи”. 1980 жыл.
10. “Ўрта мактабда физикадан фронтал лаборатория машғулотлари” (А.А.Покровский тахрири остида). Тошкент “Ўқитувчи”. 1977 жыл.
11. М.Жұбанов “Физиканың негізгі заңдары”. Алматы. “Мектеп”. 1989 жыл.
12. Н.М.Шахмаев, С.Н.Шахмаев, Д.Ш.Шодиев “Физика” (9сынып үшін). Алматы. “Рауан”.1991 жыл.
13. И.К.Кикоин, А.К.Кикоин “Физика” (9сынып үшін). Алматы. “Рауан”.1991 жыл
14. Н. Косов, М. Сәметқызы “Молекулалық физика” (II бөлім). Алматы. “Рауан” 1997 жыл.
15. Н.Қойшыбаев “Молекулалық физика”. Алматы. “PRESS” 2005 жыл.
16. Н.Ілиясов “Жалпы физика курсы” (Молекулалық физика және бейсызық физика). Алматы. “Білім” баспасы. 2003 жыл.
17. Т.Саидмуродов, М.Вахобов “Молекуляр физикадан практикум”. Тошкент. “Ўқитувчи”. 1987 жыл.

МАЗМҰНЫ

1	Алғы сөз	3
2	Лаборатория сабақтары және оларды ұйымдастыру әдістері жайында	4
3	Метрологияның даму тарихына қысқаша шолу	6
4	Физикалық шамаларды өлшеу	8
5	Физикалық шамалар және өлшеу бірліктері	12
6	Өлшеу құралдары	28
7	Өлшеу құралдарының қателіктері	37
8	Өлшеулер кезінде пайда болатын қателіктер	39
9	Жуықтап есептеу және дөңгелектеу ережелері	45
10	Мәліметтерді өңдеудің графикалық тәсілі	46
11	Өлшеулердің жазылу тәртібі және орындалған лаборатория жұмысы жайлы есеп беру	50
12	Лаборатория жұмыстарын орындау кезеңінде талапкерлерге қойылатын талаптар	51
13	Талапкерлерге кейбір кеңестер және ұсыныстар	53
14	Нониустар жайлы түсініктер	54
15	Денелердің сызықты өлшемдерін штангенциркуль жәрдемінде анықтау	57
16	Денелердің сызықты өлшемдерін микрометр жәрдемінде анықтау	59
17	Денелердің ілгерілемелі қозғалыс заңдарын Атвуд машинасында үйрену	61
18	Түзу геометриялық пішіндегі денелердің тығыздығын анықтау	66
19	Сұйықта жүзетін және бататын денелердің тығыздығын гидростатикалық тарту әдісімен анықтау	69
20	Дененің бір қалыпты үдемелі қозғалыс кезіндегі үдеуін анықтау	74
21	Көкжиекке көлбеу бойымен атылған дененің қозғалысын үйрену	78
22	Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысын үйрену	82
23	Бірнеше күштің әсерінен болатын денелердің тепе – теңдік жағдайын үйрену	84
24	Еркін түсу үдеуін математикалық маятник жәрдемінде анықтау	88
25	Сақина жәрдемінде Жер тартылыс күшінің үдеуі “g” – ны	93

	есептеу	
26	Еркін түсу үдеуін физикалық маятник жәрдемінде анықтау	95
27	Маховик доңғалақтың инерция моментін анықтау	99
28	Юнг модулін анықтау	103
29	Түрлі денелердің сырғанау үйкеліс коэффициентін анықтау	109
30	ТМ -21 А қондырғы жәрдемінде үйкеліс коэффициентін анықтау	114
31	Сұйықтың тығыздығын пикнометр жәрдемінде анықтау	119
32	Қатты денелердің тығыздығын пикнометр жәрдемінде анықтау	121
33	Қарапайым механизмдердің пайдалы әсер коэффициентін анықтау	124
34	Қатты денелердің сырғанау үйкеліс коэффициентін анықтау	127
35	Қатты денелердің шеңбер бойымен қозғалыс динамикасының негізгі заңдарын тәжірибеде тексеру	131
36	Серпінділік күші мен ауырлық күшінің әсерінен дененің шеңбер бойымен қозғалысын үйрену	135
37	Механикалық энергияның сақталу заңын үйрену	139
38	Қатты денелердің серпінділік(Юнг) модулін иілуден анықтау	143
39	Механика пәнінен тест сұраулары	147
40	Термопаралар жасау және оны дәрежелену	159
41	Меншікті (газдардың) жылу сыйымдылықтарының қатынасын үйрену $\frac{C_p}{C_v}$	169
42	Газ қысымының термиялық коэффициентін анықтау	178
43	Ауаның ішкі үйкеліс коэффициенті және молекулалардың еркін өту жолының ұзындығын анықтау	187
44	Сұйықтың көлемдік ұлғаю коэффициентін анықтау	195
45	Сұйықтың ішкі үйкеліс (тұтқырлық құбылысы) коэффициентін Стокс әдісінде анықтау	203
46	Сұйықтың ішкі үйкеліс (тұтқырлық құбылысы) коэффициентін капилляр вискозиметр жәрдемінде анықтау	211
47	Сұйықтың беттік керілу коэффициентін тамшы тарту әдісі жәрдемінде анықтау	215
48	Сұйықтың беттік керілу коэффициентін сақинаны сұйықтан үзу жолымен анықтау	225
49	Беттік керілу коэффициентін сұйықтың капилляр түтіктерде көтерілу биіктігіне қарап анықтау	229
50	Сұйықтардың меншікті булану жылулығын анықтау	234

51	Қатты денелердің жылулықтан ұлғаю коэффициентін анықтау	239
52	Қатты денелердің меншікті жылулық сыйымдылығын және реал жүйенің энтропиясының өзгеруін анықтау	246
53	Қатты денелердің меншікті еру жылулығын анықтау	252
54	Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын психрометр жәрдемінде анықтау	256
55	Молекулалық физика пәнінен тест сұраулары	261
56	Кестелер	271
57	Әдебиеттер	300
58	Мазмұны	301

MUNDARIJA

1	So'z boshi	3
2	Laboratoriya darslari va ularni tashkillashtirish usullari haqida	4
3	Metrologiyaning rivojlanish tarixiga qisqacha nazar	6
4	Fizik kattaliklarni o'lchash	8
5	Fizik kattaliklar va o'lchov birliklari	12
6	O'lchov asboblari	28
7	O'lchov asboblarining xatoliklari	37
8	O'lchashlar vaqtida paydo bo'ladigan xatoliklar	39
9	Taxminiy hisoblash va yaxlitlash qoidalari	45
10	Ma'lumotlarni grafik usulda tasvirlash	46
11	O'lchashlarning yozilish tartibi va bajarilgan laboratoriya ishlari haqida hisobot berish	50
12	Laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalarga qo'yiladigan talablar	51
13	Talabalarga ayrim maslahatlar va takliflar	53
14	Noniuslar haqida tushunchalar	54
15	Jismlarning chiziqli o'lchamlarini shtangensirkul yordamida aniqlash	57
16	Jismlarning chiziqli o'lchamlarini mikrometr yordamida aniqlash	59
17	Jismlarning ilgarilanma harakat qonunlarini Atvud mashinasida o'rganish	61
18	To'g'ri geometrik shakldagi jismlarning zichligini aniqlash	66
19	Suyuqlikda suzuvchi va cho'kuvchi jismlarning zichligini	69

	gidrostatik tortish usuli bilan aniqlash	
20	Jismning tekis tezlanuvchan harakat vaqtidagi tezlanishini aniqlash	74
21	Gorizontga nisbatan qiya otilgan jismning harakatini o'rganish	78
22	Gorizont otilgan jismning harakatini o'rganish	82
23	Bir qancha kuch ta'sirida bo'ladigan jismlarning muvozanat holatini o'rganish	84
24	Erkin tushish tezlanishini matematik mayatnik yordamida aniqlash	88
25	Halqa yordamida Yer tortish kuchi tezlanishi "g" – ni hisoblash	93
26	Erkin tushish tezlanishini fizik mayatnik yordamida aniqlash	95
27	Maxovik g'ildirakning inersiya momentini aniqlash	99
28	Yung modulini aniqlash	103
29	Turli jismlarning sirpanish ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash	109
30	TM-21 A qurilma yordamida ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash	114
31	Suyuqlikning zichligini piknometr yordamida aniqlash	119
32	Qattiq jismlarning zichligini piknometr yordamida aniqlash	121
33	Oddiy mexanizmlarning foydali ish koeffitsiyentini aniqlash	124
34	Qattiq jismlarning sirpanish ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash	127
35	Qattiq jismlarning aylanma harakati dinamikasining asosiy qonunlarini tajribada tekshirish	131
36	Elastiklik kuchi bilan og'irlik kuchining ta'siridan jismning aylanma harakatini o'rganish	135
37	Mexanik energiyaning saqlanish qonunini o'rganish	139
38	Qattiq jismlarning elastiklik (Yung) modulini egilishdan aniqlash	143
39	Mexanika fanidan test savollari	147
40	Termoparalar yasash va uni darajalash	159
41	Solishtirma (gazlarning) issiqlik sig'implarining nisbati c_p/c_v ni o'rganish	169
42	Gaz bosimining termik koeffitsiyentini aniqlash	178
43	Havoning ichki ishqalanish koeffitsiyenti va molekulalarning erkin yugurish yo'lini aniqlash	187
44	Suyuqliklarning hajmiy kengayish koeffitsiyentini aniqlash	195
45	Suyuqliklarning ichki ishqalanish koeffitsiyenti Stoks usulida aniqlash	203
46	Suyuqliklarning ichki ishqalanish koeffitsiyentini Kapillyar	211

	viskozimetr yordamida aniqlash	
47	Suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsiyentini tomchi usuli yordamida aniqlash	215
48	Sirt taranglik koeffitsiyentini xalqani suyuqlikdan uzish yo'li bilan aniqlash	225
49	Sirt taranglik koeffitsiyentini suyuqlikning kapillyar naylarda ko'tarilish balandligiga qarab aniqlash	229
50	Suyuqliklarning solishtirma bug'lanish issiqligini aniqlash	234
51	Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsiyentini aniqlash	239
52	Qattiq jismlarning solishtirma issiqlik sig'imini va real sistemaning entropiyasining o'zgarishini aniqlash	246
53	Qattiq jismlarning solishtirma erish issiqligini aniqlash	252
54	Havoning nisbiy namligini psixrometr yordamida aniqlash	256
55	Molekulyar fizika fanidan test savollari	261
56	Jadvallar	271
57	Adabiyotlar	300
58	Mundarija	301

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	3
2	Лабораторные занятия и их методы организации	4
3	Короткий исторический обзор о развитие метрологии	6
4	Измерений физических величин	8
5	Физические величины и единицы измерений	12
6	Измерительные приборы	28
7	Ошибки измерительных приборов	37
8	Ошибки при появлении измерения	39
9	Приблизительные расчёты и округления	45
10	Графическое изображение результатов измерений	46
11	Порядок проведения измерений и подготовки отчёта лабораторных работ	50
12	Требования при выполнении лабораторных работ	51
13	Советы студентам к выполнению лабораторных работ	53
14	Понятие о нониуса	54
15	Определение линейных размеров тела при помощи штангенциркуля	57

16	Определение линейных размеров тела при помощи микрометра	59
17	Изучение законов поступательного движения на машине Атвуда	61
18	Определение плотности тела прямой формы	66
19	Определение плотности плавящихся и утонувших тел методом гидростатического взвешивания	69
20	Определение ускорения тела при равноускоренном движении	74
21	Изучение движение тела брошенного под горизонтом	78
22	Изучение движение горизонтально брошенного тела	82
23	Изучение стационарного положения тела под действием нескольких сил	84
24	Определение ускорение свободного падение тела при помощи математического маятника	88
25	Определение ускорение свободного падение тела при помощи кольцо	93
26	Определение ускорение свободного падение тела при помощи физического маятника	95
27	Определение момента инерции махового колеса	99
28	Определение модуля Юнга	103
29	Определение коэффициента трения скольжения разных тел	109
30	Определение коэффициента трения с помощью установки ТМ – 21 А	114
31	Определение плотности жидкости с помощью пикнометра	119
32	Определение плотности твёрдых тел с помощью пикнометра	121
33	Определение коэффициента полезного действия простых механизмов	124
34	Определение коэффициента трения-скольжения твёрдых тел	127
35	Экспериментальная проверка законов динамики вращения твёрдых тел	131
36	Изучение вращательных движений с воздействием эластических сил и сил тяжести	135
37	Изучение сохранение механической энергии	139
38	Изучение коэффициента модуля (Юнга) упругости твёрдых тел при изгибе	143
39	Тестовые вопросы по механике	147
40	Изготовление и градуирование термопары	159

41	Определение отношение теплоемкостей газов $\frac{C_p}{C_v}$.	169
42	Определение термического коэффициента давления газа	178
43	Определение коэффициента внутреннего трения газа и длина свободного пробега молекул	187
44	Определение коэффициента объемного расширения жидкости	195
45	Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методам Стокса	203
46	Определение коэффициента внутреннего трения жидкости с помощью вискозиметра	211
47	Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости капельным методом	215
48	Определение коэффициента поверхностного натяжения по методу с поднятием кольцо из жидкости	225
49	Определение коэффициента поверхности натяжение жидкости с помощью капиллярной трубки	229
50	Определение теплоты удельного испарения жидкости	234
51	Определение коэффициента теплового расширения твёрдых тел	239
52	Определение удельной теплоёмкости твёрдых тел и энтропии реальных систем	246
53	Определение теплоты удельного плавление твёрдых тел	252
54	Измерение удельной влажности воздуха с помощью психрометра	256
55	Тестовые вопросы по молекулярной физике	261
56	Таблицы	271
57	Литературы	300
58	Содержание	301

THE CONTENTS

1	Introduction	3
2	Laboratory exercises and their methods of organizing	4
3	Short historical review about developing metrology	6
4	Measurements of physical sizes	8
5	Physical sizes and units of measure	12
6	Measuring devices	28
7	Mistake of measuring devices	37

8	Mistake at occurrence measurement	39
9	Approximate accounts and roundings off	45
10	Graphic image of results of measurements	46
11	Order of carrying measurements and preparation of the report of laboratory works	50
12	Requirement at performance of laboratory works	51
13	Advice to the students to perform the laboratory works	53
14	Study of the linear sizes of bodies with the help shtangencircul and micrometer	54
15	Definition of the linear sizes of a body with the help shtangencircul	57
16	Definition of the linear sizes of a body through micrometer	59
17	Study of the laws of forward movement by the machine Atvud	61
18	Definition of density of a body of the direct form	66
19	Definition of density swimming and sunk bodies by a method of hydrostatic weighing	69
20	Definition of acceleration of a body at equiangular movement	74
21	Study movement of a body thrown under horizon	78
22	The study movement is horizontal of the thrown body	82
23	Study of a stationary rule of a body under action of several forces	84
24	Definition acceleration free fall of a body through a mathematical pendulum	88
25	Definition acceleration free fall of a body with the help of ring	93
26	Definition acceleration free fall of a body through a physical pendulum	95
27	Definition of the moment of inertia flywheel	99
28	Definition of the module Yung	103
29	Definition of factor of friction of sliding of different bodies	109
30	Definition of factor friction with the help of installation TM - 21 And	114
31	Definition of density of a liquid with the help picknometer	119
32	Definition of density of firm bodies with the help picknometer	121
33	Definition of efficiency of simple mechanisms	124
34	Definition of factor of friction - sliding of firm bodies	127
35	Experimental check of the laws of dynamics of rotation of firm bodies	131
36	Study of rotary movements with influence elastic forces and forces of weight	135
37	Study preservation of mechanical energy	139
38	Study of factor of the module (Yung) of elasticity of firm bodies at a bend	143
39	Test questions on the mechanics	147
40	Manufacturing and graduating the thermocouple	159
41	Definition the attitude(relation) heating of gases	169
42	Definition of thermal factor pressure of gas	178

43	Definition of factor of internal friction of gas and length of free run of molecules	187
44	Definition of factor of volumetric expansion of a liquid	195
45	Definition of factor of internal friction of a liquid to methods of Stock	203
46	Definition of factor of internal friction of a liquid with the help of viscosimeter	211
47	Definition of factor of a superficial tension of a liquid drop method	215
48	Definition of factor of a superficial tension on a method with a raising ring from a liquid	225
49	Definition of factor of a surface a tension of a liquid with the help capillary tube	229
50	Definition of heating of specific evaporation of a liquid	234
51	Definition of factor of thermal expansion of firm bodies	239
52	Definition specific heating of firm bodies and antropes of real systems	246
53	Definition of heat specific swimming of firm bodies	252
54	Measurement of specific humidity of air with the help psixrometer	256
55	Test questions on molecular physics	261
56	Table	271
57	Literature	300
58	Contents	301