

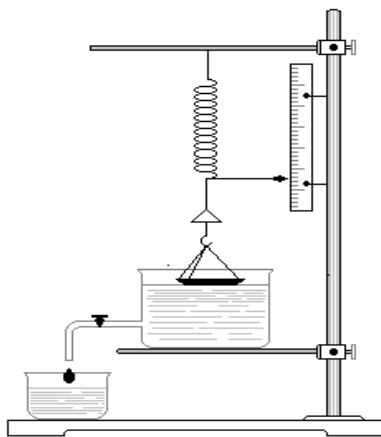
**Ўзбекстан Республикасы Жоқары ҳәм
орта арнаўлы билим министрлиги**

**Бердақ атындағы Қарақалпақ
мәмлекетлик университети**

Б.А.Абдикамалов, Ж.О.Акимова, Р.М.Хожаназарова

Молекулалық физика курсы бойынша лабораториялық жумыслар

Жоқары оқыў орынларының физика қәнигелиги
студентлери ушын арналған оқыў қолланбасы



Нөкис – 2012

Оқыу қолланбасында физика курсының молекулалық физика бөліміне тийіс болған лабораториялық жұмыстар, бұл жұмыстардың теориялық тийкарлары менен орынланыу тәртіптері баянланған. Қолланбада келтірілген лабораториялық жұмыстар үйрениліп атырған физикалық құбылыстардың мәнісін терең үйрениуге жәрдем береді.

Оқыу қолланбасы университеттің физика қәнигелигі студенттері менен бир қатарда молекулалық физика пәнін үйрениуші барлық қәнигеликлердің студенттері үшін да пайдалы қолланба бола алады.

Оқыу қолланбасы Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик университетінің илимий кеңесінің 2011-жылдың 2-ноябрь күнги мәжілісінде мақулланды ҳәм баспаға усынылды. Протокол саны 4/4.

Пиқир билдириушілер:

1. Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик университетінің электроэнергетика кафедрасының баслығы А.Камалов.
2. Әжинияз атындағы Нөкіс мәмлекетлик педагогикалық институтының кәсіплик тәлім кафедрасының доценти Б.Ибрагимов.

МАЗМУНЫ

Кирисіу	3
Физикалық экспериментлердің нәтижелерін қайтадан іслеу.	5
Физика практикумында студентлердің оқыу шынығыулары.	14
Студентлер үшін есептер.	15
Молекулалық физика бойынша лабораториялық жұмыстарды рәсімийлестіріу бойынша көрсетпелер	16
1-санлы лабораториялық жұмыс. Басымның жыллылық коэффициентін газли термометр жәрдемінде анықлау.	20
2-санлы лабораториялық жұмыс. Денелердің жыллылық кеңейіуі.	24
3-санлы лабораториялық жұмыс. Қатты денелердің сызықтық хәм көлемге кеңейіу коэффициенттерін анықлау.	30
4-санлы лабораториялық жұмыс. Сұйықтықтың бет керіу коэффициентін тамшының үзіліу усылы бойынша анықлау.	35
5-санлы лабораториялық жұмыс. Сұйықтықтың бет керіу коэффициентін сақыйнаның сұйықтық бетінен үзіліу усылы жәрдемінде анықлау.	38

6-санлы лабораториялық жұмыс. Сұйықтықтың ишки сүйкеліс коэффициентін Стокс ұсылы менен анықтау.	41
7-санлы лабораториялық жұмыс. Электрокалориметр жәрдеминде сұйықтықтың салыстырмалы жыллылық сыйымлығын анықтау.	46
8-санлы лабораториялық жұмыс. Ғауа молекуласының еркін жолының орташа ұзындығын хәм оның эффектив диаметрін анықтау.	50
9-санлы лабораториялық жұмыс. Ғауаның динамикалық жабысқақтық коэффициентін анықтау.	56
10-санлы лабораториялық жұмыс. Ғауаның салыстырмалы жыллылық сыйымлықтарының қатнасын анықтау.	60
11-санлы лабораториялық жұмыс. Суудың пуұланыуының жасырын жыллылығын анықтау.	64
12-санлы лабораториялық жұмыс. Газлердің салыстырмалы жыллылық сыйымлықтарының қатнасын турғын сес толқыны ұсылы жәрдеминде анықтау.	67
13-санлы лабораториялық жұмыс. Муздың ериу жыллылығын анықтау.	71
14-санлы лабораториялық жұмыс. Металлардың жыллылық сыйымлығын салқынлатыу ұсылы менен табыу.	74
15-санлы лабораториялық жұмыс. Сұйықтықтың бет керіу коэффициентін оның капилляр түтікшеде көтерілиу бийиклиги бойынша табыу.	78
16-санлы лабораториялық жұмыс. Бет керіу коэффициентін горизонтал капилляр жәрдеминде анықтау.	83
17-санлы лабораториялық жұмыс. Ғауаның ығаллығын өлшеу.	85
Кестелер.	92

Кирису

Физика эксперименталлық илим болып табылады. Сонлықтан оны үйрениуде эксперимент тийкарғы орынды ийелейди. Физикалық ыызамлар әдетте тәжірийбелер өткеріулердің нәтижесінде ашылады хәм бул ыызамларды пайдаланыудың шеклери сол тәжірийбелердің өзінде анықланады. Студентлер физика лабораториясында тийкарғы физикалық қубылыстарды өз көзлери менен көреді, тереңирек үйренеди хәм оларды талқылау мәселелери менен танысады.

Улыума физика курсынан лабораториялық жұмыс өткізиуде төмендеги жағдайларға дыққат аудару керек:

1). Студентлердің тийкарғы физикалық ыызамлар менен қубылыстарды терең өзлестириуине;

2). Тәжірийбе ұсылын дурыс таңлау, физикалық шамалар мәніслерін өлшеу хәм өлшеу барысында алынған шамаларды сәйкес формуалар жәрдеминде тексеріп көріуді үйрениуине;

3). Әсбап-үскенелер хәм физикалық өлшеу нәтижелерін талқылап, математикалық жоллар менен алынған санлы нәтижелерді қайта іслеп шығу ұсылларын үйрениуине.

Хәр бир лабораториялық жумысты орынлаў ушын керекли эсбаплардың хәм үскенелердің атамаларын, жумыстың орынланыў тәртибин хәм студент өзиниң таярлығын, билим дәрежесин тексерип көриў ушын сораўлар келтирилген.

Оқыў қолланбасында молекулалық физика бөлимине тийисли 17 лабораториялық жумыс киргизилген. Жумысларды орынлаў ушын жумыстың теориясы, орынланыў тәртиби, есап бериўге керекли болған кестелерди толтырыў жоллары, жумыстың мәнисин түсиниў ушын зәрүрли болған сүүретлер, схемалар, кестелер келтирилген. Олардың барлығы да молекулалық физикаға тийисли қубылысларды терең үйрениўге жәрдем береди.

Өлшеўге тийисли болған улыўмалық түсиниклер

Физикадан өткизилетуғын әмелий шынығыўлар физиканы енди үйрениўши студентлер менен оқыўшылар ушын еки мақсетти нәзерде тутады: бириншиден студентлерге эсбап-үскенелер менен танысыўға хәм физика илиминдеги дәл өлшеўлердің тийкарғы усылларын үйрениўге имканият туўдырып бериў; екиншиден тәбияттың базы бир қубылыслары хәм нызамлары менен анығырақ танысыў мүмкиншилигин бериў. Себеби бул қубылыслар хәм нызамларды толығырақ және тереңирек түсиниў ушын лекциялар менен лекциялардағы демонстрациялық экспериментлердің өзлери әдетте жетерли емес деп есапланады. Бундай экспериментлерде өлшеўлер өткизилетуғын болса да, олардың тийкарғы мақсети шамаларды өлшеў емес, ал сол қубылыслардың ямаса нызамлықлардың өзін үйрениў болып табылады.

Қәлеген шаманы өлшеў – өлшеў бирлиги сыпатында қабыл етилген хәм бул шама менен өлшем бирлиги бирдей болған эталон деп аталатуғын шаманың өлшенип атырған шамадан неше есе үлкен-кишилигин анықлаў дегенди аңлатады. Тек айырым жағдайларда ғана физикалық шаманы дәл өлшеўге болады. Мысалы узынлықты дәллиги жоқары болған узынлық өлшегиш, ал массаны дәллиги жоқары болған аналитикалық тәрезилерде өлшеп жоқары дәлликтеги мәнислерди алыў мүмкин.

Көпшилик жағдайларда экспериментте өлшениўи керек болған физикалық шама емес, ал усы шама менен белгили бир қатнаста болған басқа шамалар өлшенеди. Сол қатнаслар жәрдемінде өлшениўи керек болған шаманың мәниси бақланып атырған қубылыслардың нызамлары тийкарында есаплап шығарылады.

Солай етип физикалық шаманы өлшеў ушын бир қатар жағдайларда физикалық нызамларды, бул нызамлардың математикалық формулировкаларын (формуларды) билиў керек болады. Ең әпиўайы мысал ретинде тезликти, тезлениўди ямаса күшти анықлаўды келтириў мүмкин. Молекулалық физикада болса бундай шамалар қатарына жыллылық сыйымлығын, жыллылық кеңейиў коэффициентин, бер керими коэффициентин, термодинамикалық потенциалларды көрсетиўге болады. Усындай жоллар менен өлшенетуғын физикалық шамаларды өлшеў тәртибине бул қолланбада үлкен дыққат аўдарылған.

Физикалық өлшеулерде көпшилик жағдайларда төмендегідей үш тийкарғы операцияны избе-из орынлау талап етиледі:

1. Әсбапты ямаса үскенени орнату;
2. Физикалық шаманы өлшеу;
3. Алынған нәтижелер тийкарында есаплау операцияларын орынлау.

Физикалық экспериментлердің нәтижелерін қайтадан ислеу

Жоқарыда атап өтилгеніндей, қандай да бир физикалық шаманы өлшегенде биз хеш қашан бул шаманың дәл мәнісін ала алмаймыз. Сонлықтан алынған нәтиженің хақықый дәл мәніске жақын екенлігін көрсету зәрүрлігі пайда болады. Биз буны өлшеудің дәллігін көрсету менен әмелге асырамыз.

Биринши гезекте өлшеу барысында жиберилген қәтеликтің шамасын бақалау керек болады. Себеби қәтеликті бақалай алмай турып эксперименттің нәтижелерін пайладаныуға болмайды. Мысалы биз темир стерженнің узынлығының температураға ғәрезлігін өлшейтуғын болсақ, онда төмендегідей мәніслерді алу мүмкін:

20°C температурада 15,12 см

50°C температурада 15,18 см.

Бундай эксперименттен қандай жуумақларды шығаруға болады? Стерженнің узынлығы температурадан ғәрезлі ме? Эксперимент өткеруіде жиберилетуғын қәтеликтің мәнісін билмей турып бул сорауға жуап беруіге болмайды. Егер өлшеуде жиберилетуғын қәтеликтің мәнісі 0,05 см болса температураның жоқарылауы менен стерженнің узынлығы артады деп жуумақ шығарамыз. Егер қәтелик 0,1 см болса стерженнің узынлықлары арасындағы айырманы жүдә киши шама деп есаплаймыз. Бундай жағдайда өлшенген шаманың муғдары эксперименттің қәтелигі шеклери менен сәйкес келеді деп есаплаймыз. Демек бундай жағдайда орынланған эксперимент қойылған мәселени шеше алмады деген жуумақ шығарамыз.

Және бир жағдайды еске алып өтеміз. Көпшилик жағдайда экспериментти буннан да дәл етип өткеруіге болады деген пикир орын алады. Бул хақықатлыққа сәйкес келмейді. Адамлардың мүмкіншиликлери де, эксперименталлық аппаратураның мүмкіншиликлери де шекленген. Алдыға қойылған мақсетке жетуіге эксперименттің дәллігі сәйкес келиуі керек.

Солай етип қәтелик түсиниги экспериментатор ушын жүдә әхмийетли болған түсиник болып табылады.

Өлшеулер хәм олардың қәтеликлери

Өлшеулер туурыдан-тууры өлшеулер хәм жанапай өлшеулер болып екиге бөлинеді.

Туурыдан-тууры өлшеулер әсбаплардың жәрдемінде әмелге асырылады.

Бул әсбаптар өлшенетуғын шаманы тиккелей өлшейди. Мысалы узынлықты сызғыштың, температураны термометрдің, ал ўақытты секундомердің жәрдемінде өлшеў мүмкин.

Жанапай өлшеўлерде шама тиккелей өлшенбейди. Тиккелей өлшеўлердің нәтийжесінде алынатуғын шамалар формулаларға қойылып есаплаўлар жүргизиў жолы менен изленип атырған шаманың мәниси анықланады. Мысал ретінде денениң сызықлы өлшемлери бойынша көлемди анықлаўды, денениң массасы менен көлемин өлшеп тығызлығын табыўды, бет керими коэффициентиниң мәнисин анықлаўды келтириўге болады.

Өлшеўлер әдетте дәллиги менен бир биринен айрылады. Өлшеўдің дәллиги жиберилетуғын қәтелик пенен тәрийипленеди.

Қәтелик абсолют қәтелик (Δx) ҳәм салыстырмалы қәтелик (E) болып екиге бөлинеди. Абсолют қәтелик деп өлшенип атырған шаманың ҳақыйқый мәниси x_h менен өлшеўде алынған мәниси x арасындағы айырмаға тең, яғный:

$$\Delta x = x - x_h. \quad (1)$$

Биз шаманың ҳақыйқый мәниси ҳаққында гәп еткенимизде сол шаманың дәл мәнисин нәзерде тутамыз.

Абсолют қәтеликтің өлшем бирлиги өлшенип атырған шаманың өлшем бирлигиндей болады. Мысалы узынлықты өлшеўде жиберилетуғын абсолют қәтеликтің бирлиги метрлер (сантиметрлер), ал температураны анықлаўда жиберилетуғын абсолют қәтеликтің бирлиги градус болып табылады. (1)-формулада көринип турғанындай Δx тың мәниси оң да, терис те болыўы мүмкин.

Өлшеўлердің салыстырмалы қәтелиги E деп абсолют қәтеликтің өлшенетуғын шаманың ҳақыйқый мәнисине (x_h) қатнасына айтамыз. Сонлықтан E ниң мәниси процентлерде былайынша есапланады:

$$E = \frac{\Delta x}{x_h} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Өлшеўлердің сапасы абсолют қәтелик бойынша емес, ал салыстырмалы қәтелик бойынша анықланады. Егер өжирениң узынлығы 5 м ге тең болса 1 мм ге тең абсолют қәтелик ҳеш қандай әҳмийетке ийе емес. Бирақ узынлығы шама менен 200 мм болған қағаздың геометриялық өлшемлерин анықлағанда 11 миллиметрлик қәтелик сезилерликтей әҳмийетке ийе болады, ал болттың диаметрин анықлағанда (әдетте болттың диаметри шама менен 5 мм диң этирапында болады) 1 мм ге тең қәтеликти жибериўге пүткиллей болмайды. Биринши жағдайда салыстырмалы қәтелик $\sim 2 \cdot 10^{-2} \%$ шамасына, екінши жағдайда $\sim 0,5 \%$, ал үшінши жағдайда шама менен жигирма процентке тең.

(1)- ҳәм (2)-аңлатпаларда өлшенетуғын шаманың ҳақыйқый мәниси x_h қатнасады. Бирақ ҳақыйқый мәнис белгили болса өлшеўдің кереги бола ма? деген сораў бериледи. Өлшегенде белгисиз болған физикалық шаманың еле белгисиз болған мәнисин анықлаў мақсетінде сол шаманың ҳақыйқый мәнисин емес, ал усы ҳақыйқый мәниске мүмкин болғынынша жақын мәнислерди анықлаўға бағдарланған жумыслар исленеди. Ал қәтеликлерге

келсек, қәтеликлер есаплаулар жолы менен табылмайды, ал олардың мәниси бақаланады. Усындай мақсетлерде итималлықлар теориясы менен математикалық статистиканың усыллары қолланылады. Бундай жағдайларда экспериментти өткеріуде орын алған жағдайлар, усылдың дәллігі, өлшеу әсбапларының жетіскенлігі менен дәллігі, басқа да бір қатар факторлар есапқа алынады.

Системалы түрде хәм тосыннан жиберилетуғын қәтеликлер

Қәтеликлердің қандай жоллар менен жиберилетуғынлығына байланысly оларды системалық түрде хәм тосыннан жиберилетуғын қәтеликлер деп екиге бөледі.

Системалық түрде жиберилетуғын қәтеликлердің мәниси де, белгиси де бир шаманы өлшеулердің барысында сақланады. Бундай қәтеликлердің жиберилиуі әсбаплардың қәтеликлери (дурыс емес белгиленген шкала, бир текли емес созылатуғын пружина, микрометрдің бир текли емес адымы, тәрезидеги ийинлердің узынлықларының бирдей болмауы хәм басқалар) хәм тәжирийбени өткізиуде жиберилетуғын қәтеликлер менен байланысly болады. Мысалы калориметрге суйықлық қуйылғанда калориметрдің өзи де қызады хәм буның ушын жыллылық энергиясы жумсалады. Өткізгіштің электр қарсылығын өлшегенде тутастырыушы сымлардың, өлшеу әсбапларының қарсылықтарының бар екенлігине байланысly қәтеликлер системалы түрде жибериледи.

Системалы түрде жиберилетуғын қәтеликлерди табыу қыйын хәм сонлықтан бундай қәтеликлер экспериментатор ушын қәуип пайда етеди. Бундай түрдеги қәтелик жиберіуден қутылуы ушын алдын-ала өлшеудің методикасының майда-шүйдесине шекем ойлап алыу керек. Системалы түрде жиберилетуғын қәтеликлерден қутылуыдың ең исенимли жолы еле белгисиз болған шаманы принципиаллық жақтан пүткіллей хәр қыйлы болған усылларды пайдаланып өлшеу болып табылады. Егер системалық қәтеликлер анықланған болса, онда өлшеулер нәтижелерине дүзетіулер киргизип шаманың дәл мәнисин анықлау мүмкин.

Тосыннан жиберилетуғын қәтеликлер бир өлшеуден екінши өлшеуге өткенде шамасын да, белгисин де өзгертеди. Тәжирийбелер бир шараятта өткерілгенде де алынған нәтижелердің хәр қыйлы мәниске ийе болатуғынлығы орын алады. Бундай хәр қыйлылықтың нелердің салдарынан пайда болатуғынлығын билиу қыйын болады. Себеби бундай хәр қыйлы мәнислердің алынуы көп факторлар менен байланысly.

Әдетте төмендеги себеплерге байланысly қәтеликлер тосыннан жибериледи: тәжирийбе өткерип атырған адамның өзи қәтелесип журналына бир санның орнына екінши санды жазады, өлшеу әсбабының стрелкасының қандай аұхалда турғанлығын анықлау ушын стрелканың дәл үстинен қарау керек, ал тәжирийбе өткеріуши болса сәл қыялық пенен қарайды. Өлшеу әсбабының стрелкасы сүйкелистің салдарынан дурыс орында тоқтамауы, ал сол орынға жақын орында тоқтап қалуы, қалалық шараятларда барлық уақытлары орын алатуғын вибрациялардың себебинен, өлшеу әсбапларының ескеріуінің нәтижесінде, басқа да себеплерге байланысly пайда болады.

Тосыннан жиберилетуғын қәтеликлерди минимумға алып келиў қылыў ушын өлшеўлер санын арттырыў керек болады.

Системалы түрде жиберилетуғын қәтеликлердин мәнисин баҳалаў

Физикалық практикумда системалы жиберилетуғын қәтеликлерди есапқа алыў әсбаплардың жиберетуғын қәтелигин есапқа алыў менен шекленеди. Өлшеў ушын пайдаланылатуғын дүзилислердин түрлерине байланыслы әсбап жиберетуғын қәтеликтиң шамасын баҳалаў ушын төменде келтирилген усыллардың бири пайдаланылады:

1. Жиберилетуғын қәтелик әсбаптың өзінде көрсетиледи. Мысалы микрометрде «0,01 мм» деген жазыў бар. Егер усы микрометрдин жәрдемінде шариктиң диаметри өлшенетуғын болса, онда бундай жағдайда өлшеўде системалы жиберилетуғын қәтеликтиң мәниси $\Delta D = 0,01$ мм ге тең болады.

2. Әсбапта дәлликтиң классы көрсетиледи. Дәлликтиң классы (К) деп процентлерде аңлатылған абсолют қәтеликтиң өлшеў шкаласының шегине катнасына айтады:

$$K = \frac{\Delta x}{x_{\max}} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Бул аңлатпада x_{\max} арқалы усы берилген әсбаптың жәрдемінде өлшенетуғын шаманың максималлық мәниси белгиленген.

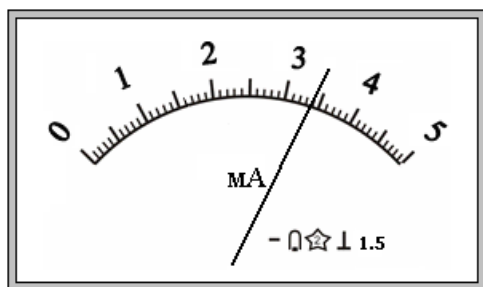
Әсбапта дәллик классы белгиленгенде процент белгиси қойылмайды. Мысалы электр өлшеўши әсбаплардың (вольтметрлер менен амперметрлер) дәллигиниң 8 классы бар: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

(3)-формулаға сәйкес абсолют әсбаплық қәтелик

$$\Delta x = K \cdot \frac{x_{\max}}{100} \quad (4)$$

формуласының жәрдемінде есапланады. Мысалы 1,5 дәлликтеги классқа кириўши өлшеў шегі 5 ма болған миллиамперметр (1-сүўрет) шкаласының қәлеген орнында $\Delta I = 1,5 \cdot (5/100) = 0,075$ ма абсолют қәтеликке ийе болады.

Стрелкалы электр өлшеўши әсбаплардың дәллик классы шамасы шкала бойынша өзгермейтуғын максималлық абсолют қәтеликти анықлайды. Бирақ салыстырмалы қәтелик кескин түрде өзгереді. Сонлықтан әсбаплар стрелка барлық шкалаға аўысқанда ғана ең жоқары дәлликке ийе болады. Бул жағдайдан биз мынадай усыныс жасаймыз: өлшеў процессинде стрелкасы шкаланың екінши ярымында туратуғын әсбапты сайлап алыў керек.



1-сүрөт.

1,5 дәлликтеги классқа кириүши өлшеу шеги 5 ма болған миллиамперметр шкаласының қалеген орнында $\Delta I = 1,5 \cdot (5/100) = 0,075$ ма абсолют қәтеликке ийе болады.

Цифрлы электр өлшегиш әсбаплардың системалы жиберетуғын қәтелиги болса сол әсбапларды эксплуатациялау бойынша берилетуғын инструкцияларда келтирилген формулалар бойынша есапланады.

3. Егер әсбап дискрет түрде ислейтуғын әсбап болса, онда абсолют әсбаплық қәтелик шкаланың бөлиминиң баҳасы C шамасына тең болады:

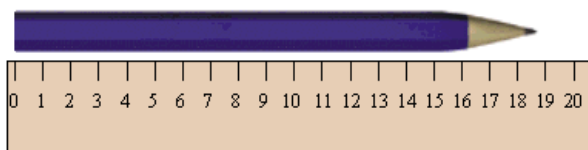
$$\Delta x = C = x_{\max}/N.$$

Бул аңлатпада x_{\max} арқалы әсбаптың өлшеу шеги, ал N арқалы шкаланың бөлимлериниң саны белгиленген. Мысалы бөлиминиң баҳасы 0,2 сек болған секундомердің жәрдемінде t уақыт өлшенгенде қәтелик $\Delta t = 0,2$ сек шамасына тең болады.

4. Егер өлшенетуғын шаманың мәнисиниң көрсеткиши шкаладағы қалеген орынды ийелейтуғын болса (сызғышлар, рулеткалар, стрелкалық тәрезилер, термометрлер хәм тағы басқалар), онда абсолют қәтелик бөлимниң баҳасының ярымына тең:

$$\Delta x = C/2.$$

Мысалы 2-сүрөтте келтирилген қәлемниң узынлығын 18,5 см деп те ямаса 19,0 см деп те жазуу мүмкин. Бул еки жағдайда да жиберилген қәтелик бөлектиң баҳасының ярымынан үлкен емес.



2-сүрөт.

Қәлемниң узынлығын 18,5 см деп те ямаса 19,0 см деп те жазуу мүмкин. Бул еки жағдайда да жиберилген қәтелик бөлектиң баҳасының ярымынан үлкен емес.

Тосыннан жиберилетуғын қәтеликти баҳалау

Тосыннан жиберилетуғын (кететуғын) қәтеликти жоқ етиу мүмкин емес. Бирақ бундай қәтеликлер итималлықлар нызамлықларына бағынады. Сонлықтан ишинде өлшенип атырған шаманың ҳақыйқый мәниси жататуғын шеклерди барлық уақытта көрсетиу мүмкин.

Тосыннан жиберилетуғын қәтеликлерди анықлау мәселеси эксперимент пенен жақсы сәйкес келетуғын теорияның дәретилийи менен шешилди. Бул

теорияның тийкарында нормал (Гаусс) тарқалыуы функциясы турады. Бул теорияның тийкаргы жағдайлары төмендегилерден ибарат:

1. Өлшеулер көп рет қайталанса бирдей үлкенликтеги, бірақ белгилери қарама-қарсы болған қәтеликлердің саны бирдей болады.

2. Қәтеликтің шамасының үлкейіуі менен қәтеликлердің пайда болыу жийилиги кемейеди. Басқа сөз бенен айтқанда үлкен қәтеликлер киши қәтеликлерге салыстырғанда сийрек ушырасады.

3. Өлшеулердің қәтеликлери нормал тарқалыуға бағынатуғын мәнислердің үзликсиз қатарын қабыл ете алады.

Өлшенетуғын шаманың ең жақсы мәниси. Тосыннан жиберилетуғын қәтеликлердің мәнислериниң хәр қыйлылығына итималлық түсинигин қолланамыз.

Мейли n рет өткерилген өлшеулердің барысында x шамасының x_1, x_2, \dots, x_n мәнислери алынған болсын. Егер x_h арқалы өлшенип атырған шаманың ҳақыйқый мәниси белгиленген болса (өлшенип атырған шаманың ҳақыйқый мәниси бизге белгили деп есаплаймыз), онда хәр бир өлшеудің абсолют қәтеликлери төмендегидей формулалар менен бериледи:

$$x_1 - x_h = \Delta x_1,$$

$$x_2 - x_h = \Delta x_2,$$

...

$$x_n - x_h = \Delta x_n,$$

Бул теңликлерди ағзама-ағза қосыу арқалы аламыз:

$$x_h = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta x_i \right). \quad (5)$$

Бул формуладағы Δx шамаларының белгиси оң да, терис те болады. Нормал тарқалыу нызамы бойынша абсолют шамасы бойынша бирдей, бірақ белгиси бойынша қарама-қарсы қәтеликлердің итималлықлары бирдей болады. Демек өлшеулер саны n қаншама үлкен болса қәтеликлердің орташа мәнислерин есаплағанда олардың бир бирин толық компенсациялауының итималлығы үлкен болады. Сонлықтан

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0. \quad (6)$$

Бундай жағдайда (5)-аңлатпа (6)-аңлатпаны есапқа алғанда төмендегидей түрге енеди

$$x_h = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \approx \langle x \rangle.$$

Демек өлшеулер саны n жүдә көп болғанда айырым өлшеулердің орташа арифметикалық мәнісі $\langle x \rangle$ шама менен өлшенетуғын шаманың хақықый мәнісі болған x_h шамасына тең болады.

Жоқарыда айтылғанлар тийкарында өлшеніп атырған шаманың ең жақсы мәнісі сыпатында барлық алынған нәтижелердің орташа арифметикалық мәнісі қабыл етиледі:

$$x_h \approx \langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}. \quad (7)$$

Алынған нәтиженің исенимлигин бақалау үшін айырым өлшеулерде алынған нәтижелердеги тосыннан жиберилетуғын қәтеликлердің тарқалыуын қарап шығыу керек. Бундай тарқалыу тарқалыудың нормал нызамына, яғный Гаусс тарқалыу нызамына сәйкес келеді.

Әмелде ҳәр бир өлшеуде жиберилетуғын қәтелик емес, ал орташа арифметикалық шамадағы қәтелик әҳмийетли орын ийелейді.

Өлшеулер нәтижесинің орташа арифметикалық шамасының қәтелигин бақалау. $\langle x \rangle$ шамасының x_h шамасынан айырмасы (аўысыуы) $\langle x \rangle$ нәтижесинің орташа квадратлық қәтелиги менен бақалау мүмкин. Математикалық статистикада σ нәтижесинің орташа квадратлық қәтелиги ҳәр бир өлшегендеги орын алатуғын орташа квадратлық қәтелик σ_h пенен төмендеги формула бойынша байланысатуғынлығын дәлиллейді:

$$\sigma = \frac{\sigma_a}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}. \quad (8)$$

Бул формулада $\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle$ арқалы i арқалы i -санлы тәжирийбеде жиберилген абсолют қәтелик белгиленген.

Бундай жағдайда өлшеудің нәтижесі

$$x = \langle x \rangle \pm \sigma x$$

түрінде жазылады.

Демек (8)-формулаға сүйенип өлшеулер санын арттырыу арқалы жүдә дәл нәтижелерди алыу мүмкин деп жуўмақ шығарыу мүмкиншилиги пайда болады. Бирақ бундай жуўмақ дурыс емес. Себеби өлшеулер саны артқанда тәжирийбелердің тосыннан кететуғын қәтеликлери киширейеди, ал әсбаплардың кемшиликлерине байланыслы болған системалық қәтеликлер өзгериссиз қалады. Солай етип өлшеулер санын тийкарсыз көбейте бериудің зәрүрлиги болмай шығады.

Егер өлшеулер саны (тәжирийбелер саны) үлкен болмаса (яғный 10 нан киши болса) құрамалы бақалауларды қолланыу керек болады. Бундай бақалаулар қатарына Стюденттің қәтеликлерди есаплау усылы киреди.

Исенимли интервал. Өлшеулер саны үлкен болмағанда ($n \leq 10$) орташа мәнісі хақықый мәністен үлкен айырмаға ийе болыуы мүмкин. $\langle x \rangle$ тың дәл

мәнісіннің өлшеніп атырған шаманы характерлей алатуғынлығын билиў ушын алынған нәтийжениң «исенимли интервалы» деп аталатуғын интервалды билиў керек болады (3-сүўрет). Исенимли интервалдың дәл ортасында (7)-формула бойынша есапланған орташа мәнис қабыл етиледі.



3-сүўрет.
Алынған нәтийжениң
«исенимли интервалы» деп
аталатуғын интервалдың
схемасы.

Исенимли интервал деп өлшеніп атырған шаманың ҳақыйқый мәниси белгили бир итималлық пенен киретуғын санлық интервалға айтады. Исенимли итималлық (исенимлик коэффициенті) α деп ҳақыйқый мәниси исенимли интервалдың ишинде жайласуының итималлығы болып табылады.

Исенимли интервалдың кеңлиги нәтийжениң орташа квадратлық қәтелигине туўры пропорционал:

$$\Delta_x = t_{n,\alpha} \cdot \sigma. \quad (9)$$

$t_{n,\alpha}$ пропорционаллық коэффициенті Стъудент коэффициенті деп аталады. Оның мәниси өткерилген тәжирийбелер саны n менен исенимли итималлық α ден ғәрезли. Демек исенимли итималлық α қаншама үлкен болса $t_{n,\alpha}$ коэффициентінің мәниси де соншама үлкен болады. Тәжирийбелер санының үлкейиўи менен орташа мәнистің шамасы ҳақыйқый мәнистің шамасына жақынлайды. Сонлықтан α шамасының берилген мәниси ушын исенимли итималлықты киши етип алыўға болады. Солай етип тәжирийбелер саны n ди арттырыў менен Стъудент коэффициентінің мәнисин киширейиўи керек.

Төмендеги кестеде Стъудент коэффициентінің мәнислери келтирилген.

Стъудент коэффициентінің мәнислери

$t_{n,\alpha} \backslash n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,80	3,08	1,89	1,64	1,53	1,48	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37	1,36	1,36	1,35	1,35
0,90	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,89	1,86	1,83	1,81	1,80	1,78	1,77	1,76
0,95	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,23	2,20	2,18	2,16	2,14
0,99	63,7	9,92	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17	3,11	3,06	3,01	2,98

Кестеге итибар берип қарағанда тәжирийбени 10-15 рет қайталаўдың мақсетке муўапық емес екенлигин көрсетеди. Өлшеўлер ушын жумсалған шығынның мәниси үлкейеди, ал исенимли интервалдың кеңлиги дерлик өзгермей қалады.

Өлшеудің жуымағы исенимлі итималлық α ның мәнісін көрсетіу менен жуымақланады хәм $\alpha =$ мынадай шамаға тең болғанда $x = \langle x \rangle \pm \Delta_x$ деп жазылады.

Исенимлі итималлықтың мәнісинің өлшеулердің нәтижелігі менен байланысының жоқ екенлігіне итибар беріу керек. α ның мәнісін исенимлік пенен қәуіпсізлікті есапқа алыу менен алдын-ала бериледи. Көпшилік техникалық эксперименттерде хәм физикалық практикумларда α ушын 0,95 ке тең мәнісі қабыл етиледі.

Жанапай (қосымша) өлшеулерде жиберилетуғын қәтеликлерди бақалау

Көпшилік физикалық эксперименттерде изленип атырған физикалық шама u физикалық әсбаптың жәрдемінде тиккелей өлшенбейди, ал әсбаптың жәрдемінде тиккелей өлшенетуғын хәм сол u шамасы менен базы бир формулалардың жәрдемінде байланысқан шама өлшенеди. Бул шамаларды x, y, z, \dots арқалы белгилейик. Есаплаулар белгили бир формуланың жәрдемінде жүргизиледи. Бул формуланы улыума түрде былайынша жазамыз

$$u = f(x, y, z, \dots). \quad (10)$$

Жанапай өлшеулердегі абсолют қәтеликтің мәнісі Δu тууырдан-тууы жүргизилген өлшеулердің қәтеликлери $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$ шамаларынан хәм (10)-функцияның түринен ғәрезли болады. Δu шамасының мәнісін

$$\Delta u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \cdot (\Delta z)^2 + \dots} \quad (11)$$

түріндегі формуланың жәрдемінде анықлау мүмкин. Бул аңлатпада $\partial f / \partial x$ арқалы f функциясынан x бойынша алынған дара тууынды белгиленген.

Әмелде (10)-функция дәрежели функция түрине ийе болады:

$$u(x, y, z, \dots) = C \cdot x^k \cdot y^m \cdot z^n \cdot \dots$$

Бул формулада C арқалы турақлы коэффициент белгиленген. Дәреже көрсеткішлер k, m, n, \dots шамалары болса оң, терис, пүтин ямаса бөлшек хәқыйқый шамалар болып табылады. Бул жағдайда қәтелик Δu

$$\Delta u = \langle u \rangle \sqrt{(k \cdot E_x)^2 + (m \cdot E_y)^2 + (n \cdot E_z)^2 + \dots} \quad (12)$$

формуласының жәрдемінде есапланады. Бул аңлатпада $\langle u \rangle$ арқалы u шамасының орташа мәнісі белигленген, ал $E_x = \Delta x / \langle x \rangle, E_y = \Delta y / \langle y \rangle, E_z = \Delta z / \langle z \rangle$ арқалы x, y, z шамаларын тууырдан-тууы өлшегендегі салыстырмалы әсбаплық қәтеликлер белгиленген.

(12)-формуланың жәрдеминде жүргизилген есаплауларда төмендеги жағдайларды умытпау керек:

1. Өлшенетуғын шамалар менен олардың абсолют қәтеликлери бирдей бирліктерде өлшенеди (мысалы x хәм Δx шамалары).

2. Есаплаулар жоқары дәллікті талап етпейді хәм баға бериу характерине ийе болыуы керек.

Толық қәтелик. Өлшеулердің нәтийжелерин жазыу

Әдетте тәжірийбелерде системалы түрде жиберилетуғын қәтеликлер де, тосыннан кететуғын қәтеликлер де ушырасады. Мейли олар Δx_{sist} хәм Δx_{tos} қәтеликлери менен характерленетуғын болсын (сәйкес формулалар жоқарыда келтирилген). Толық абсолют қәтелик

$$\Delta = \sqrt{(\Delta x)_{\text{sist}}^2 + (\Delta x)_{\text{tos}}^2}$$

формуласының жәрдеминде анықланады. Бул формулада тосыннан жиберилетуғын қәтеликлер де, системалы түрде жиберилетуғын қәтеликлер де орын алғанда абсолют толық қәтеликтің шамасының үлкейетуғынлығы көринип тур. Егер қәтеликлердің биреуи екиншисинен үш еседен де үлкен болса, онда толық қәтелик Δ ушын үлкен қәтеликтің мәниси қабыл етиледі (демек, егер $\Delta x_{\text{tos}} > 3(\Delta x_{\text{sist}})$ болған жағдайда $\Delta = \Delta x_{\text{tos}}$ мәнисин аламыз).

Өлшеулердің нәтийжелеринің ең кейинги жазылуы төмендегидей элементлерді шәртлі түрде қабыл етиуи керек:

1. Исенимли итималлықтың мәнисин көрсетиу менен исенимли интервал $\alpha = \dots$ болғанда $x = \langle x \rangle \pm \Delta$ түрінде жазылады.

Жоқарыда ескертип өткенимиздей, $\langle x \rangle$ хәм Δ шамаларының бирліклери бирдей болады. Бул бирліклер қаўсырма белгисинің ишинде жазылады.

2. Толық салыстырмалы қәтеликтің мәниси. Бул мәнис процентлерде бериледи:

$$E = \frac{\Delta}{\langle x \rangle} \cdot 100 \, \%.$$

Физика практикумында студентлердің оқыу шынығыулары

1. Студент физика практикумының келеси жұмысын орынлау ҳаққындағы оны ислеуден кеминде бир хәпте алдын оқытыушыдан тапсырма алады. Жұмыстың дүзилисинде көрсетилген әдебияттан пайдаланып студент жоқарыда баян етилген көрсетпелерге муўапық түрде белгиленген жұмысқа таярлық көреді.

2. Физика практикумының хәр бир шынығыуында студенттің практика дәптери хәм лаборатория дәптери болыуы лазым; лаборатория дәптерине алдыңғы шынығыулардағы хәм ислеп атырған шынығыулар жазып қойылуы керек.

3. Оқытыушы хәр бир жумыс басланбастан алдын студенттиң жумысқа таяр екенлиги Изертленилип; егер студент жумысты орынлаўға таярланған болса, онда оған эксперименталлық жумысты орынлаўға руқсат бериледи. Оқытыушы студентке эксперименталлық жумысты орынлаўға руқсат бергенлигин лаборатория журналына белгилеп қойылады.

4. Студент жумыс үстінде ислеп атырған ўақытта оқытыушы студенттиң эксперименталлық жумысына, өлшеўлерине, олардың нәтийжелерин жазыўына басшылық етеди хәм студенттиң лаборатория дәптерине жазылған нәтийжелерге қол қояды. Студенттиң эксперименталлық жумысы тамамланғанын оқытыушы студенттиң практика дәптерине хәм лаборатория журналына жазып қойылады.

5. Студент эксперименттен алған нәтийжелерин ислеп шығып сол ўақытта оқытыушыға тапсырады. Студенттиң жумысты орынланғанлығын оқытыушы студенттиң практикум дәптерине хәм лаборатория журналына жазып қояды.

6. Базы бир себеп пенен оқытыушыға еки жумыс тапсырмаған студентлер орынланған жумысларын толық тапсырмағанша практикумның кейинги сабақларына киритилмейди.

7. Физика факультетиниң студенти бир оқыў семестри даўамында практикумның кеминде 10 жумысын орынлаўы шәрт. Буннан соң студент практикумдағы ислеген жумыслары бойынша сораў-жуўап өткерилип жуўабына қарап баҳаланады.

Студентлер ушын еслетпелер

1. Лабораторияда ислеў ушын төменде өзиң менен бирге төменде атлары аталған оқыў қуралларына ийе болыўың шәрт:

а). Үлкен форматтағы көп бетлик дәптер (бетлердиң саны 80-96). Бул дәптерди лабораториялық журнал деп атаймыз.

б). Физикалық практикум (китап).

в). Есаплаў әсбабы (калькулятор).

д). Миллиметрли қағаз (өлшемлери 19x28 см болған бир неше бет).

е). Ручкалар (олардың хәр қыйлы реңлерге ийе болғаны мақсетке муўапық).

ж). ТМ ямаса М марқалы қәлем хәм өширгеш.

з). Сызғыш.

2. Төмендеги жағдай анықланса студент лабораториялық жумысларды орынлаўға жиберилмейди:

а) бурын орынланған жумыс қойылған талаптар тийкарында рәсимийлестирилмеген болса (рәсимийлестириў жуўмақты жазыў менен жуўмақланады, ал жуўмақ болса өз ишине нәтийжелерди, өлшеўдиң дәллигин хәм графиклерди алады);

б) бирден артық тапсырылмаған жумыс бар болса;

в) лабораториялық журналда зәрүрли болған жазыўлар болмаса (жумыстың аты хәм қатар саны, зәрүрли болған формулалар, тәжирийбе өткерийде қолланылатуғын әсбап-үскенениң схемасы, экспериментте алынған нәтийжелерди жазыў ушын арналған кестелер);

с) студент оқытыушының берген сорауларына қанаатландырырлықтай жууап бере алмаса (лабораториялық жумысларды орынлауға таярланғанда студент физикалық практикумның қадағалау ушын берилетуғын сорауларына жууап бериуи керек).

3. Студент өлшеу ушын арналған әсбап-үскенелерди тек оқытыушының рухсаты менен ғана иске қоса алады. Жумысты орынлаудың алдында әсбаплардың характеристикаларын жазып алыу хәм өлшеулердин избе-излигин ойлап алыу керек. Әйтеуирден-әйтеуир хеш бир зәрүрликсиз әсбаплардың ручкаларын бурауға болмайды. Себеби әсбаплардың барлығы да жумыс ислеу ушын алдын-ала таярланған болады.

4. Лабораторияда қәуипсизлик техникасы қағыйдаларын қатаң түрде сақлау талап етиледі.

Молекулалық физика бойынша лабораториялық жумысларды рәсимийлестириу бойынша көрсетпелер

Лабораториялық журнал ушын 11 форматтағы (бетиниң майданы 21x29 см), бетлериниң саны 80-90 беттен кем болмаған дәптер алынады. Пружинасы бар дәптерлерди пайдаланыу усыныс етилмейди.

Лабораториялық журнал ушын қойылған дәптердин бетлерин жыртып алыу менен қосымша бетлерди желимлеп жабыстыруу қадаған етиледі.

Лабораториялық журналдағы нәтийжелердин үстине қағаз жабыстыруу ямаса ойып өшириу қадаған етиледі. Дурыс емес нәтийжелерди үстинен бир сызық сызыу арқалы белгилеу керек. Дурыс нәтийжелер усы нәтийжелер менен қатар жазылады. Егер нәтийжелердин барлығы да қәте болып шықса кестелер қайтадан сызылады хәм оларға жаңа нәтийжелер жазылады. Дурыс емес кестениң қасына «дурыс емес» деп жазып қойыу керек.

Журналдың биринши бетине төмендегидей жазыулар жазылады:

_____ факультетиниң _____ курсының _____ топары студенти (студенттиң аты, әкесиниң аты хәм фамилиясы толық жазылады) лабораториялық журналы.

Дәптердин оң тәрәпи лабораториялық жумыстың таза жазыулары (чистовик) ушын арналған. Ал дәптердин оң тәрәпине есаплауларды жүргизиу ушын (черновик) қалдырылады. Есаплаулардың барлығы да буннан кейин сол есаплаулар нәтийжелерин тексерип көриу мүмкин болғандай етип пұқта жазылады.

Хәр бир лабораториялық жумыс кирисиу хәм мағлыұматлар кестеси менен басланады. Кирисиу төмендегилерди өз ишине алады:

- a). Мәселениң қысқаша тарийхы;
 - b). Дүзилистиң схемасы ямаса сүүрети;
 - c). Қәтеликлерди есаплау ушын формулалар;
 - d). Болжанған теориялық ғәрезликлердин сүүретлери ямаса графиклери.
- Кирисиудин көлеми дәптердин 1-2 бетин алыуы шәрт.

Кестелерди дүзгенде хәм толтырғанда төмендегилерди есапқа алыу шәрт:

1. Егер лабораториялық жумыс ушын арналған материаллар арасында кесте келтирилмеген болса, онда кестени үйренген материалларыңыз, жумыстың баянламасы тийкарында өз бетиниңизше дүзип алыңыз. Буның

ушын кестеге кандай мағлыұматларды жазыұдың керек екенлигин, олардың кандай тәртіпте хәм избе-изликте жазылатуғынлығын есапқа алыұ лазым. Бос қалатуғын бағаналар менен қатарлардың болыұына жол қойыұға болмайды. Кестеде «ескертиұлер» менен «қосымшаларды» киргизиұ ушын бағана қалдырыұ керек.

2. Кестелерди сызғанда әпиұайы қәлемди пайдаланыұ керек. Кестеге мағлыұматлардың барлығы да ручка менен жазылады.

3. Нәтийже кестеге өлшеұден кейин дәрхәл жазылады. Қосымша өлшеұлер өткерилген жағдайларда (бундай өлшеұлерди әсбаптың дәллигин бахалаұ хәм оның өлшеұ диапазонларын анықлаұ ушын да өткериледи) алынған нәтийжелер дәптердің (лаборатория журналының) шеп тәрепине жазылады.

Графиклерди дүзгенде төмендегидей қағыйдаларды басшылыққа алыұ шарт:

1. Миллиметрли қағаздың өлшемлери лабораториялық журналдың бетиниң өлшеміндея ямаса оның ярымына тең болыұы керек. Графиктиң стандарт емес өлшеми тек зәрүрли болған жағдайларда ғана қолланылады.

2. Графиктиң көшерлери, өлшеұлерде жиберилетуғын қәтеликлерди сұўлелендиретуғын ноқатлар, алынған ғәрезликлердиң өзлери қәлем менен салынады, ал санларды, графиктиң атамасын ручка менен жазады. Графикти компьютердиң жәрдемінде А4 типіндеги бетке түсириұ де мүмкин. График әдетте миллиметрлерде бөлинеди.

3. Графиктиң атамасы шәртли түрде толық жазылыұы керек. Мысалы: «Латунь стерженниң узынлығының температурадан ғәрезлигиниң графиги». Атамада қысқартып жазыұға болмайды. Мысалы: «L диң T дан ғәрезлиги» Графиктиң атамасы миллиметровкалы қағаздың жоқарысына жазылады.

4. Масштаблар төмендегидей талаплардың орынланыұы ушын сәйкес түрде сайлап алынады:

а). Эксперименталлық мағлыұматлар менен ғәрезлилик беттиң үлкен бөлимин алыұы керек (60 проценттен де);

б). Миллиметровканың бир клеткасы (оның қапталының узынлығы 1 см) көшерге қойылатуғын шаманың 1, 2, 5, 10 бирлигине сәйкес болыұы керек;

с). Көшерлерге 20000, 30000, 40000 сыяқлы санларға сәйкес келиұши шамалар қойылатуғын болса бундай үлкен санлардың орнына 2, 3, 4 хәм басқа да санлар жазылып, көшердиң ушында (көшердиң ушы стрелка болып табылады) өзгериұшиниң белгиси 10^{-4} санына көбейтилиеди;

д). Графиктиң қыялық мүйеши (егер сызықлы ғәрезлилик ҳаққында гәп етилип атырған болса) 40–70 градус шеклеринде болыұы керек;

е). Көшерлердиң хәр қайсысы қағаздың (беттиң) шетинен 1,5-2 см қашықлықта турыұы шәрт.

Көпшилик студентлер графиктиң көшерлерине өлшенген шамаларды нолден баслап қояды (яғный координата басына нол сәйкес келеди). Бирақ бир қатар жағдайларда шамаларды нолден баслап қойыұдың кереги жоқ. Графиклерди дүзгенде көшерлер кесилискен ноқатқа талап етилетуғын шаманы (бирақ бул шаманың мәниси оң болыұы керек) қойыұға руқсат етилиеди.

5. Көшерлерге тек масштаблық санлар ғана қойылады, ал эксперименталлық ноқатлар санлары қойылмайды.

6. Көшердің ушында стрелка қасына өзгериуі физикалық шаманың белгиси жазылады, буннан кейин үтир белгиси қойылып өлшеу бірлиги белгиси жазылады. Мысалы: $m \cdot 10^{-3}$ кг.

7. Графикти лаборатория журналына (лабораториялық журналға) муқиятлы түрде дәптердің шеп тәрәпине желим менен жабыстырылады. График сызылған миллиметрли қағаздың дәптерден шығып турмауы керек.

8. Байланыслардың графиклерин дүзгенде төмендегилерди естен шығармау لازم:

а). Эксперименталлық ғәрезликлердің (байланыслардың) тууры сызық түрінде (яғный сызықлы байланыс түрінде) алынғаны мақсетке мууапық келеди. Себеби қыялық мүйеши, көшерлер менен кесилису ноқатлары көпшилик жағдайларда әхмийетли информацияларға ийе болады. Усындай мақсетлерде графиклерди логарифмлик, квадратлық хәм басқа да масштабларда курады;

б). Егер тәжирийбелерде алынған байланыс (ғәрезлик) сызықлы емес болып шықса ямаса сол байланысты масштабларды сайлап алыу жолы менен сызықлы байланысқа айландыру мүмкиншилиги табылмаса, онда эксперименталлық графиклерди нәтийжелердің қәтелиги областының ортасы бойынша тегисленген иймеклик түрінде курады. Бундай жағдайда сол тегисленген сызықтың еки тәрәпиндеги ноқатлардың саны шама менен бирдей болуы керек деген қағыйданы умытпау керек;

в). Кесик сызықлар түріндеги градуировкалық графикти буннан былай өткерилетуғын экспериментлерде дүзилистиң өзине тән өзгешеликлерин (индивидуаллық өзгешеликлерин) есапқа алыу ушын курады. Градуировкалық графиклерди гейде калибровкалық графиклер деп те атайды;

с). Теориялық байланыслар (ғәрезликлер) графиклерин сызғанда ноқатлардың қәтеликлери жазылмайды. Бирақ теориялық формулаларға шамалар өзлериниң қәтеликлери менен қатнасуғын жағдайларда ноқатлардағы қәтеликлердің мәнислерин жазыу керек;

е). Эксперименталлық графиклер эксперименталлық нәтийжелер жоқ болған областлар арқалы өте алмайды. Бирақ айырым жағдайлардың орын алыуы мүмкин (мысалы аппросимациялағанда, теориялық нәтийжелерди экспериментлерде алынған нәтийжелер менен салыстырып көрилгенде хәм тағы басқалар);

д). Сызықлы байланысты тек еки ноқат бойынша анықлауға болмайды. Үш ноқат арқалы анықланған байланыстың дурыслығы гүмән туудырады. Сонлықтан алынған нәтийжелердің исенимли болуы мақсетинде ноқатлардың санын мүмкин болғанынша көбейтиуге тырысу керек.

9. Графиктеги эксперименталлық ноқатларды кишкене дөңгелеклер түрінде белгилейди. Егер байланыслар (ғәрезликлер) саны бир неше болса, онда мағлыұматлардың хәр бир сериясының үш мүйешликлер, квадратлар, боялмаған дөңгелеклер, боялған дөңгелеклер хәм басқа да белгилер менен белгилениу мүмкин. Ғәрезликлер де хәр қыйлы сызықлар менен сызылады: тутас, пунктир, штрих-пунктир хәм басқалар. Сол сызықлардың жанына номерлерин көрсеткишлерди қойу мүмкин. Ал графиктиң мүйешине қайсы графиктиң қандай байланысқа сәйкес келетуғынлығын көрсетиу керек.

10. Хәр бир ноқаттың қәтелигиниң интервалы жиңишке сызықтың жәрдемінде белгиленип қойылады. Бундай сызықлар вертикал бағытта да, горизонталлық бағытта да бағытланыуы мүмкин.

11. Экспериментлердиң нәтийжелери бойынша қурылған графиклердиң қәтесиз болыуы мүмкин емес. Егер экспериментлерде алынған шамалардың қәтеликлери жүдә аз болса хәм сонлықтан графиктиң масштабларында көринбейтуғын болса, онда «қалған қәтелер көрсетилген ноқатлардың шеклерінде» деген стандарт фразаны жазып қойыу усынылады.

12. Егер анықланыуы керек болған физикалық шаманың мәниси графиктиң жәрдемінде анықланатуғын болса, онда усы шаманы анықлау ушын зәрүрли болған барлық байланысларда графикке киргизиу керек болады.

Лабораториялық жумыслардың нәтийжелери бойынша жуўмақлар жазыу қәлеген илимий изертлеу ушын жуўмақ жазыудың оқыу модели болып табылады. Жуўмақ формалластырылған текст болып, ол оқыушыға жумыстың барысында алынған нәтийжелер ҳаққындағы қысқа түрдеги түсиникти пайда етеди. Соның менен бирге жуўмақ жазыу дәретиўшилик мийнеттиң бир түри болып табылады. Сонлықтан жуўмақ жазыу студенттен жумыстың орынланыу барысында нелерди ислегенлигин хәм қандай нәтийжелерди алғанлығын дурыс түсиниўин, илимий терминологияны пайдалана алыу қәбилетлигин, қысқа түрде баянлау қәбилетлигин қәлиплестиреди.

Лабораториялық жумысқа жазылатуғын жуўмақ өз ишине төмендегидей тийкарғы блоктарды қамтыуы керек:

1. Жумыстың қандай усыл хәм қандай әсбаплар менен орынланғанын қысқаша баянлау. Бундай жағдайда лабораториялық жумыстың тәриплемесиниң кирисиу бөлими менен сәйкесликтің болмауы шәрт (яғный жуўмақты тәриплемедеги кирисиуден көширип жазыуға болмайды).

2. Өлшеулер орынланған диапазонды сайлап алыуды, өлшеулер арасындағы интервалларды хәм неше рет өлшеулердиң жүргизилгенлигин тийкарлау.

3. Қандай усыллардың жәрдемінде мағлыўматлардың қайта исленгенлигин, нәтийжелердиң қалай пайдаланылғанлығын (масалы графиктиң қалай қурылғанлығын, константалардың қалай есапланғанлығын хәм басқаларды) баянлау.

Мысалы: «Туўрылар жуп ноқатлары усылы тийкарында қурылды».

4. Алынған графиклерди тәрийиплеу. Бундай жағдайда экспериментте алынған нәтийжелер менен теориялық есаплаулар берген нәтийжелерди айырып көрсетиу талап етиледі. Төмендеги жағдайларды түсиниу айрықша әҳмийетке ийе:

а). Экспериментте алынған нәтийжелер менен теориялық есаплаулар берген нәтийжелер бир бири менен толық сәйкес келиуи шәрт емес;

б). Ҳеш бир эксперименталлық нәтийже толық ҳақыйқатлыққа сәйкес келмейди. Себеби қосымша өткерилген өлшеулерде алынған нәтийжелерди өзгерте алатуғын ноқатлардың алыныуы мумкин. Экспериментлердиң дәлликтің дәрежеси алынған мағлыўматлардың санына хәм хәр бир мағлыўматтағы қәтеликлерге байланыслы;

с). Эксперименттиң жәрдемінде теорияны дәлиллеу ямаса тексерип көриу мүмкин емес, себеби экспериментлерде алынған мағлыўматлар аныу ямаса

мынау теорияның пайдасы үшін ғана хызмет ете алады. Сонлықтан эксперименттің теория менен сәйкес келіу дәрежесі қаққында ғана айтыу мүмкін.

Мысалы «алынған нәтижелер энергияның сақланыу ызамының дурыслығын дәлиллейди» деген жуумақ дурыс емес жуумақ болып табылады. Сонлықтан былайынша айтқанымыз дурыс: «алынған нәтижелер энергияның сақланыу ызамына толық сәйкес келди».

5. Барлық уақытлары қәтеликлердің системалы қәтеликлер менен тосыннан жиберилетуғын қәтеликлер болатуғынлығын естен шығармау керек.

6. Қәтеликлердің дереклерин таллау. Эксперименттің методикасындағы хәм эксперименталлық үскенениң характеристикаларындағы надурыслықтың қақыйқый себеплерин табыуға тырысуу зәрүр. Сәтсиз нәтижелерди түсиндириу мақсетинде әсбаплардың көрсетиуіндеги надурыслықларға (қәтеликлерге) сүйениуге болмайды.

7. Теория (егер усындай теория бар болса) менен эксперименттің бир бири менен сәйкеслигин таллау. Жиберилген қәтеликлер шеклеринде теория менен эксперименттің нәтижелериниң сәйкес келгенлигин ямаса келмегенлигин атап өтиу зәрүр. Бул жерде де өз пикирин ашып билдириу керек хәм жүдә дәл емес болған бақаларды да беріу мүмкін: «қанаатландыралықтай дәрежеде сәйкес келеди, жақсы сәйкес келеди хәм тағы басқалар».

Жуумақ жазылғанда тартым сеплеуіндеги сөзлер жазылмайды. Мысалы: «Бул жумыста ... арасындағы байланыс изертленди». Биринши ямаса үшінши адам атынан жазуу усыныс етилмейди. Баянлаудың бирден бир стилин сақлау зәрүрли. Қурамалы ямаса узыннан-шубай гәплерди пайдаланбаған мақул.

Барлық эксперименталлық хәм кестелик (справочниклерден алынған) мәнислер бирдей есаплау системасында жазылады. Барлық эксперименталлық хәм кестелик (справочниклерден алынған) мәнислер арасындағы айырмалардың талланғанлығы мақул.

1-санлы лабораториялық жумыс

Басымның жыллылық коэффицентин газли термометр жәрдемінде анықлау

Керекли әсбап хәм үскенелер: 1) әсбап, 2) пружиналы вакуумметр, 3) ВН-461 вакуум насосы, 4) электроплитка, 5) ыдыс.

Теориялық көрсетпелер. Идеал газды турақлы көлемде қыздырғанда оның басымының температураға қатнасы өзгериссиз қалатуғынлығы белгили. Буны Шарль ызамы, ал идеал газды турақлы көлемде қыздыруу процессин изохоролық процесс деп атайды. Газли термометрдің ислеу тәртиби изохоралық процесске тийкарланған. Идеал газ үшін дәл орынланатуғын бул қәсийет үлкен әхмийетке ийе. Себеби хәзирги уақыттағы термометрлердің дерлик барлығы газли термометрге салыстырылған халда градуировкаланады.

Басымның жыллылық коэффициенті α_p арқалы тұрақты көлемде идеал газдың температурасын 1 градусқа өзгерткенде оның басымының өзгерісінң дәлелі басымына (0°C ямаса $T_0 = 273 \text{ K}$ температурадағы) қатнасы менен өлшенетүгын шама белгіленген. Оның мәнісін идеал газдың хал теңлемесінен пайдаланып табыуға болады.

Солдай етип басымның жыллылық коэффициенті деп

$$\alpha = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_T$$

шамасына айтады екенбіз. Бул формуладағы α коэффициентін идеал газ үшін жазылған төмендегі хал теңлемесінен анықлауға болады:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Көлем V ны тұрақты деп есептеп бул аңдатпаны T бойынша дифференциалласақ

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_T = \frac{m}{\mu} \frac{R}{V}$$

аңдатпасына ийе боламыз. Жоқарыдағы үш аңдатпа тийкарында α коэффициенті үшін

$$\alpha = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_T = \frac{1}{T}$$

формуласын аламыз.

Егер идеал газды тұрақты көлемде (изохоралық процесс) T_0 температурадан T_1 хәм T_2 температураларға шекем қыздырғанда басым сәйкес түрде p_0 ден p_1 хәм p_2 ге шекем өзгереді. Бундай жағдайда олар арасындағы байланыс төмендегіше жазылады:

$$p_0 V = \frac{M}{\mu} RT_0, \quad (1)$$

$$p_1 V = \frac{M}{\mu} RT_1, \quad (2)$$

$$p_2 V = \frac{M}{\mu} RT_2. \quad (3)$$

(3)-теңдіктен (2)-теңдікті алсақ $(p_1 - p_2)V = (M/\mu)R(T_2 - T_1)$ хәм $(p_1 - p_2)/(T_1 - T_2) = MR/\mu V$ аңдатпаларына ийе боламыз. (1)-теңлемени пайдаланып бул теңлемени былайынша жазыуға болады

$$(p_2 - p_1)/(T_2 - T_1) = p_0/T_0. \quad (4)$$

Анықламаға мууапық бул теңлемеден

$$\alpha_V = \frac{1}{T_0} = \frac{p_2 - p_1}{p_0(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

формуласының орынлы екенлиги келип шығады. Солай етип басымның жыллылық коэффициенті абсолют температураға кері пропорционал шама екен. Мысалы $T_0 = 273 \text{ K}$ температурада $\alpha = \alpha_0 = 1/273 \text{ град}^{-1}$ шамасына тең болады.

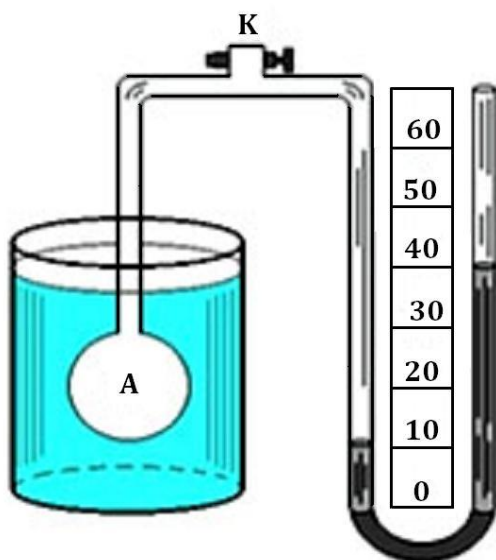
Демек басымның басқа температуралардағы жыллылық коэффициентін анықлау үшін T_1 хәм T_2 температураларға сәйкес келетуғын басымлар айырмасы болған $\Delta p = p_2 - p_1$ шамасын өлшеу жеткиликли деген сөз. Бул өлшеуді газли термометр жәрдемінде әмелге асырыады.

Жумысты орынлау тәртиби

Газли термометр. 1-сүүретте көрсетилген сынаплы манометрдің шеп ийinine А баллоны тутастырылған. Баллон менен манометр К краны арқалы тутасқан. К кранды ашыу хәм жабыу арқалы А баллонды хәм манометрдің шеп ийнин өжиредеги ҳауа менен тутастырыуға хәм ажыратыуға болады.

Басымды өлшеу мақсетінде U тәризли ыдысқа сынаптың ортына суу қуйыуға болатуғынлығын атап өтемиз. Бундай жағдайда басымды суу бағанасының басымында өлшеймиз.

Жумыс төмендеги тәртипте орынланады: К кранын ашып А баллонды T_1 өжире температурасындағы ҳауа менен толтырамыз. Бундай жағдайда манометрдің еки тәрәптеги басымлар атмосфера басымына тең болып сол еки тәрәптеги сынаптың қәддилери бирдей болады. Сынап бағанасының дәслепки бийиклигин h_1 арқалы белгилеймиз. Кейин К кранды жауып А баллонды температурасы T_2 болған сууға батырамыз. $T_2 - T_1$ диң шамасы 15 – 20 градус болыу жеткиликли.



1-сүүрет.

Газли термометр жәрдемінде А баллоны ишиндеги ҳауаның басымын өлшеу схемасы.

А баллондағы газдың температурасының жоқарылауы нәтийжесінде оның басымы артады хәм манометрдің шеп ийниндеги сынаптың қәдди төменлеп, ал оң ийниндеги сынаптың қәдди көтеріледі. Процесс дауамында газдың көлемин өзгертиуге болмайды. Сонлықтан маноматрдің шеп ийниндеги сынаптың қәддин дәслепки h_1 қәддинде услауымыз керек. Буны манометрдің

оң ийнин пухталық пенен жоқары көтеріу барысында әмелге асырамыз. Сынап қәддилериниң өзгериуі тоқтағаннан кейинги манометрдиң оң ийниндеги сынаптың қәддин h_2 деп белгилеп аламыз. $h_2 - h_1$ айырмасы болса қауаның температурасы T_1 ден T_2 ге жоқарылағандағы басымының артыуын сыпатлайды.

Тығызлығы ρ болған сұйықтық бағанасының ыдыстың ұлтанына түсіретуғын басымы

$$p = \rho gh$$

теңдигинен анықланатуғынын еске алып (5)-аңлатпаны

$$\alpha_p = \frac{\rho g(h_2 - h_1)}{\rho g Sh(T_2 - T_1)} = \frac{h_2 - h_1}{h_1 T_2 - h_2 T_1} \quad (6)$$

түрінде жазыуға болады. Бул аңлатпадағы h_0 шамасы температура 0°C ға тең, яғный $T = 273 \text{ K}$ ге сәйкес келетуғын сынап бағанасының бийиклиги. $h_2 = 760 \text{ мм}$ деп есаплауға болады. $h_2 - h_1$ айырманы миллиметрлерде аңлата отырып (6) дан α_p шамасының мәнісін анықлауға болады.

Ескертиу: T температурадағы сынап қәддилериниң айырмасын өлшеп алғаннан кейин манометрдиң оң ийнин төмен түсірип А баллонды суудан шығарыу керек. Себеби манометрдиң оң ийини көтерілген қалда баллонды суудан шығарсақ қауаның T_1 температураға салқынлауы нәтижесінде басым кемейіп сынаптың баллонға түсиуі мүмкін.

Тәжірийбе 5 рет жүргизилип төмендеги кестеге жазылсын.

№	T_1	T_2	Δh	$\Delta \alpha_p$	$\Delta \alpha_p / \alpha_p$	%
1						
2						
3						
4						
5						

Жұмысты орынлау хәм тапсыруу үшін сораулар

1. $\Delta \alpha_p$ шамасын анықлау қандай физикалық процеске тийкарланған?
2. $\Delta \alpha_p$ деп неге айтамыз?
3. Егер А баллонды көлеми еки есе үлкен басқа баллон менен тутастырсақ, тәжірийбеде анықланған $\Delta \alpha_p$ ның шамасы өзгерди ме? Түсиндириңиз.
4. А баллонды температурасы T_2 болғна сууға салғанымызда баллонның өзи жыллылықтан кеңейиуі мүмкін. Буның $\Delta \alpha_p$ ның мәнісине тәсири бар ма?
5. Егер нормал атмосфера басымы бийиклиги 760 мм болған сынап бағанасының басымына тең болса, усындай басымды алыу үшін суудың бийиклиги қандай болыуы керек?

2-санлы лабораториялық жұмыс

Денелердің жыллылық кеңейіуі

Методикалық көрсетпелер.

а) **Сұйықтықтар.** Өз көлемін сақдай алыуы және еркін бетке ийе болуы сұйықтықтардың тийкарғы қасиетлерінің бири болып табылады. Сұйықтықтар белгили муғдарда қысылуы және жыллылықтың тәсирінде көлемінің кеңейіу қасиетлеріне ийе. Қысылуы және жыллылықтан кеңейіу қасиетлерін олардың хал теңлемесінен үйрениу мүмкин. Заттың жыллылық кеңейіуі оның көлемге кеңейіу коэффициенті менен характерленди.

Көлемге кеңейіуді затты бир градусқа қыздырғанда оның көлемінің өзгерісі менен характерлеу мүмкин. Бирақ бул өзгеріс дәслепки көлемге байланысly және дәслепки көлем қанша үлкен болса, көлемнің өзгерісі де сонша үлкен болады.

Басым бир бирикке өзгергенде сұйықтық көлемінің салыстырмалы өзгеріуі оның қысылушылық коэффициенті (оны χ арқалы белгилеймиз) деп аталады. Бул шаманы былайынша жазамыз:

$$\chi = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}. \quad (1)$$

Бул коэффициенттің сан шамасы басымға байланысly болып, басымның артуы менен бул коэффициенттің мәнісі киширейіп барады. Себеби сұйықтық қысылған сайын оның молекулалары арасындағы қашықтықтар кемейеди. Молекулалар (бөлекшелер) арасындағы бир бирін ийтерісіу күшлерінің шамасы артады және бул жағдай бөлекшелердің бир бирине жақынласуын қыйынластырады (себеби хәр бир атом ямаса молекула белгили бир көлемди ийелейди). Сұйықтықтардың қысыла алыушылығы температураға да байланысly. Себеби жыллылық кеңейіу себепли сұйықтықтың көлемі артады және молекулалар арасындағы ийтерісіу күшлерінің шамасы кемейеди.

Температура артқанда көлемнің үлкейіуі кеңейіу коэффициенті арқалы тәрийіплениліп, температура 1 градусқа өзгергенде оның көлемінің дәслепки көлемге салыстырғанда қанша шамаға өзгеретуғынлығын аңғартады. Яғный:

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT}. \quad (2)$$

Жыллылықтан көлемге кеңейіу коэффициентінің мәнісі басымның артуы менен кемейіп, температураның жоқарылауы менен артады.

б) **Қатты денелер.** Өзінің формасын сақдай алыушылығы қатты денелердің ең тийкарғы қасиетлерінің бири болып табылады. Физикалық қасиеттері бойынша қатты денелер тийкарынан кристаллық және аморф денелер болып екиге бөлинеди. Аморф қатты денелер өз формасын сақдайтуғын болса да көплеген қасиеттері бойынша сұйықтықтарға ұқсас

(мысалы шийше, органикалық пластмассалар). Аморф денелерди жабысқақтығы жүдә үлкен болған сұйықтық деп есаплайға болады. Температураның артыуы менен аморф денелердің жабысқақтығы кемейеди. Аморф денелер белгили бир ериу температурасына ийе емес.

Кристалллық денелер болса белгили бир ериу температурасына (ноқатына) ийе. Қатты денелердің қалы да көлем, басым хәм температура арқалы тәрийипленеди. Бирақ қатты денелер ушын бул параметрлардың жәрдемінде хал теңлемесин анық жазыу жүдә қыйын болған математикалық процедуралардан болып есапланады. Мысалы, $p = \text{const}$ болғанда $V = f(T)$ функциясы жыллылық кеңейиуин билдирсе, $T = \text{const}$ болғанда $V = f(p)$ функциясы сыртқы күшлер тәсирінде қатты денелердің қалай деформацияланатуғынлығын сәулелендиреди.

Қатты денелердің физикалық қәсийетлери олардың атомларының ямаса молеулаларының бир бирине салыстырғанда қатаң түрдеги белгили бир тәртіпте жайласқанлағы менен тиккелей байланысly. Атомлардың тәртіпли жайласуына усы атомлар арасындағы бир бирине тәсир етиу күшлери себеп болады. Тәбияты жағынан бундай күшлер электростатикалық күшлер болып табылады. Бундай күшлер қатты денелердің ишинде базы бир дәуирли потенциаллық майданды пайда етеди. Потенциаллық майдан болса сәйкес энергияға ийе. Сонлықтан кристаллардағы атомлардың жайласуы усы потенциал майданның минимумына сәйкес келиуи керек.

Қатты денелердеги атомлар ямаса молекулалар арасындағы тартылыс (байланыс) күшлеринің тәбияты хәр қыйлы болуы мүмкин. Усыған байланысly атомлар арасындағы байланыстың төмендеги тийкарғы түрлерин атап өтиуимиз мүмкин:

Ионлық байланыс (гетерополяр байланыс).

Ковалентлик байланыс (гомеополяр байланыс).

Металлық байланыс.

Ван-дер-Ваальс байланысы.

Атомлар арасындағы байланысқа базы бир муғдардағы энергия сайкес келеди. Бул энергия атомлардың жыллылық қозғалысына сәйкес келиуши E_{kin} кинетикалық энергия менен атомлар арасындағы тартылыс ямаса ийтерилиске сәйкес келетуғын E_p потенциал энергияның қосындысынан ибарат. Кинетикалық энергияның мәниси барлық ўақытта да нолден үлкен. Ал кристаллық денелердеги потенциал энергияның мәниси атомлар арасындағы қашықтық r ге байланысly хәм оның мәниси барлық ўақытта да нолден киши.

Бир бири менен тартысатуғын атомлар ушын потенциал энергияның мәниси нолден киши ($E_p < 0$), ал ийтерисетуғын атомлар ушын потенциал энергияның мәниси нолден үлкен ($E_p > 0$).

Демек еки атомнан туратуғын системаның толық энергиясын $U = E_p + E_{\text{kin}}$ деп жаза аламыз. Толық энергия U дың мәниси температураға да, еки атом арасындағы аралық r ге де байланысly. Себеби кинетикалық энергияның мәниси температураның жоқарылауы менен артады, ал потенциал энергияның мәниси еки атом арасындағы қашықтық r дың өзгериуи менен өзгериске ушырайды.

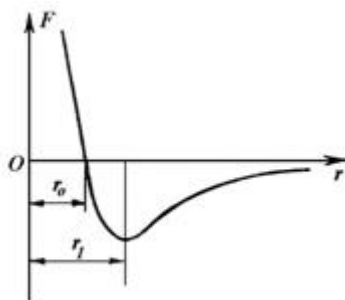
Биз атомлардың өлшемлеринен үлкен қашықтықларды үлкен қашықтықлар, ал атомлардың өлшемлерине киши қашықтықларды киши

қашықтықтар деп атаймыз. Сонлықтан үлкен қашықтықтарда $U < 0$ теңсизиги орын алады хәм бул атомлар арасындағы тартылыс күшлериниң орын алатуғынлығына сәйкес келеди. Киши қашықтарда $U > 0$. Бундай қашықтықтарда атомлар бир бирин ийтереди.

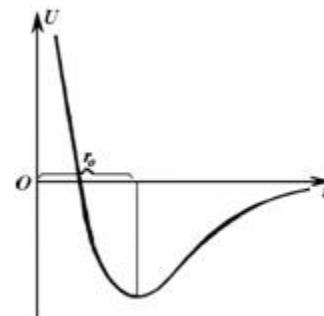
Атомлар арасындағы тәсир етисий күши F пенен U арасында $F = -dU/dr$ түриндеги байланыс орын алады.

Биз гәп еткен әпиұайы жағдай 2- хәм 3-сүүретлерде сәўлелендириген.

$r = r_0$ шәрти орынланғанда $F = 0$ болып, бул аралық U шамасының минимумына сәйкес келеди. Бул еки атомнан туратуғын системаның тең салмақтық орнықты халы болып табылады. Көп сандағы молекулалар менен атомлар тап усындай шәрт орынланғанда қатты денени ямаса конденсацияланған орталықты пайда болады.



2-сүүрет



3-сүүрет

Суйықтықлардың көлемге кеңейіу коэффициентин тәжірийбеде анықлау (1-усыл)

Жумыстың мақсети: Жыллылықтың тәсиринде суйықтықта жүзеге келетуғын көлемлик өзгерислерди тәжірийбеде изертлеу хәм бул бойынша олардың көлемге кеңейіу коэффициентин анықлау.

Керекли әсбап хәм үскенелер: арнауды әсбап-үскене (эксперименталлық дүзилис), суў қайнатқыш, электроплита, ыдыс, изертленетуғын суйықтық.

Теориялық көрсетпелер хәм әсбап-үскенениң дүзилиси. Денелердиң жыллылық кеңейіу коэффициентин дилатометрлер деп аталыўшы (әпиұайы дилатометрдиң дүзилиси 4-сүүретте көрсетилген) әсбаптың жәрдемінде өлшенеди. Ал узынлықты өлшеу менен шуғылланатуғын илимниң бөлимин дилатометрия деп атаймыз. Хәзирги заман дилатометриясы оғада көп санлы өлшеу усылларына ийе. Дилатометрияның ең әпиұайы усылы төмендегиден ибарат.

Изертленилетуғын суйықтық капилляр түтикшеси бар ыдысқа қуйылады. Суўдың қәдди түтикшениң шама менен ярымына шекем болыуы керек (4-сүүретте көрсетилген). Ыдысты қыздырғыштың ишине жайластырылып оған жыллылық берилгенде жыллылық кеңейіуиниң салдарынан капилляр түтикшедеги суўдың қәдди Δh шамасына көтеріледи. Термометр жәрдемінде жыллылықтың өсими болған Δt шамасын хәм басланғыш көлем V_0 шамасын билген жағдайда көлемге кеңейіу коэффициентин төмендеги формула жәрдемінде табыу мүмкин:

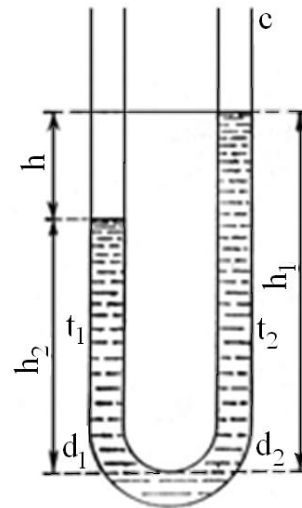
$$\alpha = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{V_0}{\Delta t} = \frac{S \cdot \Delta h}{V_0 \cdot \Delta t}. \quad (3)$$

Бул формулада S арқалы капилляр түтікшениң кесе-кесиминиң майданы белгиленген. Бул усыл жеткиликлі дәрежеде дәл нәтиже бере алмайды. Себеби сұйықтық тұрған ыдыстың көлеминиң жыллылық кеңейіуі есапқа алынбады. Соның ушын бул усылдан пайдаланғанда алынған нәтижелерге сәйкес дүзетіуі киргизиуі керек болады.

Көлемге кеңейіуі коэффициентин анықлаудың биринши рет Дюлонг хәм Пти тәрәпинен усынылған хәм Реньо жетилистирген басқа да классикалық методы бар. Бул методты тутас ыдыс методы деп атайды хәм бул усылда тутас ыдысларға қуйылған хәр қыйлы сұйықтықлардың тең салмақтықта болыу шәртини пайдаланылады.



4-сұйрет. 1-шынығыуда қолланылатуғын дүзилис схемасы.



5-сұйрет. Тутас ыдыс усылының схемасы.

Изертленилип атырған сұйықтық U формасындағы ыдысқа қуйылады (5-сұйрет). Ыдыстың бир тәрәпин салқын халда (өжире температурасында) сақтап, екінши тәрәпи қыздырылады. Нәтижеде ыдыстың еки тәрәпинде бирдей сұйықтық еки түрли тығызлыққа ийе болады. Тутас ыдыслардың хәр қыйлы учатскаларындағы сұйықтықтың бийиклиги тығызлыққа кери пропорционал хәм түтікшениң кеңейіуіне байланысly емес. Солай етип, ыдыстың кеңейіуі сұйықтықтың кеңейіуіне тәсир етпейди. Соның ушын төмендеги аңлатпаны жаза аламыз:

$$h_1/h_2 = \rho_1/\rho_2. \quad (4)$$

Бул аңлатпада h_1 , хәм ρ_1 арқалы ыдыстың оң тәрәпиндеги, ал h_2 , хәм ρ_2 арқалы ыдыстың шеп тәрәпиндеги сұйықтықтың бийиклиги менен тығызлығы белгиленген. Хәр қыйлы температурада сұйықтықтың тығызлығы хәр қыйлы болады. Сұйықтықтың тығызлығы менен температурасы арасындағы байланыс

$$\rho_1 = \rho_0 / (1 + \alpha t) \text{ хәм } \rho_2 = \rho_0 / (1 + \alpha t_2)$$

формулалары жәрдемінде тәрийипенеди. ρ_1 менен ρ_2 ниң мәнислерин (4)-аңлатпаға қойсақ:

$$h_1/h_2 = (1 + \alpha t_1)/(1 + \alpha t_2)$$

қатнасын аламыз. Буннан

$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}. \quad (5)$$

Бул аңлатпада $h_2 - h_1 = h$ арқалы тутас ыдыслардың оң хәм шеп тәрәпиндеги суйықлықтың бийикликлериниң айырмасы белгиленген.

$h_2 = h_1 + h$. Сонлықтан (5)-формуланы төмендегидей түрде жазыу мүмкин:

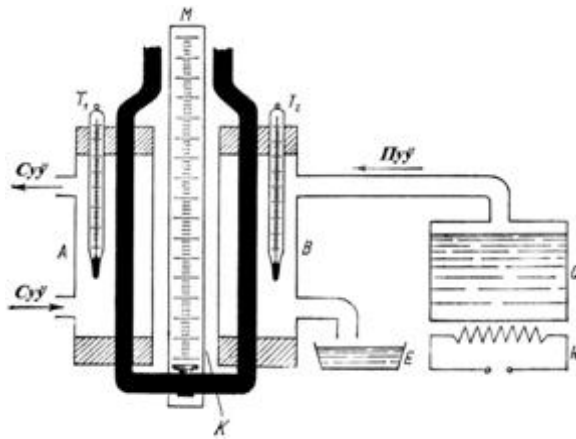
$$\alpha = \frac{h}{h_1 t_2 - (h_1 + h) t_1}. \quad (6)$$

Жоқарыда айтылғанындай, суйықлықтың көлемге кеңейуі коэффициентин тәжірийбеде анықлау үшін арнаулы U формасындағы шийше түтікше қолланылады. Тәжірийбе өткеріудің схемасы 5-сүретте келтирилген. Шийше ыдыстың ишине изертленип атырған суйықлық қуйылады. Ыдыстың хәр еки тәрәпи А хәм В цилиндр тәризли шийше ыдыслардың ишінде жайласқан болып, олардан биреуиниң (А) ишнен салқын суу хәм екиншисинен (В) суу пууы өткериледи. U формасындағы шийше түтікшениң ортасына миллиметрлерге бөлінген шкала (М) орнатылады. А хәм В цилиндрлери ишіндеги суу хәм пуудың температуралары T_1 хәм T_2 термометрлери жәрдемінде өлшенеди. С ыдысы ишіндеги суу пуу алыу үшін Н электроплитка жәрдемінде қайнатылады. В цилиндри ишінде конденсацияланған пуу оның төменги түтікшеси арқалы Е ыдысына ағады.

Жұмыстың орынланыу тәртіби

1. Дәслеп А хәм В ыдыслардың жоқарғы хәм төменги тығынларын жақсылап жабыу керек. А цилиндрдеги суу түтікшелериниң бири суу дерегине жалғанады. Екинши түтікше арқалы суудың шығып кетиуі керек. Пайдаланылған суудың басымы А цилиндриниң тығынларын шығарып жибермеуі керек.

2. С суу қайнатқышқа ярымына шекем суу қуйылады хәм оны резина шланг жәрдемінде В цилиндрдің жоқарғы ашық турған пуу кириуі керек болған түтікшесине жалғанады. В цилиндрдің төменги түтікшесине конденсацияланған сууды жайнау үшін Е ыдысы қойылады.



6-сүрөт.

Суйыктың көлемге кеңейүү коэффициентин тәжірийбеде анықлау үшін арналған дүзилистин (тутас ыдыс методынның) схемасы.

3. Суў U формасындағы түтикшеге қуйылғанда К краны ашық болуы керек. Оның еки тәрәпиндеги суўдың қәддилери теңлескенде кран жабылады.

4. Суў қайнатқыш С электр плитка Н тың үстине қойылған ҳалда суў қайнатылады.

5. Суў қайнап В цилиндрдің төменги түтикшесинен шыға баслағанынан соң 10—15 минут күтип турылады хәм өлшеу процедураларына кирисиледи. t_1 , хәм t_2 термометрлердің көрсетиуи, салқын суўдың бийиклиги h_1 хәм суйықлар бийикликлериниң айырмасы h лардың мәниси 0,5 мм дәлликте жазып алынады. Тәжірийбе кеминде 3 рет тәкирарланып (6)-формула жәрдемінде h_1 , h_2 , t_1 , t_2 шамаларының орташа мәнислери арқалы изертленип атырған суйықтың көлемге кеңейүү коэффициенти анықланады. Нәтийжелер төмендеги кестеге жазылады:

№	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}_2$	$h, \text{м}$	$h_1, \text{м}$	α, K^{-1}	$\bar{\alpha}, \text{K}^{-1}$	$\Delta\alpha, \text{K}^{-1}$	N, %
1								
2								
3								

Жумысты орынлау хәм тапсыруу ушын сораулар

1. Көлемге кеңейүү коэффициенти дегенимиз не? Жыллылықтан кеңейүү механизмін түсиндириңиз.

2. Көлемге кеңейүү коэффициентлери басымға хәм температураға байланысын түсиндириңиз.

3. Дюлонг хәм Пти методынның теориясын түсиндириңиз хәм (6)-формулань келтирип шығарыңыз.

4. Жумыстың орынланыуын хәм әсбап-үскенениң дүзилисин түсиндириңиз.

3-санлы лабораториялық жұмыс

Қатты денелердің сызықтық және көлемге кеңейіу коэффициенттерін анықтау

Керекті әсбап және үскенелер: 1) Қатты дененің сызықтық кеңейіуі өлшенетұғын әсбап, 2) бірдей ұзындықтағы шийше, полат және алюминий стерженлер (ұзындықтарды 15-17 см етіп алыу ұсынылады), 3) Термометр, 4) Таза су, 5) миллиметрлі сызғыш, 6) штангенциркуль.

Методикалық көрсетпелер және әсбап-үскененің дүзилісі. Дененің сызықтық жыллылық кеңейіуі деп температура жоқарылағандағы геометриялық формаларының берілген бағыттағы сызықтық өзгерістері түсіниледи. Дененің сызықтық өлшемлерінің температураның жоқарылауының нәтижесінде артатуғынлығы бәршеге мәлім.

Өлшемлері белгілі болған денені қыздырғанда оның өлшемлері температуралардың өсиміне байланысты пропорционал артады.

Кристаллдардың жыллылық кеңейіуі санлық жақтан сызықтық және көлемлі кеңейіу коэффициенттері менен характерленеди. Егер l ұзындықтағы дененің температурасы Δt ға өзгергенде ұзындығы Δl шамасына өзгерсе, онда бұл дененің сызықтық кеңейіу коэффициенті төмендегі теңліктің жәрдемінде анықланады:

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1)$$

яғна

$$\alpha = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{l_1} \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (2)$$

Бұл аңлатпаларда l_1 және l_2 лер арқалы дененің сәйкес t_1 және t_2 температуралардағы ұзындықтары белгіленген.

Егер сызықтық кеңейіу коэффициенті үлкен температуралар интервалларында температураға сызықтық байланысты болатұғын болса, онда $\alpha = (1/l)[(l_1 - l_0)/t]$ және бұнан $l_t = l_0(1 + \alpha t)$ аңлатпасы алынады. Бұл формулада l_0 арқалы дененің 0°C дағы, ал l_t дененің $t^\circ\text{C}$ температурадағы ұзындықтары белгіленген.

Кристаллық денелердің қасиеттерінің анизотропиясына байланысты α коэффициентінің шамасы әр қылы кристаллографиялық бағыттарда әр қылы мәністерге ие болады. Қабырғалары өз-ара перпендикуляр болған кристаллографиялық көшерлерге параллель етіп кесі алынған параллелепипед тәрізлі кристаллық дене берілген болсын. Температура 0°C болғанда параллелепипедтің тәрептерінің ұзындығы l_{01} , l_{02} , l_{03} шамаларына тең болсын және ұсы бағыттардағы сызықтық кеңейіу коэффициенттері сәйкес α_1 , α_2 , α_3 шамаларына тең болсын. Параллелепипед формасына ие болған кристаллық денені t температураға шекем қыздырғанда оның тәрептерінің ұзындығы артып

$$\begin{aligned}l_{1t} &= l_{01}(1 + \alpha_1 t), \\l_{2t} &= l_{02}(1 + \alpha_2 t), \\l_{3t} &= l_{03}(1 + \alpha_3 t)\end{aligned}$$

шамаларына тең болады. Егер дене тұрақты басым астында қыздырылып атырған болса, онда параллелепипедтің көлемі

$$V_t = V_0(1 + \alpha_1 t) \cdot (1 + \alpha_2 t) \cdot (1 + \alpha_3 t)$$

шамасына тең болады. Бұл аңлатпада $V_0 = l_{01} \cdot l_{02} \cdot l_{03}$ арқалы параллелепипедтің 0°C температурасындағы көлемі белгіленген. α_1 , α_2 және α_3 коэффициенттерінің мәнісін жөндөу коэффициентіне есепке алсақ $(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$, $(\alpha_1 \cdot \alpha_2)$, $(\alpha_1 \cdot \alpha_3)$ және $(\alpha_2 \cdot \alpha_3)$ түріндегі көбейтінділердің жөндөу коэффициентіне есепке алсақ, онда параллелепипедтің көлемі

$$V_t = V_0(1 + \alpha_p t) \quad (9)$$

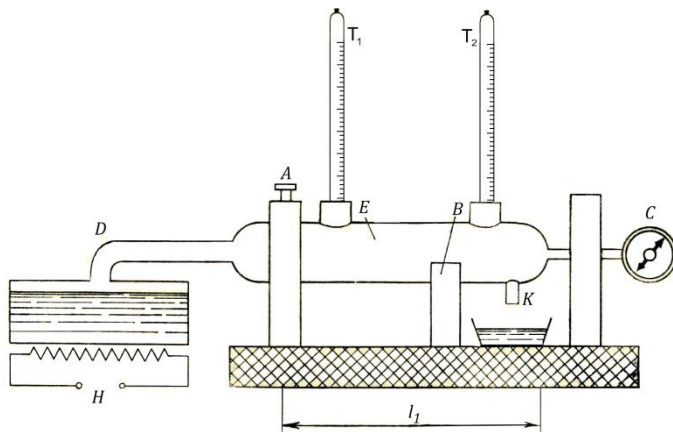
формуласына ийе боламыз. Бұл формулада $\alpha_p = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ арқалы изобаралық көлемді кеңейту коэффициенті белгіленген.

Кублық структураға ийе кристаллдар, поликристаллдар және изотроп денелер үшін $(\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3)$ және $\alpha_p = 3\alpha$ теңлігі орынланады. Бұл коэффициенттің шамасы температураға байланысты болып, бұл байланыс төменгі температураларда анық сезіледі. Абсолют нөлге жақынласқан сайын денелердің жыллылық кеңейту коэффициентінің мәнісі нөлге жақынласады.

Бұл жұмысты орындау үшін екі түрлі усул пайдаланылады: Бірінші усулда пайдаланылатынын әсбапты Д.И. Менделеев әсбабы деп атайды және оның жәрдеминде изотроп денелердің (кублық структураға ийе металлдардың) сызықты кеңейту коэффициенті анықталады. Екінші усулда қазіргі уақытта ұлыма білім беретуын мектептерде кеңінен қолланылатынын арнайы әсбап пайдаланылады.

Эксперименталлық үскенің дүзілісін хәр бірін өз алдына көріп шығамыз.

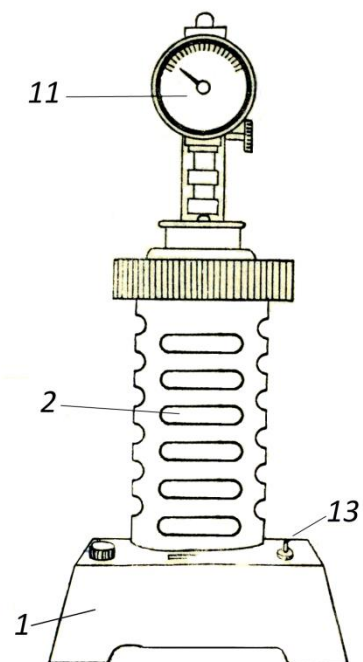
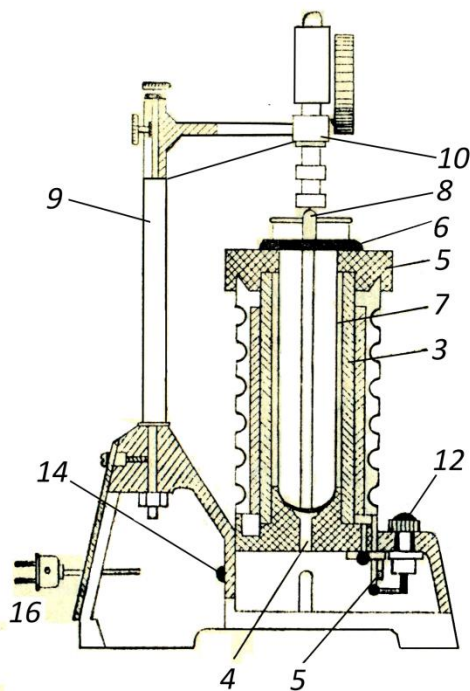
Үскене Е металл түтікшеден ибарат болып, жыллылықты изоляциялаушы материал менен оралған болады (7-сүретте көрсетілген). Түтікшенің бір ұшы А таянышқа қатырылған және екінші ұшы В таянышқа еркін қойылған болады. Түтікшенің жабық ұшы тегісденген, оған С ұзындық индикаторының стержені тийіп тұрады. Индикатордың шкаласының хәр бір бөлімі 0,01 мм ге тууы келеді. Қыздырғыш Н жәрдеминде Д ыдыстағы су қайнатылады, нәтижеде түтікшенің бір ұшынан бу кіріп екінші ұшынан шығады. T_1 және T_2 термометрлер түтікшенің екі ұшындағы температураларын өлшеу үшін қолланылады. Түтікшеде конденсацияланған бу сулары ыдысқа К түтікшесі арқалы ағады.



7-сұйрет.

Қатты денелердің сызықты кеңейіу коэффициентін анықлау үшін арналған әсбаптың дүзилісінің схемасы.

8-сұйреттегі үскене 1 корпустан ибарат болып, оған 2 цилиндрлик корпусы бекитилген. Цилиндрлик корпустың ишинде 3 қыздырғыш жайластырылған болып, еки тәрепинен 4 таяныш хәм 5 қақпақ орналастырылған. Тәжирийбе ўақтында 6 прокладка арқалы орнатылған 7 шийше пробиркаға салынған 8 стержень жайластырылады. Үскене корпусында 9 стойка қатырылған болып, ол 10 кронштейн хәм 11 индикатор менен тәмийинленген. Кронштейн өз көшери дөгерегинде 90 градусқа бурыла алады. Корпус панелинде 12 индикаторлы лампа хәм 13 кнопкалы включатель орнатылған. Корпус 14 винт арқалы жерге тутастырылады. 16 штепселли вилка кернеуі 220 В болған электр энергиясы дерегине жалғау үшін мөлшерленген. Әсбаптың ислеу принципи электротермализация қубылысына тийкарланған. Изертленетуғын үлги шийше пробиркадағы суў ишинде жайластырылады хәм қыздырылады. Узынлықтың өзгериуі индикатор жәрдемінде өлшенеди.



8-сұйрет

Жұмысты орынлау тәртібі

1-эксперименталлық дүзилис бойынша:

1. Суу қайнатқыш Д ға шама менен оның 3/4 бөліміндей суу қуйылып, ол резина шланг жәрдемінде Е түтікше менен тутастырылады хәм түтікше А таянышқа беккемленеди.

2. Түтікшениң А таянышқа бекитилген орнынан баслап екінші ушына шекем болған ұзынлық линейка жәрдемінде 0,5 мм дәллікке шекем өлшеп алынады.

3. Термометрлердің сынаплы ушлары түтікше ишине жайластырылады, олардың көрсеткен T_1 хәм T_2 температураларының шамаларын жазып алынады хәм $t_1 = (T_1 + T_2)/2$ температурасының шамасы есапланады.

4. Суу қайнатқышты Н электр плиткасы үстине жайластырылады хәм ол электр тармағына жалғанады. Буннан кейін индикатордың барабанын айландырып, шкала «О» ге келтириледі. Буннан кейін құрылманы қозғауға рухсат етилмейді.

5. Суу қайнатқыштан К ыдысқа пуу келе баслағаннан кейін 10—15 минут күтиледі. Буннан кейін термометрлердің көрсетиуін T_1' хәм T_2' шамаларының мәніслери жазып алынады. Буннан кейін температура $t_2 = \frac{1}{2}(T_1' + T_2')$ шамасының мәніси хәм индикатордың көрсетиулері жәрдемінде Δl мәніси есапланады.

6. Бул тәжірийбени кемінде үш рет тәкирарлап, l_1 , t_1 , t_2 хәм Δl мәніслери тийкарында (8)-формула жәрдемінде сызықлы көлемге кеңейіу коэффициентлери есапланады. Экспериментлерде алынған хәм есапланған нәтижелер 1-кестеге жазылады:

1-кесте

№	l_1 , м	t_1 , К	t_2 , К	Δl , м	α , К ⁻¹	$\bar{\alpha}$, К ⁻¹	α_p , К ⁻¹	$\bar{\alpha}_p$, К ⁻¹
1								
2								
3								
...								

2-дүзилис бойынша:

1. Эксперименталлық дүзилис құрамындағы пробиркалардың ярымына шекем суу менен толтырылып, олардың хәр бирінде изертленетуғын стерженлер бир бирден жайластырылады.

2. Стерженлердің сфералық тәрәпин пробирканың төменги ултанына жайластырылуы керек.

3. Эксперименталлық дүзилистің жер менен жалғаныуы шәрт.

4. Дүзилистің штепселли вилкасы электр тармағына жалғанады.

5. Айланбалы кронштейнге индикатор орнатылады.

6. Пробиркалардың биреуіндегі суың температурасы лаборатория термометрі жәрдеминде өлшенеді.

7. Изертленетұғын стерженлі пробирка резиналы прокладка хәм қақпақтағы саңлақ арқалы қыздырғышқа киргизиледи.

8. Индикатор стержени жоқарыға пробиркадағы стерженнің ойық ушына жайластырылады.

9. Стерженлердің ұзынлықларының өзгерислери индикатордың көрсетиуі бойынша анықланады (биринши тәжірийбеде оны нолге қойып алыу керек).

10. Буннан кейин эксперименталлық дүзиліс электр тоғы дерегине жалғанады. Буны индикатордың лампының жаныуынан билиуге болады.

Пробиркадағы су қайнағанда ондағы стерженнің температурасы суың қайнау температурасы менен теңлеседі. Ұзынлықтың қанша шамаға артқанлығы индикатор жәрдеминде өлшенеді. Тәжірийбени тәкірарлау ямаса дауам етиу ушын әсбап электр тоғы дерегинен уақытша ажыратылады, индикатор және шетке ысырып қойылады. Қызған пробирка басқа, еле пайдаланылмаған пробирка менен алмастырылады. Басқа үлгілер ушын да 5-10 пунктлерде келтирилген операциялар тәкірарланады. Бул усылда да басланғыш ұзынлықты (l_1), температура t_1 шамасын, ұзынлықтың өсимін (Δl) хәм ақырғы температураны (суың қайнау температурасын t_2 арқалы белгілеп (8)-формула жәрдеминде α_p шамасының мәнісі есапланады. Алынған нәтижелер кестеге түсіриледі.

Хәр бир усыл ушын салыстырмалы хәм абсолют қәтеликлер есапланады.

Жұмысты орынлау хәм тапсыруу ушын сораулар

1. Қатты денелердің кристаллық структурасы хәм физикалық қәсіетлери хаққында айтып бериңіз. Кристаллық структура менен физикалық қәсіетлер арасындағы байланыс хаққында нелерди билесіз?

2. Қатты денелердегі атомлар ямаса молекулалар арасындағы байланыстардың типлери хаққында нелерди билесіз? Металлық байланыс қалайынша жүзеге келеді?

3. Қатты денелердің сызықты хәм көлемге кеңейіуінің себеплерін түсіндириңіз.

4. Кристаллардағы структуралық дефектлер нелерден ибарат?

5. Биринши үскененің дүзилісін хәм жұмыстың орынланыу тәртіплерін айтып бериңіз.

6. Екинши үскененің дүзилісін хәм жұмыстың орынланыу тәртіплерін айтып бериңіз.

4-санлы лабораториялық жұмыс

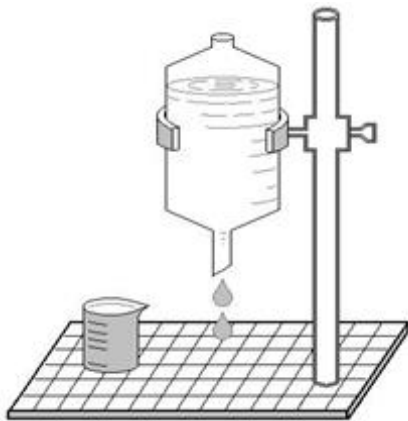
Сұйықтың бет керіу коэффициентін тамшының үзіліу ұзылы бойынша анықтау

Керекті әбәпәр хәм үскенелер: жиңишке түтикше (кран менен тәмийинленген), ишинде сұйықтығы бар ыдыс, стакан, майда гир таслары бар тәрези.

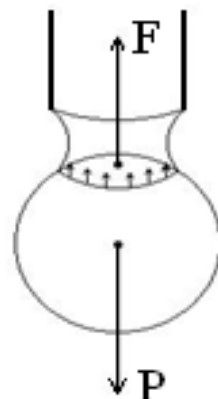
Бет керіу күши сұйықтың молекулаларының өз-ара тартылысуы нәтийжесинде пайда болады. Сонлықтан бет керіу күши сұйықтың бетин қәлеген ықтыярлы сызық бойынша екиге ажыратыу ұшын керек болған күш. Бул күштиң шамасы, сұйықтың бетине жүргизилген сол ықтыярлы сызықтың ұзынлығына пропорционал, яғный $F \sim l$. Буннан теңлик белгисине өтсек

$$F = \alpha l \quad (1)$$

аңлатпасын аламыз. Бул аңлатпада α арқалы пропорционаллық коэффициенті белгиленген хәм бул коэффициентти бет керіу коэффициенті деп атайды. Ол сан жағынан сұйықтың бетиндеги бирлик ұзынлыққа сәйкес келетуғын күшке тең. Сұйықтың бет керіу коэффициентін сұйықтың тамшысының жиңишке түтикшеден үзилип түсиу тәжірийбесинен анықтауға болады.



1-сұйрет.



2-сұйрет.

Мейли тамшы жиңишке түтикшеден үзилип түседі дейик (1-сұйрет). Түтикше ұшындағы тамшыға еки күш тәсир ететуғынлығы мәлим. 1) Тамшының үзіліу майданының периметри бойынша жоқары қарай бағытланған бет керіу күши, 2) төмен қарай бағытланған тамшының салмақ күши.

Егер биз шийше түтикше арқалы (2-сұйрет) сұйықтың тамшылауына мумкиншилик берсек, онда тамшының салмағы болған P ны ұслап турыушы бет керіу күши F ке тең ямаса F тен үлкен болғанда тамшы түтикшеден үзилип түседі. Демек тамшының түтикшеден үзилип түсиу шәрти $P \geq F$ шәртинің орынланыуы керек. Егер тамшының үзіліу моментіндеги мойнының радиусын r арқалы белгилесек, онда оның мойнының периметри

$$l = 2\pi r$$

шамасына тең болады. Буны (1)-формулаға қойып хәм жоқарыдағы шәртке муўапық

$$p = F = \alpha \cdot 2\pi r$$

түринде жазыўға болады. Буннан суйықлықтың бет керий коэффициенти ушын

$$\alpha = p/2\pi r \quad (2)$$

формуласын аламыз.

Бул аңлатпадағы тамшының салмағы p ны тәжирийбеде аңсат анықлаўға болады. Бирақ тамшының үзилий моментиндеги мойнының радиусын анықлаў қыйын. Сонлықтан суйықлықтың бет керий коэффициенти α_x шамасын анықлаў ушын бет керий коэффициенти α_0 белгили болған екинши бир суйықлықтан пайдаланылады. Биз қарап атырған суйықлық ушын (2) ны төмендегише жазамыз

$$\alpha_x = p_x/2\pi r. \quad (3)$$

Ал белгили суйықлық ушын (2)-аңлатпаны

$$\alpha_0 = p_0/2\pi r \quad (4)$$

түринде жазамыз. Онда (3)- хәм (4)-аңлатпаларды пайдаланып

$$\alpha_x = (p_x/p_0) \cdot \alpha_0 \quad (5)$$

формуласына ийе боламыз.

Жумыстың орынланыў тәртиби

2-сүўретте көрсетилгендей өз-ара бирдей еки пробирка алынады. Булардың биреўине бет керий коэффициенти белгили болған суў қуйылады, ал екиншисине изертленетуғын суйықлық (глицерин) қуйылады. Таза хәм кептирилген еки ыдыс (стакан) алынады хәм олардың салмақлары тәрезиде өлшенеди.

Ыдыслардың салмақлары сәйкес p_1 хәм p_2 болсын. Кейин пробирка кранын әстелик пенен аша отырып биринши ыдысқа 100-150 тамшы суў ал екиншисине усындай глицерин тамызылады. Бул ишинде суйықлығы бар ыдысларды тағы да тәрезиде өлшеймиз. Бул өлшенген салмақлар p_1' хәм p_2' болсын. Онда $p_1' - p_1 = \Delta p_1$ хәм $p_2' - p_2 = \Delta p_2$ айырмалары биринши хәм екинши ыдыслардағы суўдың хәм глицериннің салмақларына сәйкес келеди. Егер суў

тамшыларының саны n_1 хәм глицериндики n_2 болса, онда олардың хәр бир тамшысының салмағы сәйкес:

$$p_{\text{суў}} = \Delta p_1/n_1, \quad p_{\text{гл}} = \Delta p_2/n_2 \quad (6)$$

түринде жазылады. Бул жағдайда белгисиз суйықлық глицериннің бет керіу коэффициентини (5)-аңлатпаға муўапық төмендегидей болып жазылады:

$$\alpha_{\text{гл}} = (p_{\text{гл}}/p_{\text{суў}}) \cdot \alpha_{\text{суў}}. \quad (7)$$

Бул аңлатпада $p_{\text{гл}}$ хәм $p_{\text{суў}}$ арқалы сәйкес суў хәм глицериннің бир тамшысының салмағы, ал $\alpha_{\text{суў}}$ арқалы суўдың өжире температурадағы бет керіу коэффициентини белгиленген. Оның мәниси физикалық кестелерден алынады хәм 72 Дина/см шамасына тең. Демек (7)-формуладан глицериннің бет керіу коэффициентини анықлаўға болады. Суйықлықтың бет керіу коэффициентиниң шамасының температураға байланыслы екенлиги белгили. Сонлықтан тәжирийбе қандай температурада өткерилсе сол температураның мәниси жазылған болыўы керек.

Тәжирийбени кеминде 5 рет қайталап, алынған нәтийжелер төмендеги кестеге жазылады.

№	$p_{\text{гл}}$	$p_{\text{суў}}$	$\alpha_{\text{суў}}$	$\alpha_{\text{г}}$	$\Delta \alpha_{\text{г}}$	$(\alpha_{\text{г}})_{\text{орт}}$	$(\Delta \alpha/\alpha)_{\text{орт}}$
1							
2							
3							
4							
5							
...							
Орташа							

Жумысты орынлаў хәм тапсырыў ушын сораўлар

1. Жумыстың ислениў тәртиби.
2. Суйықлықтың бет керіу күши қалай пайда болады хәм бағыты қандай?
3. Бет керіу коэффициентини дегенимиз не хәм оның өлшем бирлиги қандай?
4. Глицериннің бет керіу коэффициентини өлшеў ушын бет керіу коэффициентини белгили болған таза суўды алдық. (7)-аңлатпаға муўапық $p_{\text{гл}}/p_{\text{суў}}$ қатнасы 2 ге тең болса, $\alpha_{\text{гл}}$ шамасының $\alpha_{\text{суў}}$ шамасынан 2 есе үлкен болатуғыны көринип тур. Не ушын сондай?
5. Егер суйықлықты жабық ыдысқа қуйып оның үстиндеги пуўдың тығызлығын арттырсақ, оның бет керіу коэффициентиниң шамасы өзгере ме?

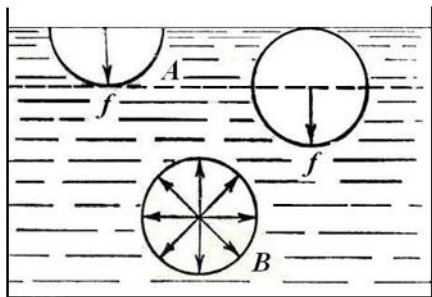
5-санлы лабораториялық жұмыс

Сұйықтың бет керіу коэффициентін сақынның сұйықты бетінен үзіліу ұсылы жәрдемінде анықлау

Керекли әсбаплар: 1) динамометр, 2) штангенциркуль, 3) металл сақын, 4) изертленетуғын сұйықты қуылған ыдыс.

Теориялық көрсетпелер. Бет керіу күші сұйықты молекулаларының өз-ара тартылысуы нәтижесінде пайда болады. Сонлықтан бет керіу күші сұйықтың бетін қалеген ықтырлы сызық бойынша екиге ажыратуы ұшын керек болған күш. 1-сұретте көрсетілген сұйықтың ишинде жайласқан В хәм оның бетінде жайласқан А молекулаларын алып қарайық (молекулалар сұретте жүдә үлкейтип көрсетілген). В молекуласы тек ғана сұйықты молекулалары менен тәсирлесетуғын болғанлықтан барлық бағыттағы тәсир етиуши күшлер өз-ара тең. Буннан молекулаға тәсир етиуши күшлердің қосындысы нольге тең болады.

Сұйықты бетінде жайласқан А молекулаға бириншиден, сұйықтың ишки тәрeпиндеги молекулалар тәсир жасайтуғын болса, екншиден сұйықтың үстиндеги газ (сұйықты пуының) молекулалары тәсир жасайды. Газ молекулалары сийрек болғанлықтан А молекулаға жоқары қарай тәсир етип атырған күшке салыстырғанда, төмен (сұйықты ишине) қарай тәсир етип атырған күштің шамасы артық болады. Нәтижеде сұйықты бетіндеги молекулаларға ишке қарай бағытланған жуымақлаушы күш тәсир жасайды хәм сұйықты өзинің бетинің майданын киширейтиуге хәрекет етеди. Буның салдарынан сұйықтың бети хауа шарының бети сыяқлы көтерилген халда болады (бул жуқпайтуғын сұйықтықлар жағдайында орын алады).



1-сұрет.

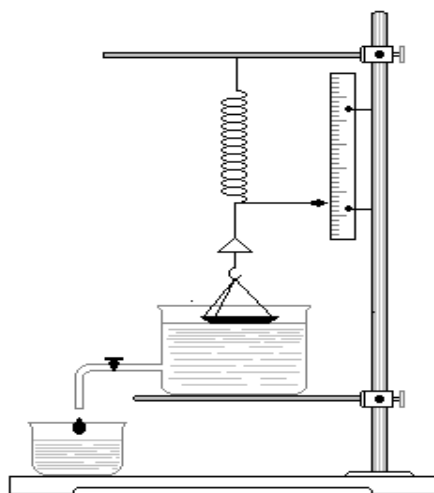
Сұйықтың бетінде жайласқан А хәм сұйықтың ишинде жайласқан В молекулаларына сұйықты тәрeпинен тәсир ететуғын күштің мәнісін тусиндириуге арналған схема.

Сұйықты бетінде жайласқан молекулалар сұйықты ишиндеги молекулаларға салыстырғанда артықша энергияға ийе болады. Бул энергияны беттің еркин энергиясы ямаса еркин энергия деп атаймыз.

Сұйықтың бир бирлик бетине (1 м^2 майданға) сәйкес келетуғын еркин энергияны бет керіу коэффициенті деп атайды хәм

$$\alpha = W/S \quad (1)$$

түрінде анықланады. (1)-формулада W арқалы еркін энергия, ал S арқалы сұйықтың бетінің майданы белгіленген. (1)-формулада бет кериу коэффициенті Дж/м² бірлігінде өлшенеді.



2-сұурет.
Сұйықтың бет кериу
коэффициентін анықлау үшін
арналған дүзилистің ұлыұмалық
көриниси.

Екиншиден, бет кериу күши сұйықтың бетін қалеген ықтыярлы сызық бойынша екиге ажыратыу үшін керек болған күш. Сонлықтан сұйықтың бет кериу коэффициенті сұйықтың бетінде жүргизилген ықтыярлы сызықтың бир бирлик ұзынлығына тәсир етиуши күш пенен характерленеди (Сұйықтың бет кериу коэффициентін тамшының үзилиу ұсылы бойынша анықлау деген жұмыстың тәрийиплемесине қараңыз) хәм төмендеги формуланың жәрдемінде анықланады:

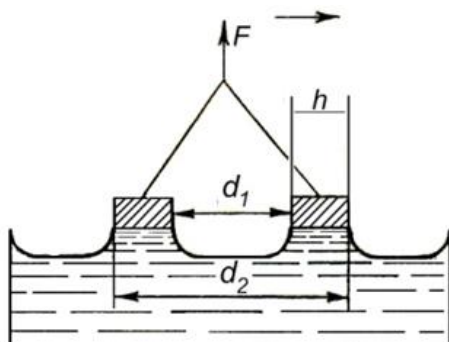
$$\alpha = F/L. \quad (2)$$

Бул жағдайда бет кериу коэффициенті Н/м бірлігінде өлшенеди. Бет кериу коэффициентінің шамасы сұйықтың тәбиятына, тазалығына хәм температурасына, тығызлығына байланысly болады.

Сұйықтың бет кериу коэффициентін хәр қыйлы жоллар менен анықлауға болады.

Биз бул жұмыста бет кериу коэффициентін анықлау үшін алюминийден исленген сақыйнаның сұйықтың бетінен үзилиу ұсылынан пайдаланамыз.

Жұмыстың тийкарғы мазмұны жуқа металл сақыйнаны сұйықтың бетінен үзип алу үшін керек болған күшті өлшеуден ибарат.



3-сұурет.
Сақыйнаны беттен үзип алу үшін
зәрүрли болған күштің шамасын
есаплау үшін арналған схема.

Тәжірийбени өткеріу схемасы 2-сұўретте көрсетилген. Пружиналы динамометрдиң ушына алюминий сақыйна илдириледі. Егер биз сақыйнаның төменги бетин суйықлық бетине тийгизсек, сақыйна менен алюминий арасындағы тәсирлесиу күшлериниң бар болыу себебинен сақыйна суйықлық бетине жабысқандай болады. Сонлықтан 3-сұўретте көрсетилгендей сақыйнаны беттен үзип алыу ушын қандай да F күшин жумсау талап етиледі. Сақыйна суйықлық бетинен диаметрлери d_1 хәм d_2 болған еки шеңбер сызығы бойынша үзиледи. Бул аңлатпадағы d_1 хәм d_2 арқалы сақыйнаның ишки хәм сыртқы диаметрлери белгиленген. Онда улыўма үзилиу сызығының узынлығы

$$L = \pi d_1 + \pi d_2 \quad (3)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Егер сақыйнаның қалыңлығын h арқалы белгилесек, онда $d_1 = d_2 - 2h$. Буны (3)-теңликке қойып

$$L = 2\pi(d_2 - h) \quad (4)$$

шамасын есаплаймыз. Бизиң жағдайымыз ушын (2)-формула төмендегидей түрде жазылады

$$\alpha = F/L. \quad (5)$$

(4)-теңликтен пайдаланып суйықлықтың бет керіу коэффициентин есаплау формуласының

$$\alpha = F/[2\pi(d_2 - h)] \quad (6)$$

түрине ийе болатуғынлығын көремиз.

Жумыстың ислениу тәртиби

Таза хәм қурғақ сақыйнаны өз еркине қойып динамометр стрелкасының көрсетиуін жазып аламыз. Бул сақыйнаның өзиниң салмақ күши болады. Бул күшти F_1 арқалы белгилейди. Буннан кейин суу қуйылған ыдысты жоқары көтеріу арқалы сақыйнаның ултанын суйықлыққа батырамыз. Суйықлықтың ыдыстағы қәддин төменлетиу ушын ыдыстың кранын әстелик пенен ашып суйықлықтың бир бөлимін екинши бир стаканға әстелик пенен ағыза баслаймыз. Усының менен бир уақытта динамометр стрелкасының төмен қарай жылысыуын дыққат пенен бақлап барамыз. Ыдыстағы суйықлықтың қәдди бир қанша төменлегенде сақыйна суйықлықтан үзиледи. Усы үзилиу моментине сәйкес келетуғын динамометр стрелкасының көрсетиуін жазып аламыз. Бул шаманың муғдарын F_2 арқалы белгилеймиз. Онда сақыйнаны суйықлық бетинен үзиу ушын керек болған күштиң мәниси

$$F = F_2 - F_1$$

теңлигинен анықланады. Бул күшти (6)-формулаға қойып α шамасын анықлаймыз. Есаплаулар ушын зәрүрли болған d_2 хәм h шамалары штангенциркуль жәрдемінде өлшенеди. Тәжірийбе кемінде 5 рет өткериледи. Алынған нәтийжелер төмендеги кестеге жазылады:

№	d_2 , метр	h , метр	F , Ньютон	α , Н/м	$\Delta\alpha$, Н/м	$(\Delta\alpha/\alpha_{\text{орт}}) \cdot 100 \%$
1						
2						
3						
4						
5						
Орташа						

Жумысты ислеу хәм тапсырыу ушын сораулар

1. Жумыстың ислениу тәртиби қандай?
2. Суйықлық бет керіу күшиниң физикалық мәнисин түсиндириңиз.
3. Суйықлықтың бети не ушын еркин энергияға ийе?
4. Суйықлықтың бет керіу коэффициенти дегенимиз не хәм оның өлшем бирликлери қандай?
5. Не ушын сууды себелегенде ямаса жерге қуйғанымызда оның бөлекшелери шар (тамшы) формасын қабыл етеди.
6. Диаметри 2 мм болған суйықлық тамшысы еки есе үлкейеди дейик ($d = 0,06$ Н/м). Исленген жумыстың физикалық мәнисин түсиндириңиз хәм сан мәнисин табыңыз.

6-санлы лабораториялық жумыс

Суйықлықтың ишки сүйкелис коэффициентин Стокс усылы менен анықлау

Керекли әсбаплар: 1) суйықлық толтырылған цилиндр, 2) металдан соғылған кишкене шариклер (метал шариклер), 3) секундомер, 4) сызғыш, 5) микроскоп, 6) пинцет.

Жумыстың мақсети: Жабысқақ суйықлықта кишкене металл шарлардың еркин түсиуин изертлеу арқалы суйықлықтың жабысқақлық коэффициентиниң мәнисин тәжірийбеде анықлау.

Қалеген суйықлық жабысқақлық қәсийетине ийе. Бул қәсийет суйықлықтың қурамы менен молекулалық дүзилисине байланысly. Денени суйықлыққа батырып алсақ усы денениң бетинде суйықлықтың жуқа қатламы пайда болады, бул қатлам суйықлық пенен бирге қозғалады. Егер дене суйықлықтың ишинде қозғалатуғын болса бетке жабысқан суйықлықтың қатламы менен қозғалмай турған суйықлықтың усы қатламға тийип турған жуқа қатламы арасында сүйкелис күши пайда болады. Егер кишкене металл

шар сұйықтықтың ишінде хеш қандай ийримлер пайда етпей тұрақты тезлик пенен еркин түссе Стокс нызамына муўапық шарикке сүйкелістің салдарынан базы бир күш тәсир етеди. Бундай күштиң шамасы

$$F = 6\pi\eta r v$$

формуласының жәрдемінде есапланады. Бул аңлатпада v арқалы шардың тезлиги, r арқалы шардың радиусы, η арқалы сұйықтықтың жабысқақтық коэффициенті белгиленген. Егер биз F , v , r шамаларын анықласақ сұйықтықтың ишки сүйкеліс коэффициентінің мәнісін тәжірийбеде анықлай аламыз.

Жоқарыда гәп етилген сұйықтықтың бир бирине тийип тұрған еки қатламы арасындағы күштиң мәнісі беттің майданына, қатламлардың салыстырмалы тезлигине, сұйықтықтың өзіннің қәсийетлеріне, оның температурасына байланысly болады.

Сұйықтықтың берілген температурадағы ишки сүйкеліс коэффициенті сан жағынан қатламлардың тезликлерінің айырмасы бир бирлікке тең болғанда майдан бирлигине тәсир етіуші күшке тең.

Сұйықтық ишінде радиусы r болған шарик төмен қарай тұрақты тезлик пенен еркин түскенде оған төмендегидей үш түрлі күш тәсир жасайды:

1. Шариктің салмақ күші p бул төмен қарай бағытланған хәм

$$p = m_{sh} \cdot g = \rho_{sh} g V_{sh} = \frac{4}{3} \pi r_{sh}^3 \rho_{sh} g \quad (1)$$

шамасына тең болады. Бул аңлатпадағы g еркин түсіу тезлениуі, m_{sh} , ρ_{sh} , $V_{sh} = (4/3)\pi r_{sh}^3$ хәм r_{sh} арқалы шариктің сәйкес массасы, тығызлығы, көлеми хәм радиусы белгиленген.

2. Жоқарыға (вертикаль бағытланған) қарай бағытланған Архимед күші (көтеріу күші) F_A хәм бул күштиң шамасы анықлама бойынша шарик тәрепинен қысып шығарылған сұйықтықтың салмағына тең:

$$F_A = m_c g = \rho_c g V_c = \frac{4}{3} \pi r_{sh}^3 \rho_c g. \quad (2)$$

Қысып шығарылған сұйықтықтың көлеми шариктің көлеміне тең болғанлықтан жоқарыдағы аңлатпада $V_c = (4/3) \pi r_{sh}^3$ шамасына тең деп алынды, ал ρ_c арқалы сұйықтықтың тығызлығын, m_c арқалы көлеми шариктің көлеміне тең сұйықтықтың массасын белгиледик.

3. Егер шарик төмен қарай v_{sh} тезлиги пенен қозғалатуғын болса, онда усы тезликке қарама-қарсы бағытта сұйықтық тәрепинен F күші қарсылық жасайды. Бул күштиң шамасы шариктің радиусына, тезлигине туўры пропорционал:

$$F_{сүйк} = 6\pi\eta r_{sh} v_{sh}. \quad (3)$$

Бул аңлатпада η арқалы сұйықтың ишки сүйкеліс коэффициенті белгіленген. Биз шарик сұйықтық ишінде қозғалғанда сүйкелісті шарик пенен сұйықтық арасындағы емес, ал шарик бетіне жабысқан сұйықтық қатламы менен сұйықтық арасындағы сүйкеліс күші деп түсиніу керек екенлігін атап өтемиз.

Егер тәжірийбеде F_A , r_{sh} хәм v_{sh} шамалары анықланған болса, онда ишки сүйкеліс коэффициенті η ның мәнісін аңсат есаплауға болады.

Үш күштің тәсірінде шариктің қозғалыс теңлемесі Ньютонның екінші нызамына мұапық

$$p - F_A - F_{c_{\text{сүйк}}} = m_{sh}a \quad (4)$$

түрінде жазылады.

Ҳақыйқатында да дәсле, яғный шарикті сұйықтыққа түсірген моментте ол тезлениу менен қозғалады. Шариктің тезлігі уақыттың өтиуі менен артады. (3)-формулаға мұапық v_{sh} шамасының артыуы менен сұйықтықтың қозғалыушы денеге қарсылық күші де артады. Нәтийжеде, тезліктің қандай да бир мәнісінде жоқары қарай бағытланған F_A хәм $F_{c_{\text{сүйк}}}$ күшлердің қосындысы төмен қарай бағытланған p күштің шамасына (салмақ күшінің шамасына) теңлеседи. Мине усы моменттен баслап шарикке тәсір етиуші күшлердің векторлық қосындысы (тең тәсір етиушиси) нольге тең болады ($p - F_A - F_{c_{\text{сүйк}}} = m_{sh}a = 0$), демек $a = 0$ хәм $v_{sh} = \text{const}$ болады деген сөз.

Шарикті глицеринде төменге қарай 6-8 см аралықты өткеннен кейін тең өлшеулі (турақты тезлік пенен) қозғала баслайды. Бундай жағдай ушын (4)-теңлікті

$$p - F_A - F_{c_{\text{сүйк}}} = 0$$

аңлатпасы түрінде жазыуға болады.

Бул теңлікте (1)-, (2)- хәм (3)-формулалардан сәйкес мәніслерді қойып төмендегі аңлатпаны жазамыз

$$\rho_{sh}g(4/3)\pi r_{sh}^3 - \rho_cg(4/3)\pi r_{sh}^3 - 6\pi\eta r_{sh}v_{sh} = 0$$

ямаса

$$\rho_{sh}g(4/3)r_{sh}^2 - \rho_cg(4/3)r_{sh}^2 - 6\pi\eta v_{sh} = 0$$

Бул аңлатпадан сұйықтың ишки сүйкеліс коэффициентін табамыз:

$$\eta = \frac{Vg(\rho_{sh}-\rho_c)}{6\pi r v_{sh}} = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho_{sh}-\rho_c}{v_{sh}}.$$

Бул теңлікте $r_{sh} = d_{sh}/2$ (яғный шариктің диаметрі d_{sh} радиустан еки есе үлкен). Соның менен бирге $v_{sh} = l/t$ (l арқалы шарик турақты тезлік пенен қозғалатуғын аралықтың узынлығы белгіленген. Ал t болса сол аралық арқалы шарик өтетуғын уақыт). Сонлықтан

$$\eta = \frac{g(\rho_{sh} - \rho_c)d^2 t}{18 l}$$

формуласына ийе боламыз.

Шариктің қозғалысына сұйықтық тәрепинен болатуғын қарсылықты есаплаушы (3)-формула радиусы шексіз үлкен ыдыс ушын орынлы. Ал реал жағдайда ыдыстың ишки радиусы R болған вертикаль бағытта қойылған цилиндр болып табылады. Онда (4)-формулаға сәйкес дүзетіу жасауымыз керек. Есаплаулар хәм тәжірийбелердің жуумақлары бойынша, бул дүзетіуді есапқа алған жағдайда (4)-формула төмендегидей түрге ийе болады

$$\eta = \frac{g(\rho_{sh} - \rho_c)d^2 t}{18 l \left(1 + 1,2 \frac{d}{R}\right)}. \quad (5)$$

Шариктің радиусы r_{sh} өлшеу микроскопының жәрдемінде жоқары дәллікте өлшенеди. Ишине сұйықтық куйылған цилиндр ыдыстың радиусы R , шарик турақлы тезлик пенен қозғалатуғын областтың узынлығы l әдеттеги сызғыштың, ал уақыт t ның шамасы секундомердің жәрдемінде өлшенеди. Солай етип (5)-формуладағы шамалар белгили болған жағдайда сұйықтықтың ишки сүйкеліс коэффициенті η ның мәнісин анықлай алады екенбіз.

Жұмысты орындау тәртіби

Ишине глицерин толтырылған цилиндр формасындағы шийше ыдыс берілген хәм оған еки жиңишке сақыйна кийгизілген (1-сұйрет). Сақыйналардың жоқарғысы қозғалатуғын етап исленеди, ал төмендеги сақыйна қозғалмайды. Өлшеулер радиустары кемінде үш түрли r_1 , r_2 хәм r_3 радиустарына ийе болған шариклер ушын өткериледи.

Жоқарғы қозғалмалы сақыйнаны сұйықтық бетинен шама менен 6-8 см аралықта төменде жайластырамыз (усындай аралықты өтемен дегенше шариктің тезлиги турақлы мәніске ийе болады). Шариктің қәлеген биреуін (айтайық r_1 радиусты) алып сұйықтық бетине түсиреміз. Шарик жоқарғы сақыйнаның тусына жетип келгенде секундомерди иске қосамыз хәм төменги сақыйнаның тусына келгенде секундомерди тоқтатамыз. Усы операция жәрдемінде биз шариктің еки сақыйна аралығы L ди өтиу уақты t ны анықлаймыз. Бундай жағдайда шариктің тезлиги

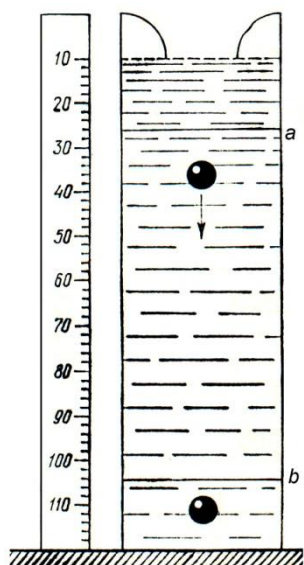
$$v_{sh} = L/t$$

формуласы жәрдемінде анықланады.

Тәжірийбе усы берілген L аралық хәм r радиусты шарик ушын 3 рет қайталанады. Усы 3 рет өлшеуден табылған v_{sh} ның орташа мәнісин (5)-формулаға қойып сұйықтықтың ишки сүйкеліс коэффициенті η есапланады. Кейин жоқарғы сақыйна сұйықтық бетинен шама менен 8-10 см аралыққа түсирилип, усы r радиусты шарик ушын тағы да 3 рет өлшеу жүргизип η шамасын анықлаймыз. Жұмыстың соңында жоқарғы сақыйнаны сұйықтық бетинен шама менен 10-12 см аралыққа түсирип, усы r радиусты шарик ушын 3 рет өлшеу жүргизип η шамасын анықлаймыз.

Жоқарыда айтылған 9 рет өлшеу басқа да мәніслерге ийе болған L хәм r радиуслы шариклер ушын да қайталанады. Өлшеулердің жуымақтары кестеге жазылады.

Ишки сүйкеліс коэффициентінің температураға байланысly екенлігі белгілі. Сонлықтан жұмысты орынлағанда сұйықтың температурасының шамасының көрсетілуі мақсетке муыапық келеді. Лабораториялық жұмысты орынлау ушын керек болған физикалық шамаларды физикалық кестелерден алыу ұсынылады.



1-сұрет.

Стокс методы жәрдеминде сұйықтың ишки сүйкеліс коэффициентін анықтау ушын қолланылатуғын дүзилістің схемасы. a хәм b арқалы цилиндр тәрізлі ыдыста белгілеп алынған бийікліклер (сақыйналар) белгіленген. Бул бийікліклер арасындағы қашықтық L арқалы белгіленді.

Шариктің диаметрі $\pm 0,01$ мм дәллікте өлшенеді. Нәтижелер төменде келтірілген кестеге түсіріледі.

№	r_{sh} , см	L , см	t , сек	v_{sh} , см/с	ρ_{sh} , гр/см ³	ρ_c , гр/см ³	η , пуаз	$\Delta\eta$	$\Delta\eta/\eta_{ort}$, 100%
1.									
2.									
3.									
1.									
2.									
3.									
1.									
2.									
3.									

Жұмысты іслеу хәм тапсыруы ушын сораулар:

1. Ламинарлық хәм турбулентлік ағыстар дегеніміз не?
2. Сұйықтың ишки сүйкеліс коэффициенті дегеніміз не?
3. Не ушын жоқарғы сақыйнаны сұйықтық бетинен кемінде 6-8 см аралықта қойу талап етіледі?

7-санлы лабораториялық жұмыс

Электрокалориметр жәрдеминде сұйықтың салыстырмалы жыллылық сыйымлығын анықтау

Керекті әсбаптар: Бірдей екі калориметр, изолятор пластинкаға бекитілген, өз-ара ізбе-із тұтастырылған бірдей екі спираль, изертленетұғын сұйықтық, дистилляцияланған су, екі термометр.

Молекулалық кинетикалық теорияға тийкарланып идеал газдің жыллылық сыйымлығы үшін келтирилип шығарылған нызамлар сұйықтықтар үшін орынланбайды. Себебі сұйықтықтың ишки энергиясы тек қозғалыстағы бөлекшелердің кинетикалық энергиясы менен анықланып қалмай, ал ондағы бөлекшелердің өз-ара тәсирлесіудеги потенциал энергиясын да өз ишине алады. Сұйықтықтардың жыллылық сыйымлығы температураға да байланысly болады. Дерлік барлық сұйықтықтардың жыллылық сыйымлығы температураның жоқарылауы менен артады.

Қәлеген затты қыздыруу үшін керек болған жыллылық муғдары бириншиден усы заттың массасына байланысly, екиншиден усы затты неше градусқа қыздырууға байланысly. Мысалы 1 кг затты 10°C дан 20°C ға шекем қыздыруу үшін Q шамасындағы жыллылық керек болса, ал 5 кг зат үшін $5Q$ муғдарындағы жыллылық талап етиледі. Демек денедеги жыллылық муғдары оның массасына тууры пропорционал деген сөз, яғный $Q \sim m$.

Жоқарыда айтылғанлар менен бир қатарда денени қыздыруу үшін керек болған жыллылық муғдары дәслепки хәм ақырғы температуралар айырмасына тууры пропорционал. Яғный берілген затты $t_1 = 10^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 20^\circ\text{C}$ ға қыздыруу үшін Q шамасындағы жыллылық керек болса, ал $t_1 = 10^\circ\text{C}$ дан $t_3 = 30^\circ\text{C}$ ға қыздыруу үшін $2Q$ муғдарындағы жыллылық керек болады. Бул жағдай төмендегише жазылады

$$Q \sim m(t_2 - t_1).$$

Пропорционаллық белгиден теңлик белгисине өтсек

$$Q = cm(t_2 - t_1) \quad (1)$$

аңлатпасын аламыз. Бул аңлатпадағы пропорционаллық коэффициент c берілген заттың салыстырмалы жыллылық сыйымлығы деп аталады хәм оның санлық мәнисі усы заттың қәсийетине байланысly болады. (1)-теңдиктен

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

аңдатпасын аламыз. Егер берілген заттың массасы 1 кг болса және оны 1 градусқа қыздырсақ (яғни $t_2 - t_1 = 1^\circ\text{C}$ болса), онда $c = Q$ теңлігіне ийе боламыз.

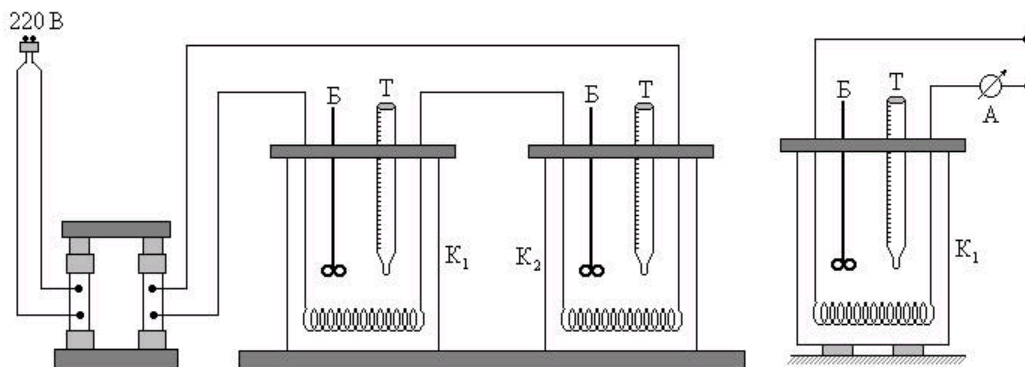
Демек берілген заттың салыстырмалы жыллылық сыйымлығы деп усы заттың 1 кг массасын 1°C шамасына қыздыру үшін керек болған жыллылық мұғдарына айтады екенбіз. Хәр бир зат (газ, сұйықлық, қатты дене түріндеги қәлеген зат) өзиниң салыстырмалы жыллылық сыйымлығына ийе.

Сұйықлықтың салыстырмалы жыллылық сыйымлығын электрокалориметр жәрдеминде аңсат анықлауға болады. Оның схема түріндеги көриниси 1-сүүретте берилген. Изертленетуғын сұйықлық толтырылған К калориметриниң ишине белгили электрлик қарсылыққа ийе спираль түсирилген. Бунда Т арқалы термометр, ал Б арқалы былғаушы (сұйықлықты араластырып туруышы) белгиленген.

Әдетте былғаушы менен калориметрди алюминийден ислейди. Егер биз спиральды тоқ дерегине тутастырып t уақыт дауаында услап турсақ, онда спиральдан бөлинип шыққан жыллылық мұғдары Джоуль-Ленц нызамына мууапық төмендеги формуланың жәрдеминде анықланады.

$$Q = 0,241 I^2 R T \quad (3)$$

Бул жыллылық төмендегидей үш нәрсени қыздыру үшін жумсалады:



1-сүүрет

1. Массасы m болған сұйықлықты t_1 ден t_2 ге қыздыру үшін оған $cm(t_2 - t_1)$ мұғдардағы жыллылық керек. c арқалы сұйықлықтың салыстырмалы жыллылық сыйымлығы белгиленген.

2. Калориметрдің былғаушы менен бирликтеги массасы m_1 болса, оны t_1 ден t_2 ге қыздыру үшін, оған $c_1 m_1(t_2 - t_1)$ мұғдардағы жыллылық керек. Бул жерде c арқалы калориметр және былғағыштың салыстырмалы жыллылық сыйымлығы белгиленген.

3. Системаны t_1 ден t_2 ге қыздыру барысында жыллылықтың қандай да ΔQ бөлеги сыртқы орталыққа берилип жойылады.

Онда спиральдан бөлинип шыққан толық жыллылық мұғдарын

$$Q = cm(t_2 - t_1) + c_1 m_1(t_2 - t_1) + \Delta Q = (cm + c_1 m_1)(t_2 - t_1) + \Delta Q \quad (4)$$

түрінде жазуға болады.

Бұған (3)-формуладан Q шамасының мәнісін қойып сұйықтың салыстырмалы жыллылық сыйымдылығын анықлау үшін бізге ΔQ белгисіз хәм оны анықлауда тәжірийбе талап етиледі. Бірақ айырым жағдайларда электрокалориметр усылында салыстырмалы жыллылық сыйымдылығын анықлауда ΔQ шамасын билиу талап етилмейді. Бул жағдай төменде баянланған.

Электрлик қарсылықтары бирдей еки спираль өз-ара избе-из тутастырылып сәйкес K_1 хәм K_2 калориметрлерге түсириледи (1-сүүретти қараңыз).

K_1 калориметрде салыстырмалы жыллылық сыйымдылығы c_2 белгилі болған m_2 массалы сұйықтық болсын деп есаплайық. Егер K_1 хәм K_2 калориметрлердің массаларын сәйкес m_1' хәм m_2' , ал салыстырмалы жыллылық сыйымдылығы c_1' деп белгилесек, онда K_1 калориметрдегі сұйықтығы менен бирліктегі дәслепки t_1 температурадан кейінгі t_1' температураға қыздырыу үшін (4)-формулаға мууапық.

$$Q = (c_1 m_1 + c_1' m_1')(t_1' - t_1) + \Delta Q_1 \quad (5)$$

муғдарындағы жыллылық керек болса, ал K_2 калориметрдегі сұйықтығы менен бирліктегі дәслепки t_2 температурадан кейінгі t_2' температураға қыздырыу үшін

$$Q = (c_2 m_2 + c_1' m_2')(t_2' - t_2) + \Delta Q_2 \quad (6)$$

муғдарындағы жыллылық талап етиледі. Бул Q_1 хәм Q_2 жыллылық муғдарлары қыздырғыш спиральдан алынады. Шәртимизге мууапық спиральдың қарсылықтары бирдей хәм олар бир бири менен избе-из тутастырылған. Онда олар арқалы өтетуғын тоқ күши де хәм токтың өтиу уақыты да бирдей болады. Демек (3)-формулаға мууапық $Q_1 = Q_2$ болады. (5) хәм (6)-формуларға тийкарлана отырып

$$Q = (c_1 m_1 + c_1' m_1')(t_1' - t_1) + \Delta Q = (c_2 m_2 + c_1' m_2')(t_2' - t_2) + \Delta Q_2 \quad (7)$$

екенлигине ийе боламыз. Бул аңлатпадағы ΔQ_1 хәм ΔQ_2 сәйкес K_1 хәм K_2 калориметрлерден тәжірийбени өткеріу дауамында жойылатуғын жыллылық муғдарлары болып есапланады.

Тәжірийбениң өткерилиу уақыты еки калориметр ушын да бирдей хәм Егер олардың өлшемлери бирдей болса, $\Delta Q_1 \approx \Delta Q_2$ деп есаплауға болады.

Онда (7)- теңликке мууапық изертленип атырған сұйықтың салыстырмалы жыллылық сыйымдылығы ушын төмендегідей формуланы аламыз:

$$c_2 = \frac{(c_1 m_1 + c_1' m_1')(t_1' - t_1) - c_1' m_2'(t_2' - t_2)}{m_2(t_2' - t_2)}. \quad (8)$$

Жұмыстың орынланыу тәртіби

Дәслеп тәрезиде құрғақ K_1 хәм K_2 калориметрлердің массаларын өлшеп хәм олар сәйкес массаларға ийе болады. Кейин K_2 калориметрге изертленетуғын сұйықлық қуямыз хәм олардың массаларын тәрезиде өлшеймиз. Егер ишинде сұйықлығы бар калориметрлердің массалары M_1 хәм M_2 болса, онда сұйықлықтардың массалары сәйкес

$$m_1 = M_1 - m_1' \text{ хәм } m_2 = M_2 - m_2'$$

шамаларына тең болады.

Ишинде сұйықлықтары бар калориметрлерге спиралларды түсирип олардың дәслепки хәм ақырғы температураларын термометрлер жәрдемінде өлшеймиз. Кейин спиралды тоқ дерегине тутастырып сұйықлықтарды қыздырыу дауамында ишиндеги былғаушылары жәрдемінде үзликсиз түрде былғаймыз. Температуралар дәслепкисинен шама менен $20 - 30^\circ\text{C}$ ға көтерилгенде тоқ дерегинен ажыратамыз хәм кейинги температураларды анықлаймыз.

Калориметрлер хәм олардың былғаушылары алюминийден исленген, онда таза суудың хәм алюминийдің салыстырмалы жыллылық сыйымлылықтары c_1 хәм c_1' белгили, олар кестеден алынады. Онда (8)-формулаға мәнислерин қойып c_2 ни табыуға болады.

Тәжирийбеде изертленетуғын сұйықлық массасын дәслепки хәм ақырғы температураларын өзгерте отырып, кемінде 5 рет қайталансын. Алынған нәтийжелер кестеге жазылсын (массалардың мәнислери граммларла, температуралардың мәнисилери Цельсия шкаласында келтириледі).

№	m_1'	m_2'	m_1	m_2	t_1	t_2	t_1'	t_2'	c_2	Δc_2	$(\Delta c_2/c_2)_{\text{орт}}$
1											
2											
3											
4											
5											
орт											
.											

Жұмысты орынлау хәм тапсыруу үшін сораулар

1. Салыстырмалы жыллылық сыйымлығы дегенимиз не хәм оның өлшем бирлиги қандай?

2. Егер бир калориметрли методтан пайдаланып c_2 ни анықлауда ΔQ ди есапқа алмасақ қандай қәтеге жол қоямыз хәм анықланған сұйықлықтың хақыйқый салыстырмалы жыллылық сыйымлығынан үлкен бе ямаса киши ме?

3. Қандай жағдай да $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$ деп есаплауға болады. Егер тәжирийбе дауамында калориметрлер температуралары өз-ара үлкен температураға парк қылса $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$ теңликке тәсири бола ма?

4. Сизің қолыңызға ишінде m_1 массалы, t_1 градуслы таза суы бар алюминийден исленген m массалы калориметр хәм термометр берілген. Усылар жәрдеминде m_2 массалы, t_2 градуслы температурасы болған белгисиз металлдың салыстырмалы жыллылық сыйымлығын анықлауға бола ма? Қалай хәм қандай формуладан анықланатуғынлығын түсіндириңіз.

8-санлы лабораториялық жумыс

Хаўа молекуласының еркин жолының орташа узынлығын хәм оның эффектив диаметрин анықлау

Керекли әсбаплар: 1) штативке бекитилген жоқарғы жағы кран менен тәмийинленген мензурка, 2) ыдыс (стакан), 3) барометр, 4) термометр, 5) тәрези.

Жумыстың мақсети: хаўа молекуласының еркин жүрий жолының орташа узынлығынын хәм оның эффектив диаметрин экспериментте анықлау.

1. Жумыстың теориялық бөлими. Хаўа тийкарынан азоттан хәм кислородтан турады. Хаўадағы азоттың муғдары шама менен 78 процент, ал кислородтың муғдары шама менен 21 процент шамасында. Хаўаның қурамында басқа да газлер бар (углекислоталы газ, аргон, басқа да инерт газлер). Бирақ олардың муғдары жүдә аз.

Хаўаның қурамы 1-кестеде берілген.

Хаўаның қурамындағы газлер	Белгиси	Көлеми бойынша, %	Массасы бойынша, %
Азот	N ₂	78,084	75,50
Кислород	O ₂	20,9476	23.15
Аргон	Ar	0,934	1,292
Углекислоталы газ	CO ₂	0,0314	0,046
Неон	Ne	0,001818	0,0014
Метан	CH ₄	0,0002	0,000084
Гелий	He	0,000524	0,000073
Криптон	Kr	0,000114	0.003
Водород	H ₂	0,00005	0,00008
Ксенон	Xe	0,0000087	0,00004

Азот пенен кислород молекулаларының сызықлы өлшемлери шама менен $4 \cdot 10^{-8}$ см ге тең. Бундай жағдайда бир молекуланың көлеми жууық түрде 10^{-23} см³ қа тең. Әдеттеги жағдайларда (нормал шәраятларда, яғный $t = 0^\circ\text{C}$, $P = 760$ мм сынап бағанасының басымында) 1см³ көлемдеги хаўа молекулаларының саны $2,7 \cdot 10^{19}$ ға тең. Демек хәр бир молекулаға шама менен $4 \cdot 10^{-18}$ см³ көлем сәйкес келеди. Бир молекуланың көлеми менен хаўадағы бир молекулаға сәйкес келетуғын көлемди салыстырсақ, онда хаўа молекулаларының бир биринен әдеуір қашық жайласатуғынлығына исенемиз. Хақыйқатында да

$4 \cdot 10^{-18} / 10^{-23} = 4 \cdot 10^5$. Бундай киши тығызлықтарда молекулалардың бір бири менен соқлығысыуы сийрек орын алады.

Бир бирине меншикли өлшемлерине теңдей аралықтарға жақынласқанда ғана молекулалар бір бири менен тәсирлесе баслайды. Усы жағдайларға байланысly жолының көпшилик бөлимін молекулалар тууры сызықлы хәм бир текли қозғалыс пенен өтеди. Бир бирине жақынласқанда молекулалардың траекториялары өзгереді хәм тууры сызықлы болмай қалады.

Еки молекула бір бирине жақынласқанда соққыға усаған ийтерисиу күши пайда болады. Усындай соққы күши пайда болатуғын молекулалардың орайлары арасындағы ең минималлық қашықтық молекуланың эффективлик диаметри деп аталады. Еки соқлығысыу арасындағы молекула өтетуғын қашықтықты молекуланың еркин жүриу жолының узынлығы деп атаймыз. Хәр қыйлы молекулалар ушын бул шама хәр қыйлы мәниске ийе болады. Соның менен бирге бир молекула бир соқлығысыудан екинши соқлығысыуға шекем хәр қыйлы аралықтарды өтеди. Сонлықтан молекуланың еркин жүриу жолының узынлығы әдетте үлкен интервалда өзгереді. Бирақ газдың берилген халы ушын бул шаманың орташа мәниси турақлы шама болып табылады. Тәжирийбелерде болса газ молекуласының еркин жүриу жолының орташа мәниси анықланады.

Молекулалардың еркин жүриу жолының узынлығы газ ийелеп турған көлемнің бир бирлигиндеги молекулалар санынан ғәрезли. Соның менен бирге молекуланың өлшемлери қаншама үлкен болса, оның еркин жүриу жолының узынлығы соншама киши болады.

Газдеги молекуланың еркин жүриу жолын хәм сол молекулалардың эффективли диаметрин анықлау ушын санлық мағлыұматларды көшиу қубылыслары (көшиу процесслери) деп аталатуғын қубылысларды изертлеудің нәтийжесінде әмелге асырылады. Бундай қубылыслар қатарына диффузия, жыллылық өткізгишлик, ишки сүйкеліс (жабысқақтық) киреди. Мысалы молекулалық-кинетикалық теорияда газдың жабысқақтық коэффициентинің (ямаса жабысқақтығының) молекулалардың еркин жүриу жолының узынлығы менен төмендегидей байланыстың бар екенлиги көрсетиледи:

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \langle U \rangle. \quad (1)$$

Бул формалада ρ арқалы хаўаның тығызлығы, η арқалы оның жабысқақтығы, $\bar{\lambda}$ арқалы молекуланың еркин жүриу жолы, ал $\langle U \rangle$ арқалы молекулалардың орташа тезлиги белгиленген.

Тәжирийбеде жабысқақтықты хәм молекулалардың орташа тезлигин анықлау арқалы молекулалардың еркин жүриу жолының узынлығын анықлау мүмкин. Хаўаның жабысқақтығын Пуазейль формуласының жәрдемінде анықлауға болады:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta P t}{8 V l}. \quad (2)$$

Бул формуладағы r капиллярдың радиусы, l капиллярдың ұзындығы. t арқалы V көлеміне ийе қауаның капилляр арқалы өтетұғын уақыты белгіленген.

Газ молекуласының орташа тезлігін

$$\langle U \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (3)$$

формуласының жәрдемінде есепләйге болады. Бул аңлатпада M арқалы қауаның молярлық массасы, ал R арқалы универсаллық газ тұрақтысы белгіленген.

Егер қауаны идеал газ деп есепласақ оның тығызлығын Менделеева-Клапейрон теңлемесінің жәрдемінде есепләй мүмкін

$$PV = (m/M)RT. \quad (4)$$

Буннан

$$m/V = \rho = PM/RT$$

аңлатпасына ийе боламыз.

Ең кейінгі аңлатпаны қәм (2)-теңлеміні (1)-формулаға қойсақ

$$\bar{\lambda} = \frac{3\pi r^4 \Delta P \cdot t \sqrt{\pi RT}}{16VlP\sqrt{2M}} \quad (5)$$

формуласына ийе боламыз.

Қауа молекулаларының эффективді диаметрін

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi n D^2} \quad (6)$$

формуласының жәрдемінде есеплей аламыз. Бул формулада n арқалы көлем бірлігіндегі қауа молекулаларының саны, ал D арқалы молекулалардың эффектив диаметрі белгіленген.

Молекулалардың концентрациясы

$$n = n_0 \frac{PT_0}{P_0 T} \quad (7)$$

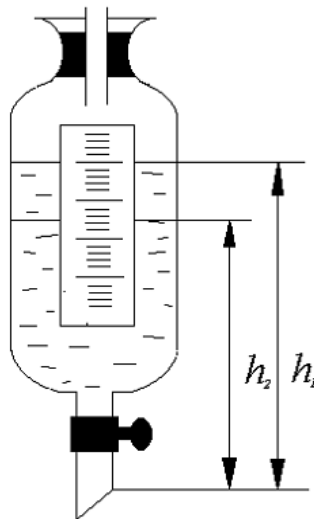
қатнасының жәрдемінде анықланады. Бул аңлатпада P_0 , T_0 , n_0 арқалы әдеттегі шараятлардағы қауа молекулаларының сәйкес басымы, температурасы қәм концентрациясы белгіленген. Ал P менен T болса қоршап тұрған қауаның басымы менен концентрациясы.

(6)- қәм (7)-аңлатпалардан

$$D = \sqrt{\frac{TP_0}{\sqrt{2\pi n_0 P T_0} \bar{\lambda}}} \quad (8)$$

формуласын аламыз.

2. Жұмыстың эксперименталлық бөлімі. 1-сұретте ғауа молекулаларының еркин жүріу жолының орташа узынлығы менен эффективли диаметринің санлық мәнісін анықлауға мүмкіншилик беретуғын эксперименталлық дүзилістің схемасы берілген.



1-сұрет.

Ғауа молекулаларының еркин жүріу жолының орташа узынлығы менен эффективли диаметринің санлық мәнісін анықлауға мүмкіншилик беретуғын эксперименталлық дүзилістің схемасы

Ыдыс $\frac{3}{4}$ бөліміне шекем суу менен толтырылады. Үстинги тәрептен ыдысқа капилляр киргизілген. Егер кранды ашсақ суу ыдыстан дәслеу үзликсиз ағыс пенен, ал кейин тамшылап төгиле баслайды. Кранды ашыудан капилляр арқалы ыдысқа ғауа кире баслайды. Усыған байланыслы капилляр ишинен ғауа ағып өтип атырған найға айланады. Капиллярдың хәр қыйлы ушларындағы ғауаның басымы хәр қыйлы мәніслерге ийе болады (жоқарғы ушында атмосфера басымы, ал төменги ушында басым атмосфера басымынан киши болады).

Капиллярдың төменги ушындағы ғауа басымын анықлау ушын кран арқалы суйықлық тамшылып ағып турғанда мына теңликтің орынланатуғынлығын есапқа аламыз:

$$P_{\text{сыртқы}} + \rho q h = P_{\text{атм}}$$

Бул аңлатпада ыдыстың ишиндеги басым менен h бийикликке ийе бағананың ишиндеги басымлардың қосындысының сыртқы атмосфералық басымға тең екенлиги көрсетілген. Буннан

$$P_{\text{атм}} - P_{\text{сыртқы}} = \rho g h = \Delta P$$

екенлиги келип шығады. Бул аңлатпада g арқалы еркин түсіу тезленийі, ал ρ арқалы суудың тығызлығы белгиленген.

Жоқарыда келтиріген теңлемелерден капиллярдың ушларындағы басымлардың айырмасының суудың бийиклигине байланыссыз сызықты нызам бойынша өзгеретуғынлығы келип шығады. Сонлықтан басымлардың орташа айырмасын алыу керек болады:

$$\Delta P = \rho g(h_1 + h_2)/2. \quad (9)$$

Бул аңлатпада h_1 хәм h_2 арқалы өлшеулердің басындағы хәм өлшеулердің акырындағы ыдыстағы суудың қаддилери белгиленген.

(9)-аңлатпаны (5)-аңлатпаға қойып

$$\bar{\lambda} = \frac{8\pi r^4 \rho (h_1 + h_2) t \sqrt{pRT}}{32 V l P \sqrt{2M}} \quad (10)$$

формуласын аламыз.

Атмосфералық басым

$$P = \rho_1 g h_B$$

шамасына тең. Бул аңлатпада h_B арқалы мм сынап бағанасының басымындағы барометр менен өлшенетуғын басым белгиленген, ρ_1 шамасы болса сынаптың тығызлығына сәйкес келеди.

Ағып өтетугын қауаның көлеми

$$V = \pi D_c^2 (h_1 - h_2) / 4$$

шамасына тең. Бул формулада D_c арқалы ыдыстың диаметри белгиленген.

Қауа молекулаларының еркин жүриу жолының узынлығының орташа мәнисиниң

$$\bar{\lambda} = \frac{12 r^4 (h_1 + h_2) t \sqrt{\pi R T}}{\sqrt{2M} 32 D_c^2 (h_1 - h_2) l \rho_1 h_B} \quad (11)$$

формуласының жәрдемінде анықланатуғынлығы есапқа аламыз хәм бул формуладағы турақлы шамалардың барлығын K_0 арқалы белгилесек, онда

$$\bar{\lambda} = K_0 \frac{\sqrt{T} r^4 (h_1 + h_2) t}{D_c^2 (h_1 - h_2) l h_B} \quad (12)$$

формуласына ийе боламыз. Бул формулада

$$K_0 = \frac{12 \rho \sqrt{\pi R}}{32 \rho_1 \sqrt{2M}}.$$

K_0 шамасының санлық мәниси $K_0 = 0,585 \text{ м}/(\text{с} \cdot \text{К}^{-1})$.

Жұмысты орынлау тәртібі:

1. Дүзилистегі кран ашылады. Ыдыстан суы тамшылып аға бастағаннан секундомерді қосыу керек. Соның менен бірге эксперимент басталған моменттегі ыдыстағы суының қадды h_1 дің мәнісін жазып алыу керек.

2. Ыдыстағы суының қадды 2–3 см ге төменлегенде секундомерді тоқтатыу хәм ыдыстағы суының қадды h_2 ни белгилеп алыу керек.

3. Өлшеулерді кемінде 5 рет қайталау керек. Хәр бир өлшегенде h_1 бийиклігінің шамасын ямаса h_2 бийиклігінің шамасын өзгертип барыу керек. Өлшеулердің нәтижелерін 1-санлы кестеге түсіріу керек.

4. Қоршап турған қауаның температурасын (жоқарыда биз оны T_0 арқалы белгиледик) хәм басымын (биз оны P_0 арқалы белгиледик) өлшеймиз хәм алынған нәтижелерді лаборатория дәптерине жазамыз.

5. Молекуланың еркин жүріу жолының ұзынлығын (12)-формула бойынша есаплаймыз. Сызықты параметрлердің мәнісін сантиметрлерде алыу керек. Капиллярдың радиусы менен ұзынлығы, соның менен бірге ыдыстың диаметрі эксперименталлық дүзилисте жазып қойылған.

6. Еркин жүріу жолының орташа мәнісі анықланады хәм өлшеулерде жиберілген қәтеликлердің шамалары анықланады.

7. Еркин жүріу жолының ұзынлығының мәнісін пайдаланып (8)-формуланың жәрдемінде қауа молекуласының эффективли диаметрі есапланады. Нормал шәраятлардағы қауа молекулаларының концентрациясы болған n_0 шамасын $2,69 \cdot 10^{19}$ 1/см³ шамасына тең деп алыу керек.

8. Орынланған жұмыс бойынша жуумақлар шығарыу керек.

1-санлы кесте

№	h_1	h_2	t	$\bar{\lambda}$, м	$\Delta\bar{\lambda}$, м	$S_{\bar{\lambda}}$, м	$\delta_{\bar{\lambda}}$, м	$\varepsilon_{\bar{\lambda}}$, м	$\bar{\lambda} \pm \delta_{\bar{\lambda}}$, м
1									
2									
3									
...									
Ort.									

Қадағалау сораулары:

1. Молекулалардың еркин жүріу жолының орташа ұзынлығы хәм эффективли диаметрі дегенимиз не?

2. Пуазейль формуласының физикалық мәнісін түсіндириңиз. Бул формула нелерді түсіндиреди?

3. Молекулалардың еркин жүріу жолының орташа ұзынлығы хәм эффективли диаметрі қалай анықланады?

4. Эксперименталлық дүзилистің жұмысын түсіндириңиз.

9-санлы лабораториялық жұмыс

Хаўаның динамикалық жабысқақлық коэффициентін анықлау

Керекли эсбаплар: 1) тәжірийбе өткерилетуғын қурылма, 2) секундомер, 3) көлеми 0,5-1 литр болған ыдыс.

Егер газ ямаса сұйықлық қатламлары бир бирине салыстырғанда хәр қыйлы тезликлер менен қозғалатуғын болса, онда қатламлар арасында ишки сүйкеліс күшлери ямаса жабысқақлық күшлери тәсир етеди. Нәтийжеде қатламлар арасында импульс (қозғалыс муғдары) алмасыуы орын алады хәм ўақыттың өтиўи менен қатламлардың тезликлери теңлеседи. Сонлықтан сұйықлықтың ямаса газдиң қатламларының тезликлери олардың арасында болатуғын жабысқақлық (ямаса сүйкеліс) күшиниң тәсиринде теңлеседи деп айтыўға болады.

Буннан киши тезликке ийе болған қатламды тезлестириўши импульс үлкен тезликке ийе болған қатлам тәрөпинен бериледи, яғный импульстың ағымы қатламлар тезликлериниң кемейиўи бағытында болады деген нәтийже келип шығады.

Импульс ағымы қатламлар тезлигине перпендикуляр хәм оның кемейиў бағытында болады. Буған мысал ретинде (8-санлы жумыстағы 1-сүүретке қараңыз) еки ушына турақлы $P_2 - P_1 = \Delta P = \text{const}$ басымлар айырмасы берилген трубада болатуғын газ қатламларының стационар ағымы көрсетилген. Буннан труба ортасындағы қатлам ең үлкен тезликке ал, труба дийўалына жақынласқан сайын қатламлар тезликлериниң киширейип баратуғынлығы көринип тур хәм импульс ағымы ортадан дийўалға қарай болады.

Жабысқақлық күшиниң шамасын Ньютон формуласының жәрдемінде анықлаўға болады:

$$F = \eta \frac{du}{dn} S.$$

Бул формулада η арқалы ишки сүйкеліс коэффициенти (ямаса динамикалық жабысқақлық коэффициенти), S арқалы бир бирине тийип турған қатламлардың бетиниң майданы, ал du/dn арқалы тезлик градиенти белгиленген. Жоқарыда келтирилген формуладан динамикалық жабысқақлық коэффициенти ушын

$$\eta = \frac{F}{\frac{du}{dn} S}$$

формуласын аламыз. Бул коэффициенттиң санлық мәниси тезлик градиентиниң мәниси бир бирликке тең болғанда бир бирине тийисип турған бир бирлик қатламлар арасындағы тәсир ететуғын ишки сүйкеліс күшине тең.

СГС системасында динамикалық жабысқақлық коэффициентиниң шамасы пуазларда, ал СИ системасында $\text{н} \cdot \text{сек} / \text{м}^2$ бирликлеринде өлшенеди.

Молекулалық-кинетикалық теорияның көз-қараслары бойынша динамикалық жабысқақлық коэффициентиниң санлық мәниси тезлик

градиенти бирге тең болғанда бир бирине тийисип турған бетлердің майданының бир бирлиги арқалы бир ұақыт бирлигинде алып өтилетуғын тәртіпке салынған қозғалыс муғдарына тең.

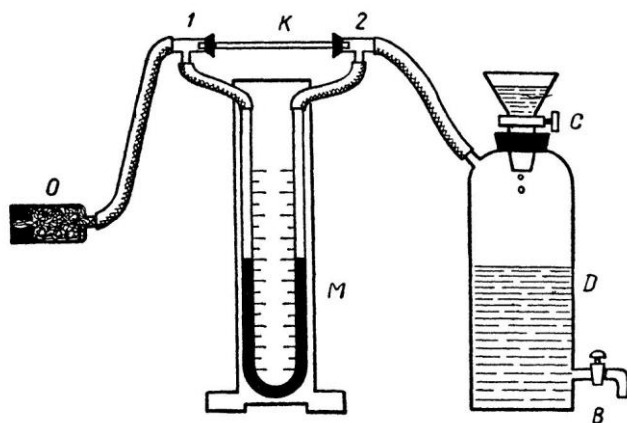
Динамикалық жабысқақтық коэффициенті менен бир қатарда кинематикалық жабысқақтық коэффициенті де қолланылады. Оның мәніси былайынша анықланады:

$$v = \eta / \rho.$$

Бул аңлатпада ρ арқалы суйықтықтың ямаса газдің тығызлығы белгиленген.

Газлердің динамикалық жабысқақтық коэффициентининң мәніси суйықтықлардың динамикалық жабысқақтық коэффициентининң мәнісинен әдеуір киши болады.

Егер сыртқы күштің тәсиринде қатламлар арасындағы тезликлер айырмасы ұақытқа байланысly өзгермесе, онда қатламлар арасындағы импульслар ағымы ұақытқа байланысly өзгермейди, яғный стационар халға өтеди.



1-сүүрет.

Қатламлар арасындағы импульстың ағымы олардың тезликлерининң айырмасына байланысly хәм қатламлар тезликлерининң айырмасы қанша үлкен болса импульс ағымы да сонша үлкен болады.

Қатламлар тезликлери X көшери бағытында өзгерсин дейик. Бундай жағдайда dx интервалға сәйкес келетуғын қатламлар тезликлерининң өзгериуін du арқалы аңлатсақ, du/dx қатнасы бир бирлик узынлыққа сәйкес келетуғын қатламлар тезликлерининң өзгериуін (өсимин) береди.

X көшерине перпендикуляр қандайда беттен бир бирлик ұақытта өтип атырған импульстың ағымы du/dx қа пропорциональ болса, ал екіншиден беттің майданы S ке пропорциональ болады, яғный импульс ағымы ушын $L \sim (du/dx) \cdot S$ түриндеги туұры пропорционаллық қатнасты аламыз. Буннан теңдик белгиге өтсек

$$L = \eta \frac{du}{dx} \cdot S \quad (1)$$

формуласына ийе боламыз. Жоқарыда айтылғандай η пропорционаллық коэффициенті жабысқақтық ямаса ишки сүйкеліс коэффициенті деп аталады.

Биз жоқарыда айтқанымыздай жоқары тезликтегі қатламнан төменгі тезликтегі қатламға импульс бериледи деген сөз. Бул қатламлар арасында жабысқақтық ямаса сүйкеліс күші бар екенлигин аңлатады. Сонлықтан (1)-теңликти

$$F = -\eta \frac{du}{dx} S \quad (2)$$

түрінде жазыуға болады. Бул аңлатпада F арқалы қатламлар арасындағы сүйкеліс күші белгиленген. (1)-теңликтегі минус (-) белгиси импульстың қатламлар тезликлеринің кемейіу бағытында берилетуғынлығын характерлейди. Бул теңликте $du/dx = (1 \text{ м/с})/(1 \text{ м}) = 1 \text{ с}^{-1}$ хәм $S = 1 \text{ м}^2$ болса, онда

$$h = \eta$$

теңлигинің орынланатуғынлығы көринип тур. Демек жоқарыда гәп ткенимиздей жабысқақтық коэффициенті деп X көшеринің бойында 1 м узынлыққа сәйкес келетуғын қатламлар тезликлеринің өзгеріуі 1 м/с болғандағы усы көшерге перпендикуляр бирлик беттен бирлик уақытта өтип атырған импульс ағымына айтылады.

Ендиги бизиң ұазыйпамыз ҳауаның жабысқақтық коэффициенті болған η ны анықлаудан ибарат. Буның ушын биз Пуазейль (Гаген-Пуазейль формуласынан) формуласынан пайдаланамыз.

Узынлығы L , радиуслы r болған трубаның ушларындағы басымлар айырмасы уақытқа $\Delta P = P_1 - P_2$ байланыссы өзгермесе, онда бундай труба арқалы қысылмайтуғын суйықтықтың ағымы стационар яғный ағыу тезлиги өзгермейди.

Усы жағдайда трубаның кесе кесиминен t уақыт дауаында ағып өтетуғын суйықтықтың көлеми төмендеги Пуазейль формуласынан анықланады.

$$V = \pi r^4 (p_1 - p_2) / (8 \eta l). \quad (3)$$

Бул формулада V арқалы капиллярдың кесиминен бир бирлик уақыт ишинде ағып өтетуғын суйықтықтың көлеми, η арқалы динамикалық жабысқақтық коэффициенті $p_1 - p_2$ арқалы капиллярдың ушларындағы басымлар айырмасы, ал l арқалы капиллярдың узынлығы белгиленген.

Суйықтықлар әмелий жақтан қысылмайды деп есапланады. Ал газлер болса әдеуір қысылушылық қәсийетлерге ийе. Сонлықтан (3)-аңлтпа түрінде жазылған Гаген-Пуазель формуласын газлер ушын пайдалануға болмайды. Егер басымлар айырмасы киши болса (яғный $p_1 - p_2 \ll p_2$ болған жағдайларда, бундай жағдайды жүзеге келтириу ушын газлердің ағыу тезлигин киши етип алады) газлердің қысылушылығын есапқа алмауға болады хәм сонлықтан газлер ушын Гаген-Пуазель формуласын пайдалана аламыз.

Бул жұмыста өлшеулер капиллярдың ушларындағы басымлар айырмасы үлкен болмаған жағдайларда өткериледи. τ уақыты ишінде капилляр арқалы ағып өтетұғын газдың көлемі

$$V' = V \cdot \tau = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2) \tau}{8 \eta l}$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Буннан

$$\eta = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2) \tau}{8 V' l} \quad (4)$$

формуласын аламыз.

(4)-формулада r хәм l берилген түтікше ушын турақлы шамалар хәм бир рет өлшеп алсақ жеткиликлі. Сонлықтан биз пайдаланатуғын формуланы қолайлы түрде

$$\eta = c \frac{p_1 - p_2}{V} \tau \quad (5)$$

түрінде жазыуға болады. Бул аңлатпадағы $c = \pi r^4 / 8l$ турақлы шама болып табылады. (5)-формуладан η шамасын анықлау ушын $p_1 - p_2$, V , τ шамаларын тәжірийбеде өлшеуиміз керек.

Жұмыстың орынланыу тәртіби

С кранын ашып В кранын жабық аўхалда Д баллонға шама менен 2/3 көлемін ийелегенше суў қуылады. Кейін С краны жабылады. Капилляр түтікше К ны босатып алып оның диаметрін хәм узынлығын жоқары дәллікте өлшеп аламыз. Буннан кейін ғана орнына бекитеміз.

Ескертиу: К түтікшениң диаметрі хәм узынлығы алдын ала өлшенген болса, буны қайталаудың керегі жоқ. Буны муғаллимнен сораң.

Д баллонның В кран менен тәмийинленген шүмегиниң астына ыдыс қойып В кранды әстелик пенен ашамыз хәм М манометрдегі спирт қәддилериниң өзгериуін бақлаймыз. В краны жәрдемінде ағып түсіп атырған суўдың муғдарын өзгерте отырып М манометрдегі спирт қәддилериниң айырмасы 2-2,5 см хәм оның өзгермеуін тәмийинлейміз. Спирт қәддилериниң айырмасы $\Delta h = h_1 - h_2$.

Жұмысты орынлау хәм тапсыруу ушын сораўлар

Жұмысты орынлау тәртіби:

1. Газлардағы жабысқақлық ямаса ишки сүйкеліс күші қалай пайда болады?

2. Не ушын жабысқақлықты ишки сүйкеліс күш деп те жүргизеди, екеуиниң арасында қандай улыўмалық бар?

3. Жабысқақлық коэффициенті дегеніміз не?

4. Не себеп, труба арқалы газ қатламланып ағыуы үшін жиішке келте хәм ушларындағы басымлар айырмасы киши болыуы талап етиледі?

5. Ламинарлық хәм турболентлик ағыслар дегенимиз не?

6. Жабысқақлық коэффициенті газ молекулаларынан орташа тезлигине, басымға, температураға байланысly өзгереме, егер өзгермесе түсиндириңиз.

7. Ағып турған газдың жабысқақлық коэффициенті η ның өзгеріуі менен труба менен труба ушларындағы басымлар айырмасы қалай өзгереді?

10-санлы лабораториялық жұмыс

Хаўаның салыстырмалы жыллылық сыйымлықларының қатнасын анықлау

Керекли әсбап хәм үскенелер: 1) кран хәм спиртли манометр менен тәмийинленген үлкен көлемге ийе шийше баллон (яғный Клеман-Дезорм үскенеси), 2) насос.

Теориялық хәм методикалық көрсетпелер. Газлардың турақлы басымдағы C_p жыллылық сыйымлығының турақлы көлемдеги C_v жыллылық сыйымлығына қатнасы адиабаталық процесте хәм адаиабаталық процесске жақын болғна жыллылық алмасыу есапқа алынбайтуғны процесслерде жүдә үлкен әхимийетке ийе. Сестің газлердеги тарқалыу тезлигиниң усы қатнас арқалы анықланыуын, газлердиң трубалардан сес тезлигине жақын тезликлерде өтиуі хәм кеңейип барыушы трубаларда сес тезлигинен де үлкен тезликлерге ерисиуі усы қатнасқа байланысly екенлигин мысал ретинде көрсетип өтемиз.

Бизиң ўазыйпамыз хаўа үшін салыстырмалы жыллылық сыйымлықлар қатнасын ($\gamma = c_p/c_v$) анықлаудан ибарат. Оны анықлауда ең әпиўайы усылдан пайдаланамыз (1-сўўретте көрсетилген).

Манометрге шийше ыдыс тутастырылған босын. Кранды ашқан ўақтытта ыдыс атмосфера менен тутасады. Нәтийжеде баллон ишиндеги басымның шамасы өжиредеги басымға тең болғанша кемейеди.

Егер ыдыстың ишине насос пенен хаўа киргизилип, кранды жаўып қойсақ, онда ыдыстың ишиндеги басым сөзсиз жоқарылайды. Бирақ ыдыс ишиндеги басым жүдә қысқа ўақыт ишинде үлкен тезлик пенен жоқарылатылса монометрдиң көрсетиуі өзиниң ақырғы мәнисине бирден келе алмайды. Себеби бул жағдайда хаўа адиабаталық рәўиште кысылады хәм соның нәтийжесинде оның температурасы жоқарылайды. Нәтийжеде ыдыстың дийўалының жыллылық өткизгишлигиниң салдарынан ыдыс ишинтеги температура менен қоршап турған орталықтағы хаўаның температурасы теңлескенде ғана манометрдиң ең ақырғы көрсетиуі болған h_1 шамасы орын алады.

Қоршаған орталықтағы хаўаның абсолют температурасын T_1 арқалы, манометрдиң h_1 көрсетиуіне сәйкес келетуғын ыдыс ишиндеги хаўаның басымын p_1 арқалы белгилесек

$$p_1 = p_0 + h_1 \quad (1)$$

аңлатпасына ийе боламыз. Бул аңлатпада p_0 арқалы атмосфера басымы (бунда p_0 хәм h_1 шамалары бирдей бирликлерде анықланған болыуы керек) белгиленген. Ғаўаның дәслепки биринши жағдайын T_1 хәм p_1 параметрлері арқалы характерлеймиз (1-жағдайда T_1 , p_1 шамалары берилген).

Егер кранды тез ашсақ, онда ыдыс ишиндеги ғаўаның басымы p_0 шамасына теңлескенше адиабаталық түрде төменлейди. Нәтийжеде ғаўа T_2 температураға шекем салқынлайды. Нәтийжеде газдың T_2 , p_0 параметрлериниң жәрдемінде тәрийипленетуғын екинши жағдайы жүзеге келеди (2-жағдада T_2 , p_0 шамалары берилген).

Егер кранды ашқаннан кейин тезден жапсақ, онда ыдыс ишиндеги басым арта баслайды. Ыдыстың ишиндеги басымның артыуы себепли кеңейгенде салқынлаған ғаўаның температурасының қайтадан жоқарылай баслауы жүзеге келеди. Ыдыстың ишиндеги ғаўаның температурасы T сыртқы температура T_1 менен теңлескенде басымның артыуы тоқтайды. Бул жағдай газдың үшінши жағдайы болып табылады (3-жағдайда T_1 , p_2 шамалары берилген).

Ыдыс ишиндеги ғаўаның усы ўақыттағы басымын p_2 арқалы, манометрдің усы басымға сәйкес көрсетиўин h_2 арқалы белгилеймиз.

$$p_2 = p_0 + h_2 \quad (2)$$

Газ 2-халдан (2-жағдай) 3-халға көлемин өзгертпей өтсе, онда Гей-Люссак ызымын қолланыўға болады:

$$p_2/T_1 = p_0/T_2. \quad (3)$$

Газдың 1-халдан 2-халға өтиўи ушын, яғный адиабаталық кеңейиўи ушын Пуассон ызымын қолланыўға болады. Бул ызымды төмендеги түрде жазыў қолайлы:

$$\frac{p_1^{\gamma-1}}{T_1^{\gamma}} = \frac{p_0^{\gamma-1}}{T_2^{\gamma}}.$$

Бул аңлатпада γ арқалы газдың турақлы басымындағы хәм турақлы көлеміндеги жыллылық сыйымлықларының қатнасы c_p/c_v белгиленген. Бул теңлемеге p_1 диң (1)-теңлемеден табылатуғын мәнисин қойып хәм ағзалардың орнын алмастырып төмендегидей теңлемени пайда етемиз

$$\left(\frac{p_0 + h_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma}$$

ямаса

$$\left(1 + \frac{h_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)^{\gamma}.$$

h_1/p_0 хәм $(T_1 - T_2)/T_2$ шамалары бирге салыстырғанда жүдә киши болғаны ушын бул аңлатпаны Ньютон биномына жайып биринши тәртипли киши санлар қатнасқан ағзаларын алып тасласақ

$$1 + (\gamma - 1) \frac{h_1}{p_0} = 1 + \gamma \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

теңлемесин аламыз. Буннан:

$$p_0 \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} h_1.$$

Теңлемениң шеп тәрәпинде турған ағза h_2 шамасына тең. Хақыйқатында да p_2 шамасының (2)-теңлемеден табылатуғын мәнисин (3)-теңлемеге қойып h_2 шамасын табамыз:

$$h_2 = p_0 \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

Демек

$$h_2 = \frac{(\gamma - 1)}{\gamma} h_1$$

аңлатпасын жазыў мүмкин. Бул теңликтен

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (4)$$

аңлатпасына ийе боламыз.

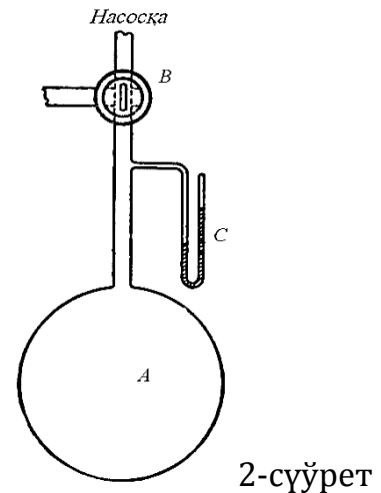
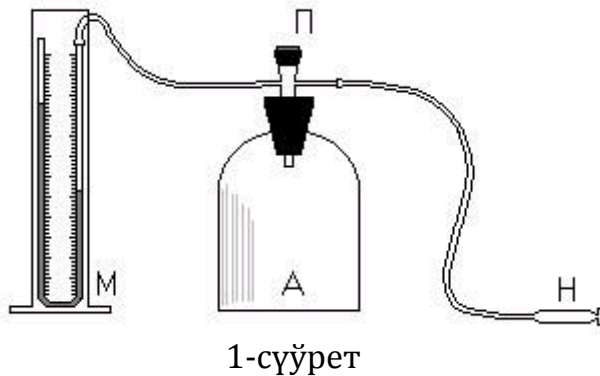
Пайдаланылатуғын әсбап-үскенениң дүзилиси. Сыйымлығы шама менен 20-30 литр болған (1-сүүрет) шийше баллон А ның аўзы тығыз етип бекитилген болып, оның тығыны П арқалы үш тармақлы шийше түтикше шығып тур. Тармақлардың биреўи краны менен тәмийинленген болып оның жәрдемінде А баллонды өжире ҳаўасы менен тутастырыўға ямаса оннан ажырытыўға болады. Ал екінши хәм үшінши тармақлар сәйкес манометр хәм насос пенен тутастырылған.

Баллондағы кранды жаўып, манометрдеги суў қәддилериниң айырмасы шама менен 25-30 см болғанша насос пенен ҳаўа толтырылады. Баллондағы басымның артыўы менен температурасы да артады. Сонлықтан да 2-3 минут даўамында ҳаўа температурасы өжиредеги температура менен теңлескенше күтемиз. Мине усы моменттен баслап манометрдеги суў қәддилериниң айырмасы өзгермей қалады хәм буны h_1 деп белгилеп аламыз. Кейин кранды ашып бир ўақытта манометрдеги суў қәддилериниң өзгериўин бақлаймыз хәм бул қәддилер өз-ара теңлесиўден кранды жабамыз.

Ескертиў: К кранды ашқанда оннан ысылдап ҳаўа шыға баслайды, сонлықтан кранды шығып атырған ҳаўаның сести тоқтаўдан жабылыў керек.

Баллондағы температурасы өжире температурасына тең ҳаўа адиабаталық түрде кеңейиўи салдарынан оның температурасы төменлейди. Баллондағы ҳаўа өжиредегиге шекем болғанда, яғный манометрдеги суў қәддилериниң

айырмасы өзгериссиз қалғанша 2-3 минут күтеміз. Мине усы өзгериссиз қалған қәддилер айырмасын h_2 деп алып, (4)-теңлікке қойып γ ны анықлаймыз. Тәжірийбе кемінде он рет тәкирарланады хәм алынған нәтийжелер кестеге жазылады.



Әсбап А шийше балон (2-сүүрет) хәм оған жалғанған В арқалы үш тармақлы шийше түтікше хәм С суўлы манометрден ибарат. А ыдыс В кран арқалы ҳаўа насосына жалғанған. Тармақлардың биреўи кран менен тәмийинленген болып, оның жәрдемінде А баллонды өжире ҳаўасы менен тутастырыўға ямаса оннан ажырытыўға болады. Ал екінши хәм үшінши тармақлар сәйкес манометр хәм насос пенен тутастырылған.

Өлшеўлер. Бул әсбапта да тап 1-сүүреттеги әсбаптағыдай өлшеўлер орынланады. Ыдыс ишиндеги ҳаўаның басымы турақлы болып, суўлы манометрдеги қәддилер айырмасының биринши h_1 хәм екінши h_2 мәнислери табылады. Тәжірийбе кемінде он рет тәкирарлансын. Алынған нәтийжелер кестеге жазылсын.

Қатар саны	h_1	h_2	γ	$\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma_{\text{орт.}}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
Орташа					

Жумысты орынлаў хәм тапсырыў ушын сораўлар

Жумыстың орынланыў тәртиби:

1. Салыстырмалы хәм моллик жыллылық сыйымлығы дегенимиз не?
2. c_p хәм c_v шамаларының тийкарғы айырмашылығы неде?

3. Ғауа молекулалары неше атомнан ибарат хэм молекулалардағы атомлар санына байланыслы c_p/c_v қатнасының шамасы өзгере ме?

4. Жумысты орынлауда I баллонға ғауа толтырамыз. II баллондағы ғауаны өжире температураға шекем сууытамыз, III баллондағы ғауаны К кранын ашып шығарамыз, IV баллондағы ғауаның өжире температурасына шекем қызыуын күтемиз. Усылар қандай процесслер хэм қалай әмелге асырылады?

5. Идеал газ ушын, егер молекулалардың еркинлик дәрежесиниң саны белгили болса, c_p/c_v қатнасты тәжирийбеде өлшеместен есаплауға бола ма хэм қандай жол менен?

6. c_p хэм c_v газдың ишки энергиясы менен байланысы бар ма?

7. c_p/c_v қатнасын аргон, азот, суу пууы газлары ушын есаплаңыз.

11-санлы лабораториялық жумыс

Суудың пууланыуының жасырын жыллылығын анықлау

Керекли әбаплар: Ишинде сууы бар хэм аузы түтикше менен тәмийинленген колба, электроплитка: термометр, тәрези, калориметр, ыдыс.

Егер биз сууды плитканың үстине қойсақ уақыттың өтиуи менен оның температурасы артады хэм нормаль атмосфера басымында температура 100°C ға жеткенде суу қайнайды. Мине усы температурадан баслап суу плиткадан жыллылық алыуына қарамастан оның температурасы өзгермейди, яғный алынып атырған жыллылық жасырын түрде жойылып атырғандай болып көринеди. Ғақыйқатында, суу қайнағаннан кейин оның плиткадан алатуғын жыллылығы суудың белгили бир муғдарының пууға айналыуына сарпланады. Демек сууды пууға айландырыу ушын белгили бир муғдарда жыллылық талап етиледи екен.

Суйықлықтың пууланыуының салыстырмалы жасырын жыллылығы деп оның бирлик массасын суйықлық температурасындағы пууға айландырыу ушын керек болған жыллылық муғдарына айтылады хэм $\text{кал}/(\text{г}\cdot\text{град})$ ямаса $\text{ккал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ бирликлеринде өлшенеди.

Суйықлық пууға айланғанда қанша жыллылық талап етилсе, керисинше пуу суйықлыққа айланғанда сонша жыллылық бөлинип шығады.

Бизиң бул жумыстағы тийкарғы уазыйпамыз қайнап турған сууды пууға айландырыу ушын қанша жыллылық муғдарының талап етилетуғынлығын тәжирийбеде анықлаудан ибарат.

Тәжирийбениң тийкарғы мазмуны:

Мейли бизге массасы m болған ыдыстың ишинде температурасы t_1 массасы m_1 болған суу берилген болсын. Егер усы суудың ишинде t_3 температурады қайнап турған суудың m_p массалы пууын жиберсек оның массасыда хэм температурасыда артады. Суудың массасы m_3 ($m_3 = m_1 + m_2$), ал температурасы t_2 болсын. Нәтийжеде суудың ыдыс пенен бирликтеги температурасы t_1 ден t_2 ге шекем артады. Буның ушын керек болған жыллылық муғдары Q_1 төмендеги теңдиктен анықланады.

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) + c_1m_1(t_2 - t_1). \quad (1)$$

Бул аңлатпадағы C хәм C_1 арқалы сәйкес ыдыстың хәм суўдың салыстырмалы жыллылық сыйымлылықлары белгиленген.

Енди, бул жыллылықты қайдан алады?

Бириншиден m_2 массалы пуў t_3 температурадағы суўға айланғанда

$$Q_2 = m_2 \cdot r \quad (2)$$

муғдардағы жыллылық бөлип шығарады. Бул аңлатпадағы r пуўланыўдың меншикли жасырын жыллылығы.

Екиншиден пуўдан пайда болған m_2 массалы суў t_3 температураға шекем суўыйды. Буның нәтийжесинде тағыда

$$Q_3 = c_1m_2(t_2 - t_1) \quad (3)$$

муғдардағы жыллылық бөлинип шығады.

Жыллылық байланысының нызамына муўапық $Q_1 = Q_2 + Q_3$ теңлиги орынланады. Бул аңлатпаға (1)-, (2)- хәм (3)-теңлемелерден сәйкес мәнислерди қойып

$$cm(t_2 - t_1) + c_1m_1(t_2 - t_1) = m_2r + c_1m_2(t_3 - t_2)$$

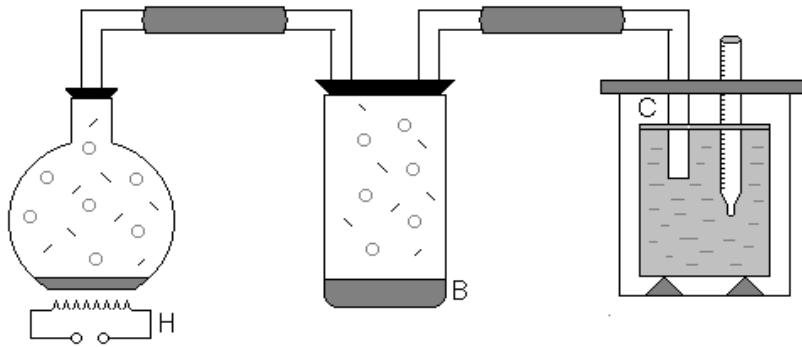
аңлатпасын аламыз. Буннан

$$r = [(cm + c_1m_1)(t_2 - t_1) - c_1m_2(t_3 - t_2)]/m_2 \quad (4)$$

аңлатпасы келип шығады. Мине усы формула суў пуўының меншикли жасырын жыллылығын анықлаў формуласы болып табылады.

Жумыстың орынланыў тәртиби

Тәжирийбе өткерилетуғын қурылма 1-сүүретте көрсетилген К калориметрдің ишиндеги бос хәм қурғақ стаканды алып оның массасын тәрезиде өлшеп аламыз хәм m арқалы белгилеймиз. Калориметр стаканының ишине жартысындай таза суў қуйып және массасын өлшеймиз хәм M деп белгилеймиз. Сонда суўдың массасы $m_1 = M - m$ шамасына тең болады.



1-сүүрет.
Суудың
пуўланыўының
жасырын
жыллылығын
анықлаў ушын
арналған әсбаптың
схемасы.

Термометр жәрдеминде суудың температурасын өлшеп оны t_1 арқалы белгилеймиз.

Колбаға суў қуйылып, Н электр плиткасына орнатылады. Кейин колбадан келип турған түтікшениң астына басқа бир ыдысты қойып плитаны сетке тутастырамыз хәм колбадағы суудың қайнаўын күтеміз.

Колбадағы суў анық қайнағанда түтікше арқалы қурғақ пуў шыға баслайды. Мине усы ўақытта ыдысты К калориметр менен алмастырамыз. С түтікшениң ушы әлбетте калориметрдеги суўға батып турыўы керек.

Калориметрге колба түтікшеси ишинде пуўдан пайда болған суў келип түспеўи ушын түтікшениң шети колбадан әдеўир жоқары жайласыўы керек.

Калориметрдеги суудың температурасы дәслепки Т температураға салыстырғанда 10-15 С ға көтерилгенде К калориметрдеги түтікше астынан алып орнына В ыдысты қоямыз да плитканы сеттен ажыратамыз. Суудың температурасын t_2 деп белгилеймиз. Кейин калориметр стаканын суўы менен бирликте қайтадан өлшеймиз хәм массасын M_1 деп белгилеймиз. Онда пуўдан пайда болған суудың массасы $m_2 = M_1 - M$ болады. m , m_1 , m_2 , t_1 хәм t_2 шамалары тәжирийбе өткерий барысында өлшенеди. $t_3 = 100^\circ\text{C}$, ал С хәм C_1 кестеден алынады (4)-формуладан r анықланады.

Тәжирийбе 6 рет қайталансын хәм алынған жуўмақлар төмендеги кестеге жазылады.

Қатар саны	m	m_1	m_2	t_1	t_2	r_1	Δr	$\Delta r/r_{\text{орт.}}$	%
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
Орташа мәнислер									

Жумысты орынлаў хәм тапсырыў ушын сораўлар

1. Не ушын сырттан жыллылық берилиўине қарамастан суў қайнағаннан кейин оның температурасы өзгермейди?

2. Пуўланыўдың жасырын жыллылығы деп неге айтамыз?

3. Тәжірийбеде анықланған суудың пуўланыуының салыстырмалы жасырын жыллылығынан пайдалана отырып 100 грамм суудың толығы менен пуўға айландырыу ушын қанша жыллылық сарпланатуғынлығын анықлаңыз.

12-санлы лабораториялық жұмыс

Газлердің салыстырмалы жыллылық сыйымлылықтарының қатнасын турғын сес толқыны усылы жәрдеминде анықлау

Керекли әсбаплар: 1) ушларында телефонлар орналастырылған еки труба, 2) ЗГ-2А типіндеги сес генераторы, 3) ЭО-4 типіндеги осциллограф, 4) милливольтметр.

Бул жұмыстың мақсети сестің ҳаўадағы тезлигин турғын толқын усылы менен анықлап, сес тезлигинің температураға ғәрезлигин изертлеу хәм салыстырмалы жыллылық сыйымлылықтарының қатнасын анықлау.

Теориялық көрсетпе. Тутас орталықта бойлық толқынлардың таралуы тезлиги

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

формуласының жәрдеминде анықланады. Бул жерде E арқалы орталықтың Юнг модули, ρ арқалы орталықтың тығызлығы белгиленген.

Акустикалық толқынлардың таралуы адиабаталық процесс деп есаплау мүмкиншилигинен сес тезлигинің формуласын

$$v = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$$

түрінде жазыу мүмкин (бул формуланы Лаплас формуласы деп атайды). Бул аңлатпада $\gamma = c_p/c_v$ арқалы газдің салыстырмалы жыллылық сыйымлылықтарының қатнасы, p арқалы газдың басымы белгиленген.

Сестің тезлиги газдің температурасына байланысly. Ҳақыйқатдан да

$$\rho = \rho_0 / (1 + \alpha t) \quad (1)$$

аңлатпасы орын алады. Бул жерде ρ_0 арқалы газдің 0°C дағы тығызлығы, t арқалы $^\circ\text{C}$ шкаласындағы температура, α арқалы газдің кеңейіу коэффициенті белгиленген ($\alpha = 0,004$). Сонлықтан,

$$v_t = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho} (1 + \alpha t)} = v_0 \sqrt{1 + 0,004t} \quad (2)$$

тарқалып атырған толқын трубаның жабық ушынан шағылысқанда труба ишинде турғын толқынлар пайда болады, бунда жылжыулардың бөлистирилиуи

$$y = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t$$

формуласының жәрдемінде бериледи. Бул жерде A арқалы тербелислер амплитудасы, ω арқалы жийилиги, λ арқалы тарқалып атырған толқынның узынлығы, x арқалы орталықтағы ноқатлардың орнын анықлаушы координата белгиленген.

Егер шағылысқанда энергия жумсалмаса, трубаның жабық ушында хәмме уақыт жылысыу түйини пайда болады. Еки қоңсылас түйин яки еки пиклер (дүңликлер) арасындағы аралық таралып атырған толқын узынлығы A ның ярымына тең.

Қозыу жийилигин өзгертиу ушын труба бойлап пүтин сан менен көрсетилген ярым толқынлар жайласқанда жабық труба ишинде турғын толқынлар пайда етемиз. Сес тезлиги

$$v_t = \lambda v \quad (3)$$

формуласы жәрдемінде анықланады, бул жерде λ арқалы толқын узынлығы, v арқалы ҳауа бағанасының меншикли тербелислериниң жийилиги болып, ол мәжбүрий тербелислердиң жийилигине тең.

Бирақ $\lambda = 2l/n$ (бул жерде $n = 1, 2, 3, \dots, k$) пүтин трубаның узынлығында қанша ярым толқын жайласыуын көрсетеди.

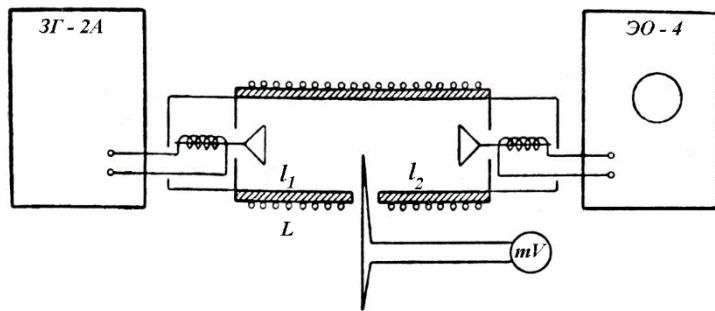
Солай етип, сестиң тезлиги төмендегидей анықланады:

$$v = \frac{2l v_n}{n} \quad (4)$$

n саны тербелиуи системаның турғын толқынлар пайда болатуғын еки избе-из жағдайын бақлаудан төмендегидей етип табылады:

$$v_t = \frac{2l v_n}{n} = \frac{2l v_{n+1}}{n+1}, \quad v_n(n+1) = v_{n+1}n, \quad n = \frac{v_n}{v_{n+1} - v_n} \quad (5)$$

Қурылманың дүзилиси. Қурылма биреуи тербелислерди жеткерип беретугын, екіншиси жеткерип бермейтуғын еки трубадан, сес диапазонындағы ЗГ-2А генератордан, ЭО-4 осциллограф хәм милливольтметрли термопарадан ибарат (1-сүүрет). Хәр бир трубаның ушларына T_1 хәм T_2 телефонлар орнатылған, олардан бири тербелислерди қоздырады, ал екіншиси тербелислерди қабыллайды.



1-сүрөт.
Газлардың салыстырмалы
жыллылық
сыйымдылықтарының
катнасын турғын сес
толқыны усылы
жәрдеминде анықлау үшін
арналған дүзилистің
схемасы.

Жеткерип бермейтуғын трубаның ишиндеги газ температурасын өзгертүүши L қыздырғыш сымы менен оралған. Бул орам 120 вольт кернеули өзгөрмели тоқ көзине жалғанады. Температура милливольтметрге жалғанған термопараның жәрдеминде өлшенеди. Т₁ телефонда тербелислер 3Г-2А генератор жәрдеминде пайда етиледі. Сигналды Т₂ телефоны қабыл етеді хәм оны осциллографға жеткерип береді.

1-тапсырма

Сес тезлигин жеткерип бермейтуғын трубадағы турғын толқынлар усылы менен табыу хәм сес тезлигиниң температураға ғәрезлигин үйрениу

Өлшеуге таярлық көриу. Эксперименталлық дүзиліс 1-сүрөтте схема түрінде көрсетілген. Схема бойынша керекли болған әсбап-үскенелерди жалғау барысында өткізгішлердің экранларының жерге жалғанғанлығына итибар беріу керек.

Осциллограф хәм генератор өзгөрмели тоқ дерегине тутастырылады. Бираз қызғаннан кейін (буның үшін 5 минут шамасында уақыт талап етиледі) генератор жийилигиниң ноли анықланады: генератордың «расстройка» хәм «установка частоты» лимблары нолге қойылады, шығыу кернеуін туурылап оң тәрептеги (кернеу максимум болатуғын) ең шеткисине қойылады. Кейін «установка нуля» лимбасын әсте-ақырынлық пенен айландырып, кернеудің максимум болуына ерисиледи. Бул жағдайда вольтметр стрелкасы нолде (ямаса нолге жақын орында) жайласады.

Өлшеулер. Генератордың жийилигин 1000 нан 3000 гц (герц) шамасына шекем өзгертіп жабық трубада турғын толқынлар изли-изинен пайда етиледі. Осциллограф экранында көринетуғын электр тербелислери амплитудасы бирден артып кетиуі турғын толқынлардың пайда болғанлығын билдиреди. Турғын толқынлар пайда болғандағы жийилик кемінде үш рет өлшенеди хәм олардың орташасы алынады. (4)- хәм (5)- формулаларға сәйкес сестің тезлиги есаплап табылады. Сестің 0°C температурадағы тезлигиниң мәнисін табыу үшін (2)-формулаға сәйкес дүзетиу киргизиледи.

Сес тезлигиниң температураға байланыслылығын анықлау үшін қыздырғыш электр тоғы көзине тутастырылады хәм температураны 10—20°C ға жоқарылатып, усы температурадағы сестің тезлиги жоқарыда көрсетілген

усыл менен анықланады. Алынған мағлыұматлар тийкарында сес тезлигиниң температураға ғәрезлигиниң графиги сызылады.

Газди (хаўаны) 120°C дан жоқары температураға шекем қыздырыўға болмайды. Себеби бундай жоқары температураларда телефонлардың магнитлери әдетте магнитсизленеди.

2-тапсырма

Сес тезлигин жеткерип беретуғын трубадағы турғын толқынлар усылы менен табыў

Өлшеўге таярлық көриў 1-усылдағы таярлық көриў менен бирдей.

Өлшеўлер. Генератордың жийилиги белгиленеди хәм трубаны узайтып, оның турғын толқынлар пайда болатуғын избе-из келген еки жағдайы арасындағы қашықлық анықланады. Хәр бир өлшеўди кеминде үш рет орынлаў хәм алынған нәтийжелердиң орташа мәнисин алыў керек. Жийиликти 1000 нан 2000 гц шамасына шекем өзгертип, бир неше жийиликлер ушын турғын толқынлардың узынлықлары анықланады. Толқын узынлығын өлшегеннен кейин сестиң тезлиги (3)-формулаға сәйкес анықланады.

3-тапсырма

Хаўа ушын $\gamma = c_p/c_v$ қатнасын анықлаў

Сес тезлигиниң табылған мәнисинен хәм (1)-формуладан (Лаплас формуласынан) пайдаланып, $\gamma = c_p/c_v$ қатнасы табылады. р атмосфера басымы барометрдиң жәрдемінде анықланады. Хаўаның атмосфера басымындағы р тығызлығы кестелерден алынады. Өлшеў қәтелигин есаплаўда жийиликлердиң көрсетилген интервалында өлшеў қәтеси әсбап көрсеткишлериниң 3 - 5 процентин қурайтуғынлығын итибарға алыў керек.

Жумысты орынлаў хәм тапсырыў ушын сораўлар

1. Турғын толқынлар дегенимиз не хәм турғын толқынларды қалайынша пайда етиўге болады?
2. Моллик жыллылық сыйымлығы дегенимиз не? Салыстырмалы жыллылық сыйымлығы дегенимиз не?
3. Не ушын $\gamma = c_p/c_v$ шамасы турақлы хәм бул қатнас молекуладағы атомлар санына байланыслы?
4. Бойлық толқын дегенимиз не хәм ол қалай тарқалады?
5. Не ушын сестиң тарқалыў тезлиги орталықтың серпимлигине байланыслы?
6. Сес тербелислериниң газлерде тарқалыўын адиабаталық процесс деп есаплаўға қандай физикалық тийкарлар бар?

13-санлы лабораториялық жұмыс

Муздың ериу жыллылығын анықлау

Керекли әсбаптар: 1) калориметр, 2) термометр, 3) қыздырылған су, 4) муз, 5) тәрези.

Кристаллық денелер белгили бир ериу температурасына ийе. Ал аморф денелер болса белгили бир ериу температурасына ийе емес. Сонлықтан кристаллық денелердің белгили бир ериу температурасына ийе болуы аморф денелерден тийкарғы айырмашылығы болып табылады. Базы бир температурада кристаллық дене ерий баслайды. Ыдыстың ишинде кристаллық дене де, оның еритпеси де ериу температурасында термодинамикалық тең салмақтықта тура алады (системаның ишиндеги барлық нокатларда температура бирдей мәниске ийе болғанда термодинамикалық тең салмақтықтың жүзеге келетуғынлығын атап өтемиз). Кристалллық дене хәм оның еритпесинен туратуғын системасының температурасы кристаллық дене толық ерип болғанша (яғный суйықтыққа толық айланып болғанша) өзгермейди. Егер төмен температуралы орыннан ишинде музды бар сууды жыллы жайдың ишине алып барсақ муз толық ерип болғанша суудың температурасы өзгермейди хәм 0°C шамасына тең болады. Су хәм муздан ибарат система сырттан жыллылық алады, нәтийжеде муздың муғдары кемейеди хәм соның салдарынан температура өзгермей қалады. Сырттан жыллылық берилгенлиги себепли муз-суу системасының ишки энергиясы артады. Демек массалары бирдей болған суудың ишки энергиясы муздың ишки энергиясынан үлкен деген сөз.

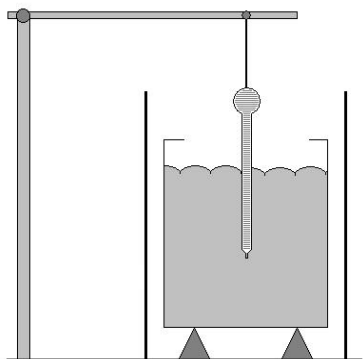
Системаның ишки энергиясы оны дүзиуши молекулалардың тәртипсиз қозғалысының кинетикалық энергиялары менен олардың өз-ара тәсирлесіуинің потенциал энергияларының қосындысына тең екенлиги мәлим. Тәртипсиз жыллылық қозғалысларына сәйкес келиуши молекулалардың кинетикалық энергиясы тек ғана температураға байланысly. Демек термодинамикалық тең салмақтықта турған муз хәм суу молекулаларының кинетикалық энергиялары өз-ара тең. Себеби екеуи ушын да температура бирдей мәниске ийе (0°C). Демек муз хәм суудың ишки энергияларының хәр қыйлы болуы муздың бир бирине салыстырғанда тәртипли жайласқан молекулаларының потенциал энергияларының суудың тәртипсиз жайласқан молекулаларының потенциал энергияларынан киши болуы менен байланысly екен.

Муздың бир бирлик массасын өзинің ериу температурасында суға айландыруу ушын керек болған жыллылық муғдарына оның салыстырмалы ериу жыллылығы деп аталады. Салыстырмалы ериу жыллылығы кал/г ямаса ккал/кг бирликлеринде өлшенеди. Егер керисинше суу музға айланатуғын болса тап усындай жыллылық бөлип шығарылады. Муздың салыстырмалы ериу жыллылығын калориметр жәрдемінде анықлауға болады.

Буның ушын калориметрге белгили массадағы хәм температурадағы суу қуйып, оның ишине массасы белгили, ерий баслаған музды саламыз. Кейин муз толық ерип болғанша күтип, ерип болғаннан бир неше минуттан кейин суу

белгили бир температураға ийе болады. Энергияның сақланыу нызамын еске ала отырып жыллылық баланысының теңлемесин дүзип, буннан муздың салыстырмалы ериу жыллылығын анықлаймыз.

Биз бул процессти бир неше этапларға бөлип ең улыўма жағдайды көремиз.



1-сүүрет.

Муздың ериу жыллылығын анықлау үшін қолланылатуғын әсбаптың дүзилисиниң схемасы.

1. Мейли муздың дәслепки температурасы 0°C дан төмен ҳәм оны t_3 аркалы белигейик. Онда муз t_3 температурадан 0°C ға қызғанша Q_1 муғдарында жыллылық алады:

$$Q_1 = c_0 m_2 t_3 \quad (1)$$

шамасына тең болады. Бунда m_2 арқалы муздың массасы, ал c_0 арқалы оның салыстырмалы жыллылық сыйымлығы белгиленген.

2. Массасы m_2 ге тең муздың 0°C да толық ерип болыуы үшін

$$Q_2 = \lambda m_2 \quad (2)$$

муғдарындағы жыллылық алады. Бул аңлатпадағы λ муздың салыстырмалы ериу жыллылығы.

3. Муздан пайда болған суўдың температурасы 0°C дан t_2 ге шекем көтеріледі. Суўдың температурасын t_2 ге шекем көтериу үшін

$$Q_3 = c_1 m_2 t_2 \quad (3)$$

муғдарындағы жыллылық бериледи. Бул аңлатпада c_1 арқалы суўдың салыстырмалы жыллылық сыйымлығы белгиленген.

Музды қыздырыу, 0°C температурада музды толық суўға айландырыу пайда болған суўды t_2 ге шекем қыздырыу үшін

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_2 (c_0 t_3 + \lambda + c_1 t_2) \quad (4)$$

муғдарындағы жыллылық керек болады.

Бул жыллылықларды калориметр өзиниң ишине қуйылған суўдан алады. Нәтийжеде суўдың температурасы калориметр менен бирликте дәслепки t_1 температурадан t_2 ге шекем өзгереді.

4. Массасы m_2 болған суўдың температурасы t_1 ден t_2 ге шекем өзгергенде

$$Q_4 = c_1 m_1 (t_1 - t_2) \quad (5)$$

муғдарындағы жыллылық береді.

5. Массасы m болған калориметрдің температурасы t_1 ден t_2 ге шекем өзгергенде

$$Q_5 = cm(t_1 - t_2) \quad (6)$$

жыллылығын береді. Бунда c арқалы калориметрдің салыстырмалы жыллылық сыйымлығы белгиленген.

Солай етип берілген жыллылық төмендегі формуланың жәрдемінде анықланады:

$$Q_4 + Q_5 = (c_1 m_1 + cm)(t_1 - t_2). \quad (7)$$

Энергияның сақланыу нызамына мууапық алынған жыллылық, берілген жыллылыққа тең. Демек (4)- хәм (7)-теңликлерден төмендегилер келип шығады:

$$m_2(c_0 t_3 + \lambda + c_1 t_2) = (c_1 m_1 + cm)(t_1 - t_2).$$

Буннан

$$\lambda = \frac{(c_1 m_1 + cm)(t_1 - t_2) - m_2(c_0 t_3 + c_1 t_2)}{m_2}$$

теңлигин аламыз.

Егер ерий баслаған музды алсақ, онда оның температурасы $t_3 = 0^\circ\text{C}$ шамасына тең болады. Онда муздың салыстырмалы ерий жыллылығын анықлау формуласы төмендегише болады:

$$\lambda = \frac{(c_1 m_1 + cm)(t_1 - t_2) - m_2 c_1 t_2}{m_2}. \quad (8)$$

Жумысты орынлау тәртиби

Жумысқа арналған үскене 1-сүүретте көрсетилген.

1. Калориметрдің ишки ыдысын тәрезде өлшеймиз хәм массасын m арқалы белгилеймиз. Буннан кейин усы ыдысқа $2/3$ муғдарында жыллы суу қуйып тәрезде өлшеймиз хәм анықланған массаны M арқалы белгилеймиз. Демек қуйылған суудың массасы $m_1 = M - m$ шамасына тең болады.

2. Сууы бар ишки ыдысты калориметрге орналастырып (калориметрдің сыртқы ыдысының ишине орналастырып) термометр жәрдемінде суудың температурасын өлшеп, оны t_1 арқалы белгилеймиз. Кейин ерий баслаған бир бөлек муз алып, муздың сыртындағы ериген сууды сорығыш пенен қурғатып калориметрге саламыз. Музлы сууды термометр жәрдемінде араластыра отырып муздың толық ерип болуын күтемиз. Муз ерип болғаннан кейин суу

белгили бир температураға шекем қызады. Бул ақырғы температураны t_2 арқалы белгилеймиз.

3. Ишки ыдысты суы менен тәрезиде және бир өлшеп, табылған массаны M_1 арқалы белгилеймиз. Нәтийжеде ериген муздың массасы болған $m_2 = M_1 - M$ шамасын анықлаймыз.

Тәжірийбеде m , m_1 , m_2 , t_1 хәм t_2 шамалары анықланғаннан кейин (8)-формуладан λ шамасының мәнисин есаплаймыз..

Тәжірийбе кемінде 5 рет өткериледи хәм алынған нәтийжелер төмендеги кестеге жазылады.

№	m	m_1	m_2	t_1	t_2	t_3	λ	$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda_{\text{орт}}, \%$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
орташа									

Жумысты орынлау хәм тапсыруы ушын сораулар

1. Ериу хәм қатыу процесслерин түсиндириңиз.
2. Не ушын кристалл денелер еригенде температура турақлы болады?
3. Музлы суу 0°C температураға ийе. Егер массалары теңдей муз хәм суу алсақ, қайсысының ишки энергиясы (энергия запасы) көбирек болады хәм себеби неде?
4. Кристалл денениң салыстырмалы ериу жыллылығы дегенимиз не?
5. Сыртқы орталық пенен жыллылық алмаспайтуғын жыллылық сыйымлығы 0 ге тең ыдыстың ишинде 20°C температурадағы 500 г суу бар. Ол температурасы 10°C болған неше грамм музды ерите алады?
6. Өжиредеги 27°C температурадағы 100 г қорғасынды еритиу ушын қанша жыллылық керек? ($c = 0,03$ кл/г, $t = 327^\circ\text{C}$)
7. Температурасы 500°C болған 100 г алюминий унтағы 0°C температурадағы 100 г муз бенен араластырылды. Кейинги температураны табыңыз. $c = 0,22$ кал/г.

14-санлы лабораториялық жумыс

Металлардың жыллылық сыйымлығын салқынлатыу усылы менен табыу

Керекли болған әсбап-үскенелер: 1) әсбап, 2) металл үлгилери жыйнағы, 3) секундомер, 4) миллиметрли қағаз.

Теориялық көрсетпелер. Температурасы әтираптағы орталықтың температурасынан жоқары болған металдың (металл бөлегиниң) температурасы төменлейди (Температурасы әтираптағы орталықтың

температурасынан жоқары болған қалеген заттың температурасының төменлейтуғынлығын бәршеге мәлим).

Температурасы орталықтың температурасынан жоқары болған металлдың (яғный кесип алынған металл бөлегиниң) базы бир киши Δt ўақыты ишинде жоғалтатуғын жыллылық муғдары төмендеги аңлатпа түринде жазылады

$$q\Delta t = - \int c_p \frac{\partial T}{\partial t} dV \Delta t. \quad (1)$$

Бул аңлатпада c арқалы металлдың жыллылық сыйымлығы, ρ арқалы оның тығызлығы, ал T арқалы температура белгиленген. (1)-аңлатпадағы интеграл металл ийелеп турған көлем бойынша алынады. Температураны металл бөлегиниң барлық ноқатларында бирдей деп қабыл етемиз. Себеби биз өлшеўлерди өткерийў ушын киши өлшемлерге ийе болған металл бөлеклерин ҳәм оның жыллылықты жақсы өткизетуғынлығын есапқа аламыз. Ньютонның нызамына тийкарланып q жыллылық муғдарын төмендегидей түрде аңлатыў мүмкин

$$q\Delta t = \int \alpha (T - T_0) dS \Delta t. \quad (2)$$

Бул формулада T_0 арқалы металл бөлеги этирапындағы орталықтың температурасы, α арқалы жыллылық берийў коэффициентини белгиленген. (2)-аңлатпада интеграл металл бөлегиниң улыўма бети бойынша есапланады.

(1)- менен (2)- ни салыстырып, төмендегини жазамыз:

$$- \int c_p \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int \alpha (T - T_0) dS. \quad (3)$$

$\partial T / \partial t$, c ҳәм ρ шамалары металл бөлеги ийелеген көлемниң ноқатларының координаталарына, α , T ҳәм T_0 шамаларының металл бөлегиниң бетиниң ноқатларының координаталарына байланыслы емес екенлигин есапқа алып төмендеги қатнасты жазамыз:

$$- c_p \frac{\partial T}{\partial t} V = \alpha (T - T_0) S. \quad (4)$$

Бул аңлатпада V арқалы металл бөлегиниң көлеми, S арқалы оның бетиниң толық майданы белгиленген. (4)-формуланы төмендегидей түрде жазыў мүмкин:

$$\frac{\partial (T - T_0)}{T - T_0} = \frac{\alpha S}{c_p V} \partial t. \quad (5)$$

(5)-аңлатпада $m = \rho V$ арқалы ұлгиниң массасы белгиленген. Минус белгиси температура t ның артыўы менен металл бөлегиниң

температурасының төменлейтуғынлығын көрсетеді. (5)-формулань интегралласақ, төмендеги аңлатпаны аламыз:

$$T - T_0 = (T_m - T_0)e^{-\frac{\alpha S}{cm}t}. \quad (6)$$

(5)-формулань интеграллағанда $\alpha S/cm$ шамасын температураға байланыслы емес деп есаплаған едик. Бул жағдай $T - T_0$ температуралар айырмасының мәнислери жүдә киши болғанда ғана дурыс болады.

(6)-формулань логарифмлеп төмендегини табамыз:

$$\ln(T - T_0) = -\frac{\alpha S}{cm}t + \ln(T_m - T_0). \quad (7)$$

(7)-аңлатпа туўры сызықтың теңлемеси болып табылады. ($\alpha S/cm$) шамасы туўры сызық пенен ўақыт көшери арасындағы мүйештиң тангенсине тең.

Тәжирийбеден үлги температурасының хәр қыйлы ўақытлардағы мәнислерин анықлап, $T - T_0$ шамаларының логарифмин алыў хәм миллиметрли қағазға логарифмлердиң ўақытқа байланысы графигин соғыў керек. Натурал логарифмлер орнына онлық логарифмлерди де пайдаланыў мүмкин. Оның ушын логарифмлик сызғыштан, калкуляторлардан ямаса компьютерден пайдаланыў керек. Бундай жағдайда (7)-теңлик бойынша алынған туўры сызықтың ўақыт көшерине қыялығы мүйешиниң тангенсинатурал логарифмлерди қолланылғандағыдан 2,3 есе киши болады. Бирақ бул ўазыйпада тангенслердиң мәнислери емес, ал олардың қатнасын табыў талап етилгенликтен онлық логарифмлердиң қолланылыўы ақырғы нәтийжеге тәсир етпейди.

Еки үлги ушын (7)-аңлатпаға сәйкес графиклерди дүземиз хәм бул графиклер бойынша тангенслердиң мәнислерин анықлаймыз. Олардың қатнасын k арқалы белгилеймиз:

$$k = \frac{c_2}{c_1} \cdot \frac{m_2}{m_1}, \quad (8)$$

$$c_1 = \frac{c_2}{k} \cdot \frac{m_2}{m_1}. \quad (9)$$

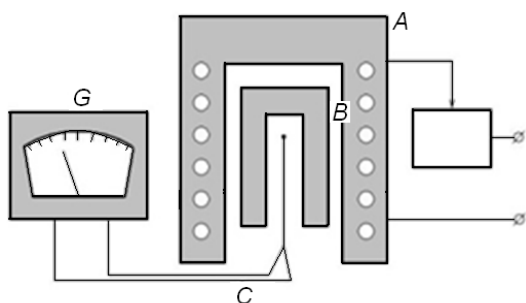
α хәм S шамаларының мәнислери сол температуралар интервалларында еки үлги ушын да бирдей деп аламыз.

Әсбаптың дүзилиси хәм өлшеўлер. Өлшеўлер ушын пайдаланылатуғын әсбаптың схемасы 1-сүўретте көрсетилген. А электр қыздырғышы еки бағытлаўшы стерженге орнатылып, ол стерженлер бойы менен төменге хәм жоқарыға жылжый алады (сүўретте стерженлер көрсетилмеген). В үлгиси бир тәрәпи ойылған (канал қылынған) цилиндр болып, оның узынлығы 30 мм хәм диаметри 5 мм металл бөлегиндеги каналға шийше түтикше киргизиледи. Шийше түтикшениң ишинен С термопараның сымлары өткизилген. Термопараның ушлары G гальванометрге жалғанған. Үлгиниң температурасы гальванометрдиң шкаласының көрсетиўи бойынша қадағаланады.

Гальванометрдің көрсетіуі менен термопараның дәнекерленген жеринің температурасы арасындағы байланысты сәулелендіретуғын (берілген термопара ушын милливольттерди градусқа айландыратуғын) арнаұлы түрдеги кесте ямаса график бар.

Тәжірийбениң басында қыздырғыш бағытлаушы стерженлер бойлап төменге түсирилип, металл бөлеги қыздырғыштың ишине толық киргизилиуі керек. Буннан кейин қыздырғыш электр тоғы дерегине тутастырылады.

Металл бөлеги 550—600°C температураға шекем қыздырылғаннан кейин қыздырғыш жоқарыға тез көтерилип, винтлер менен қатырылады. Жыллылық берілген үлги ҳаўада (ҳаўаның температурасы T_0 арқалы белгиленеди) 100°C температурадан төмен температураларға шекем салқынлатылады. Ұақытты секундомер жәрдеминде анықлап ҳәр бир 10 секундда металл бөлегиниң температурасын гальванометр шкаласының көрсетіуіне қарап жазып барамыз.



1-сүўрет.

Үш металл бөлегиниң (мыс, алюминий ҳәм темир) ҳәр бири ушын температураның тәжірийбеден алынған бир неше мәнислерине қарап, төмендеги кесте дүзиледи:

Қатар саны	t, сек	$T - T_0, ^\circ\text{C}$	$\log(T - T_0)$

Буннан кейин миллиметрли қағаз бетинде $\log (T - T_0)$ ҳәм t ларды координата көшери сыпатында алып үш металл бөлек ушын графиклер сызылады. Жасалған графиклер вертикал сызықлар менен бөлимлерге ажыратылып, графиктиң бөлимлери оған сәйкес болыуы керек. Бундай бөлимлерден ҳәр бириниң ұақыт көшерине қыялық мүйешиниң тангенс анықланады. Темир менен алюминийдиң жыллылық сыйымлықлары (9)-формуланың жәрдеминде анықланады. Мыстың жыллылық сыйымлығының мәниси кестеде келтирилген. Буннан кейин алюминий менен темирдиң жыллылық сыйымлықларының температураға ғәрезлигиниң графиклери сызылады.

Тәжірийбелер нәтийжелерин қайта ислеўди компьютерлердиң жәрдеминде әмелге асырыў усынылады.

15-санлы лабораториялық жұмыс

Суйықлықтың бет керіу коэффицентин оның капилляр түтикшеде көтерілиу бийиклиги бойынша табыу

Керекли әсбаплар ҳәм материаллар: 1) катетометр, 2) ҳәр қыйлы диаметрлерге ийе капилляр түтикшелер, 3) капилляр түтикшелерди услайтуғын қысқышлар, 4) суйықлық қуйылатуғын стакан, 5) дистилляцияланған суў, 6) ағаштан исленген ултан, 7) миллиметрли масштаб, 8) әсбап.

Теориялық бөлими. Бет керіу күши суйықлық молекулаларының өз-ара тартылысыуы нәтийжесинде пайда болады. Сонлықтан бет керіу күши суйықлықтың бетин қәлеген ықтыярлы сызық бойынша екиге ажыратыу ушын керек болған күш болып табылады. Бул күштиң шамасы, суйықлықтың бетине жүргизилген сол ықтыярлы сызықтың узынлығына пропорционал:

$$f = \alpha l. \quad (1)$$

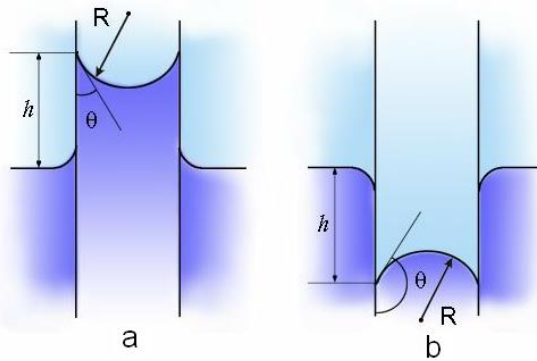
Бул аңлатпадағы α коэффицентин суйықлық бетиниң бирлик узынлығына тәсир ететуғын бет керіу күшине тең болып, ол бет керіу коэффицентин деп аталади. Бет керіу (бет керими) коэффицентин дн/см ямаса мГ/мм бирликлеринде өлшенеди.

Суйықлық бетиниң ыдыс дийуалына тийип турған жийеги иймек формаға ийе болатуғынлығы мәлим. Бет керіу күшлери бундай бетте қандай да бир қосымша қубылыстың жүзеге келиуине себеп болады. Суйықлық түтикше дийуалына жуғатуғын болса (ығаллайтуғын болса), онда түтикше ишиндеги суйықлықтың бети ойыс сфералық бет, ал жуқпайтуғын болса дөңес сфералық бет тәризли болады. Бул жағдай 1-сүүретте келтирилген. Түтикше ишиндеги сфералық беттиң майданы тегис бетке салыстырғанда үлкен, ал суйықлықтың бет керіу күши сфералық беттиң майданын киширейтиуге тырысады. Демек ойыс бетти тегислеуге ҳәрекет ететуғын жоқары қарай бағытланған күш тәсир етсе, онда бул күш дөңес бетке төмен (суйықлық ишинде) бағытланған болады. Демек ойыс бетке жоқары қарай бағытланған қосымша басым тәсир етсе, дөңес бетке төмен қарай бағытланған күш (басым) тәсир етеди. Солай етип суйықлық бетиниң иймеклиги қосымша басым пайда етеди екен.

Егер бет сфералық болса, қосымша басымның шамасын былайынша жазамыз:

$$\Delta p = 2\alpha/R. \quad (2)$$

Бул аңлатпада R арқалы беттің иймеклик радиусы белгиленген. Сұйықтың бетінің иймеклигі себепті пайда болған қосымша басым сұйықтың капилляр түтікшелерде көтеріліуіне (бул ығаллаушы сұйықтықтарда) хәм төменлеуіне (ығалламайтуғын сұйықтықтарда) себеп болады. Капиллярда сұйықтың көтеріліуі (төменлеуі) қубылысында сұйықтың бағанасының гидростатикалық басымы менен беттің иймеклигінен пайда болған қосымша басым тең салмақтық қалға болады.



1-сұйрет.

Жуғатуғын сұйықтың капилляр түтікше бойынша көтеріліуі (а сұйрет) хәм жуқпайтуғын сұйықтың (b сұйрет) капилляр түтікшеде дөңес сфералық бетті пайда етіуі. R арқалы беттің иймеклик радиусы белгиленген.

Егер сұйықтың түтікше дійуалын ығаллайтуғын болса, онда R иймеклик радиусы түтікшенің ишки радиусы r ге тең болады. Бундай жағдайда:

$$\Delta p = 2\alpha/r = \rho gh. \quad (3)$$

Бул аңлатпада ρ арқалы сұйықтың тығызлығы, h арқалы сұйықтың көтеріліу бийиклигі, g арқалы еркін түсіу тезлениуі белгиленген. Солай етип, капиллярдың радиусын, сұйықтың тығызлығын хәм оның капиллярдағы көтеріліу бийиклигін анықлап, бет керіу коэффициенті болған α шамасын (3)-формула бойынша табыу мүмкін екен.

Катетометрді тәрийиплеу. Өлшеу мүмкін болмайтуғын объектлерде вертикал аралықларды өлшеу ушын катетометрлер қоланылады.

Бул жумыста қолланылатуғын КМ-10 катетометрдің дүзилісі 2-сұйретте көрсетілген. Үш аяқты орнатылған металл цилиндрде иши геуек вертикал 2-полат труба-колонна жеңіл айланады хәм 1-винт жәрдемінде қатырылады.

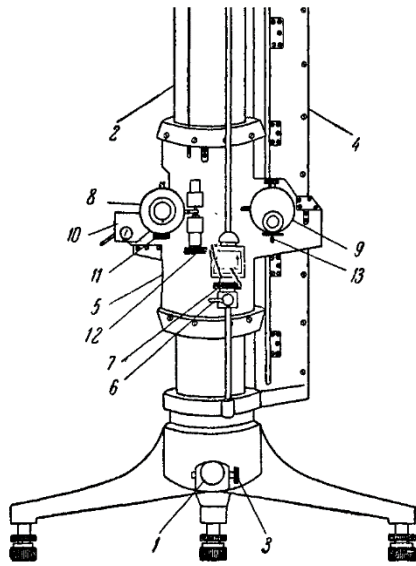
Труба жүдә киши мүйешлерге 3-винт арқалы бурылады (бунда 1-винт қатырып қойылған болыуы керек).

Колоннаға вертикал шийше шкаласы 4-курсау орнатылған. Бул шкала колонна көшеріне параллел жайласқан. Шкаланы электр лампочкасы жақтыландырып турады.

Колонна бойынша жоқарыға хәм төменге 5-каретка жылжый алады. Бул каретка колонна ишинде турған трос арқалы теңлестірилген. Каретка кереклі жағдайда 6-винт арқалы қатырылады. 6-винт қатырылып қойылған жағдайда каретка көрсеткішін аз ғана өзгертиу ушын 7-маховиктен пайдаланамыз.

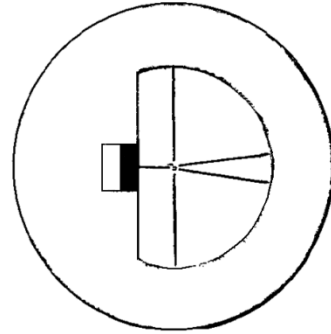
Кареткаға 8 көріу трубасы, 10 аспа әсбап хәм 9 өлшеу микроскопы орнатылған. Микроскоптың спираль окуляр микрометри бар. Көріу трубасының призмалары, аспа әсбап жуқа резинасының сұйретлемесін

трубаның көріу майданына туұырлайды. Трубаның көріу майданы 2-сұйретте сұйретленген.



2-сұйрет.

КМ-10 катетометрдің дүзилісі.



3-сұйрет.

Майданның қараға боялмаған киши бөлімінде (хәр қыйлы төртмүйешлікде) аспа әсбап жуқа резинасы ярымының контурлары көринип туыпты. Көріу майданының басқа бөлімінде трубаны көріу объектинде төрт туұры сызық көринип туыпты. Егер труба горизонтал орнатылған болса, жуқа резина ярымының контурлары үзіліксіз сызық пайда етеди. Егер труба горизонтал болмаса, жуқа резина ярымының контурлары бир-бирине қарап жылысады (3-сұйретте көрсетілген).

Труба объектдің ноқатына анық түсирилип, сол ноқат горизонтал сызық қәдінде болып, бир ноқатдан шығыушы еки туұры сызық арасында жататуғын болыуы керек (4-сұйрет). Бул туұры сызықларды анық көрсетиу ушын трубаның окуляры бурылады (анық көріу ушын бурыу керек). Труба объектке 11 винт арқалы фокусленеди (2-сұйретте көрсетілген). Микроскоптың көріу майданында трубалы каретканың вертикал жылжыуын 0,0002 мм ге шекем дәллікте табыуға имканият беретуғын үш шкала (5-сұйретте көрсетілген) болады.

Миллиметрдің оннан бир бөлеги еки қызыл вертикал сызық көринисіндеги шкаладан табылады. Бул шкаланың жоқарыдан төменге қаратып жазылған 0 ден 10 ға шекем (майда санлар) бөлімлери бар.

Пүтин миллиметрлер санын ири штрих қасында турған сан көрсетеди. Ири штрих биринши шкаланың нолинши хәм оныншы бөлімлери арасында турады. Миллиметрдің жүзден бир хәм мыңнан бир үлеслери, көз бенен шамалағанда он мыңнан бир үлеслери жоқарыдағы шеңбер тәризли шкаладан анықланады, бунда биринши шкала үстінде турған көрсеткиштен пайдаланылады. Миллиметрдің үлеслерин табыу ушын 13 маховиктен (2-сұйретте көрсетілген) пайдаланамыз. Оны төменнен жоқарыға қарағанда саат стрелкасы бойынша айландырып, спиралдың биринши орамы миллиметрлердің пүтин санын көрсетиуши штрих сызығына түсириледі. Бул

штрих спиралдың қос орамлары арасында еки вертикал қызыл сызық ортасында симметриялық жағдайды ийелеуи тийис. Егер шеңбер формасында шкала дәслепп нолге (13-маховикти бурып) келтирилген болса, штрихты орнатып болғаннан кейин жоқарғы шкаладан миллиметрдің жүзден бир хәм мыңнан бир үлеслерин табыу мүмкин. Бул үлеслер миллиметрдің пүтин хәм оннан бир үлеслерине қосылыуы керек.

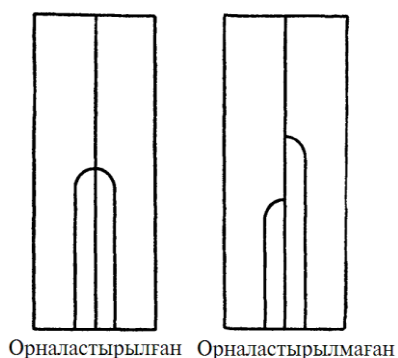
5-сүүретте санақ 12,2725 мм муғдарын бериўин үш шкала бойынша есаплаў мысал ретинде көрсетемиз. Өлшеўлерди орынлаў ушын катетометрдиң колоннасы дәл вертикал орнатылған болыўы керек. Буның ушын үш аяқтың винтлери таўланады ҳәм бул эсбапты монтажлаў ислери өткериледи. Буннан кейин бул ислерди қайтадан орынлаўға болмайды (үш аяқтың винтлерин қозғамаў керек).

Трубаны горизонт бағытындағы қалға келтиріу үшін 12-винт (2-сұйретте көрсетілген) тауланады. Каретка қандай жағдайда болсада (ол жылжыйды, колонна айландырылады) трубаның горизонтал жағдайда қалыуы (жуқа резина ярымларының контурлары үзлексіз ярым шеңберди пайда етіуі керек) шәрт.

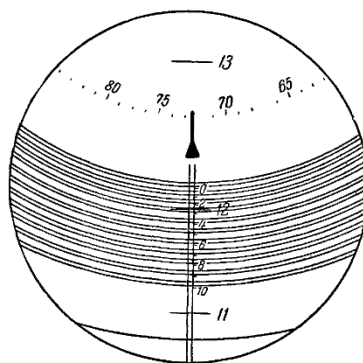
Киши аралықта жылжыу механизмдеринен (микрометрлик винтлерден) бақлау ноқаты жиплериниң кесисиу ноқаты жақын болғанда пайдаланыу лазым. Шкаланың шырағын жағамыз кейин санақ нәтийжелери табылады. Өлшенген узынлық санақ нәтийжелериниң айырмасына тең болады.

Өлшеу уақытында төмендегилерге: 1) трубаны қайтадан фокуслеместен өлшеуге, 2) трубаның горизонталлығы бойынша қалыуына, 3) өлшеу нәтижесі хәр бир нәқат ушын кемінде үш реттен табылуына қарап туруу керек.

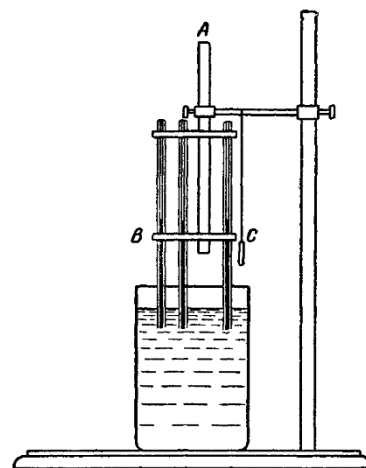
Әсбаптың катетометрди соғып шығарған завод тәрәпинен берилген тәрийпи менен танысып шығыўға кеңес беремиз.



4-сүүрэт.



5-сүүрэт.



6-сүүрэт.

Өлшеулер. Қолланылатуғын үш капилляр түтікшелердің ишкі диаметрлеринің МИР-1 типіндегі өлшеу микроскопы менен, сұйықтықтың түтікшелерде көтеріліу бийікліктері КМ-10 катетометрі менен өлшенеді. Катетометр менен өлшеудің дәлліктің дәрежесі қандай болуыын студенттің өзі бағалауы керек.

Қолланыудан алдын капилляр түтікшелер тазалап жууылады. Бунның ушын дәслепп калий дихроматның еритпесинде, күкірт кислотасында, буннан кейин дистилляцияланған суу хәм спирт пенен жууылады. Түтікшелерди жыллы хауда кептиреди. Кейин түтікшелер штативтиң тутқышына биримлеп қатырылып, олардың ишки диаметрлери өлшеуши микроскоп жәрдемінде пухталық пенен өлшенеди (түтікшениң көшери микроскоп көшерине перпендикуляр турууы, түтікшениң бир текли жақтыландырылған болууы керек). Хәр бир түтікшениң ишки диаметрин оның хәр қыйлы кесимлеринде кемінде үш реттен өлшеу керек. Табылған нәтийжелердин орташа арифметикалық мәниси алынады.

Егер түтікшениң хәр қыйлы кесимлериндеги ишки диаметрлериниң орташа мәниси бир-биринен көп айырмашылыққа ийе болса түтікшелер цилиндрлик формаға ийе болмайды. Соның ушын бундай капиллярлық түтікшелер тәжирийбелер өткеріу ушын жарамсыз болып табылады. Егер ишки диаметрлериниң орташа мәнислери арасындағы айырмашылық өлшеулерде жиберилетуғын қәтеликлерден артық болмаса олардың орташа арифметикалық мәниси табылады хәм бул мәнис цилиндр формасындағы капилляр түтікше диаметриниң хақыйқый мәниси деп қабыл қылынады. Диаметрлерди өлшеп болғаннан соң хәр қыйлы ишки диаметрли түтікшелер улыума АВ тутқышқа қатырылып қойылады (6-сүүрет). Олар аспа әсбапқа қарап вертикал орнатылып стакандағы дистилляцияланған сууға тәжирийбеге керегинен 2—3 см артық батырылады. Түтікшелер каналларының дийуаллары суу менен жүдә ығалланыуы ушын оларды усы жағдайда бир неше минут қалдырылады. Кейин түтікшелерди көтерип, қайтадан тутқышқа беккемлеп, олардағы менисктиң бийиклиги (пик) катетометр қурылмасында белгиленеди (хәр бир түтікшедеги менискдиң жағдайын билдириуши санға (өлшеу нәтийжесине) канал радиусиниң $1/3$ бөлегине тең бийикликти, яғный менискке тийисли дүзетиуди қосыу керек). Түтікшелер және де тереңирек батырылады хәм бир неше минут өткеннен кейин көтерип менисктиң бийиклиги (пик) табылады. Өлшеулерди кемінде үш рет тәкирарлағаннан соң бет керіу коэффициентиниң мәнисин есаплау керек.

Биз мениск деп қатты денениң бети менен тийискен орындағы суйықтың иймейген (майысқан) еркин бетин түсинемиз. Ал оптикада болса мениск деп еки сфералық бетлер менен шегараланған дөңес етип иймейген (ямаса ойыс түрде иймейген) линзаға айтады.

Есаплаулар. Егер түтікшелер жүдә таза болған жағдайда усы түтікшелердеги суйықтықлардың бийикликлери бирдей болууы керек. Бийикликлерди h_1 , h_2 хәм h_3 арқалы, түтікшелер каналларының радиусларын r_1 , r_2 хәм r_3 арқалы белгилеймиз. Онда:

$$\alpha = \frac{r_1 h_1}{2} \rho g = \frac{r_2 h_2}{2} \rho g = \frac{r_3 h_3}{2} \rho g.$$

Буннан

$$h_1 - h_2 = \frac{2\alpha}{\rho g r_1} - \frac{2\alpha}{\rho g r_2}$$

хәм

$$h_1 - h_3 = \frac{2\alpha}{\rho g r_1} - \frac{2\alpha}{\rho g r_3}$$

формулаларын аламыз. Демек

$$\alpha = \frac{r_1 r_2}{2(r_2 - r_1)} (h_1 - h_2) \rho g = \frac{r_1 r_3}{2(r_3 - r_1)} (h_1 - h_3) \rho g.$$

Бул теңликлерге r_1 , r_2 , r_3 , h_1 , h_2 , h_3 шамаларын өлшеулерден табылган мәнислерин қойып хәм ρ ның бақлау температурасындағы мәнисин кестеден (китаптың ақырына қараңыз) алып α коэффициентиниң мәнисин табамыз.

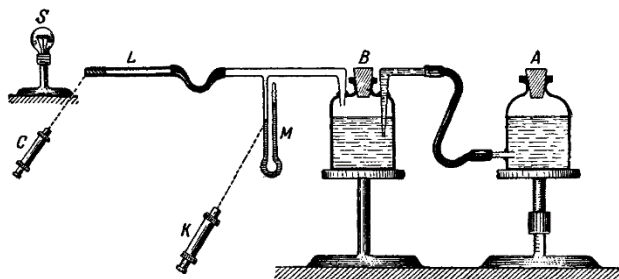
16-санлы лабораториялық жумыс

Бет керіу коэффициентин горизонтал капилляр жәрдеминде анықлау

Керекли әсбап хәм материаллар: 1) қурылма, 2) изертленетуғын сұйықлық қуйылған еки стакан, 3) еки капилляр.

Жумыстың теориялық бөлимин 15-санлы жумыстан оқыуды усыныс етемиз.

Усылды хәм қурылманы тәрийиплеу. Егер горизонтал орнатылған капиллярға оның дийуалларын ығаллаушы (жуғыушы) изертленилетуғын сұйықлықтың бир тамшысы киргизилсе, онда сұйықлық бағанасының еки ушында пайда болған еки мениск де ойыс болады. Бир тәрәпиндеги басымды жоқарылатып бағананы капиллярдың ақырына шекем жеткизип хәм олардың бир ушындағы менискти тегис етиу мүмкин. Сұйықлық бағанасының еки тәрәпиндеги басымлар айырмасын U формасына ийе манометр жәрдеминде өлшеу мүмкин. Манометрдеги сұйықлық бағанасы бийикликлериниң айырмасын катетометр ямаса горизонт тағытында орнатылған микроскоптың жәрдеминде өлшенеди.



1-сүүрет.

Бет керіу коэффициентин горизонтал капилляр жәрдеминде анықлау ушын қолланылатуғын дүзилистің схемасы.

Бул жағдайда бет керіу коэффициентини α төмендеги формуланың жәрдеминде есапланады:

$$\alpha = \frac{r}{2} \rho g h. \quad (1)$$

Бул аңлатпада r арқалы капиллярдың радиусы, g арқалы еркін түсіу тезленіуі, h арқалы манометрдегі сұйықтық қаддилеринің айырмасы, ρ арқалы манометрдегі сұйықтықтың тығызлығы белгиленген.

Суұлы A ыдысын (1-сұрет) қозғалыушы стол жәрдемінде жоқарыға көтеріп ямаса төменге түсіріп, басымды өзгертіу мүмкін; A ыдысы суұлы B ыдысқа сифон жәрдемінде жалғастырылған. B ыдыстың жоқарғы бөліміне L капилляры хәм M манометри бириктирилген. Мениск тегис болатуғын аұхалға сәйкес келиуіші A ыдысының аұхалын анықлау үшін L капиллярдың ушын S лампочкасы менен жақтыландырып C микроскопы қолланылады. Сұйықтықтың бети тегис болған жағдайда мениск бир тегис жақтыландырылады.

Капиллярдың ушлары пукта тегисленген хәм сұйықтық бағанасы капиллярдың ушына қарай аққанда оның усы ушының құрғақ болыуының тәмийинленіуі шәрт.

Манометрге қуйылған суұдың тығызлығын бир бирлікке тең деп алыу мүмкін. Капилляр радиусының мәніси пайдаланылып атырған әсбаптың турақлысы сыпатында көрсетіп қойылады ямаса оны өлшеу арқалы анықлайды.

Бет керимин анықлаудың бул усылын шийшени толық ығаллаушы сұйықтықтардың бет керими коэффициентин табыу үшін ғана қолланады. Бул усыл жүдә әпиуайы усыл болып табылады хәм оның жәрдемінде алынған нәтийжелер дурыс болып шығады хәм жүдә аз муғдардағы сұйықтықтың да бет керіу коэффициентин табыу мүмкін.

Өлшеулер. Бул жұмыста толуюл менен суу изертлениледі. Бет кериминің мәнісин мүмкін болғанынша анық табыу үшін өлшеулер кемінде еки капилляр түтикшениң жәрдемінде орынланады. Изертленилип атырған сұйықтықтардың тамшыларын капиллярлардың ишине киргизіу үшін капиллярлардың өзи ыдыс ишіндегі сұйықтыққа батырылады. Буннан кейин капиллярлар резинка түтикше жәрдемінде манометрдің ушына избе-излик пенен тутастырылады. Тийкарғы ұазыйпа капиллярдың ушының бир тегис жақтыландырылыуын көриуден ибарат. Бул A ыдысын вертикал бағытта көтеріу ямаса түсіріу менен әмелге асырылады. Усы моментте U тәризли монометрдегі сұйықтықтардың бийикликлеринің (қаддилеринің) айырмасын катетометр ямаса горизонт бағытында қойылған K микроскопы жәрдемінде өлшеу керек. A ыдысын төменге жылжытыу жолы менен сұйықтық бағанасы капиллярының ортасына көшириледі. Буннан кейин изертленип атырған сұйықтық бағанасы қайтадан капиллярдың ушына алып келинеді хәм монометр бағаналарындағы бийикликлер айырмасын өлшеулер кайталаыады. Өлшеулерди хәр бир капилляр ушын кемінде үш рет тәкирарланады хәм өлшеулер нәтийжелеринің орташа арифметикалық мәніси алынады.

Жұмысты орынлау хәм тапсыруу үшін сораулар

1. Жұмысты орынлау тәртіби.

2. Бет керіу күши қалай пайда болады? Керіу күши менен басыу күшинің айырмасы нелерден ибарат?
3. Бет керіу коэффициенті дегеніміз не?
4. Лаплас басымы қалай пайда болады хәм оның мәнісі қандай физикалық факторларға байланысly?
5. Не ушын таза шийшениң бетине тамызылған суу жайылып кетеди, ал сынап тамшы қалында қалады?
6. Ишине сынап қуйылған ыдысқа диаметрі 1 мм болған шийше түтикше түсірілген. Сынап шийшени толық ығалламайды деп есаплансын. Түтикше ишіндегі сынап бағанасының бийиклиги менен ыдыстағы сынаптың қәдди арасындағы айырма табылсын. Есаплау ушын зәрүрли болған физикалық шамалар китаптың ақырындағы кестелерден алынады.

17-санлы лабораториялық жұмыс

Хаўаның ығаллығын өлшеу

Теориялық бөлім. Атмосфера құрамында барлық ўақытта да қандайда бир муғдарда суу пуўлары болады. Хаўадаға пуўдың муғдары абсолют мәнісі бойынша да, тойыныў дәрежесі бойынша да өзгеріуі мүмкін. Хаўада суу пуўларының болыуы (ямаса хаўаның ығаллығы) бир қатар шамалар менен өлшенеди. Олардың қатарына абсолют ығаллық, максималлық ығаллық, салыстырмалы ығаллық хәм шық ноқаты киреди.

Әмелде хаўаның ығаллығын анықлау ушын психрометрлер хәм гигрометрлер деп аталатуғын әсбаптар пайдаланылады (1- хәм 2-сүүретлерде көрсетілген).

Абсолют ығаллық деп 1 м³ хаўадағы суу пуўының массасы менен аңлатылған муғдарына айтылады. Демек абсолют ығаллық суу пуўларының тығызлығы бойынша анықланады екен. Пуўдың тығызлығы менен басымы бир бирине пропорционал болғанлықтан метеорологияда әдетте абсолют ығаллықты суу пуўларының тығызлығы менен емес, ал оның мм сынап басымында өлшейди.

Температура 0°C хәм басым 760 мм сынап бағанасының басымындай болғанда 1 м³ құрғақ хаўаның салмағы 1293 граммға тең. Температура t°C хәм басым p мм сынап бағанасының басымы менен өлшенгенде 1 м³ хаўаның салмағы ушын Клапейрон теңлемесіне тийкарланып

$$\frac{1293}{1 + \alpha t} \cdot \frac{p}{760} \text{ Г}$$

аңлатпасын жаза аламыз. Бул аңлатпада $\alpha = 1/273$ арқалы хаўаның кеңейіу коэффициенті белгиленген. Бирдей температурада хәм бирдей басымда суу пуўының тығызлығының хаўаның тығызлығына қатнасы 0,622 шамасына тең. Суу пуўлары ушын Клапейрон теңлемесін қолланып (бул тойыныуға еле жетпеген пуўлар ушын дурыс) 1 м³ суу пуўының салмағы ушын

$$q = \frac{1293 \cdot 0,622}{760} \cdot \frac{p}{1 + \alpha t} = 1,06 \frac{p}{1 + \alpha t} \quad (1)$$

формуласын аламыз. Бул аңлатпада q арқалы көлем 1 м^3 болған суу пууының салмағы белгиленген.

Суу пууларының серпимлиги (парциаллық басымы) белгили болған жағдайларда (1)-формуланы пайдаланып ҳаўаның абсолют ығыллығын табыу мүмкин.

(1)-формуладан t шамасының киши мәнислеринде абсолют ығаллықтың санлық мәниси q дың суу пууларының серпимлиги p дан жүдә аз шамаға айырмаға ийе болатуғынылығы көринип тур. Сонлықтан абсолют ығыллық деп суу пууларының серпимлигин атау ҳәм оны мм сынап бағанасының басымында бериу қабыл етилген.

Салыстырмалы ығаллық

$$r = \frac{p}{P} \cdot 100\% \quad (2)$$

формуласының жәрдемінде анықланады. Бунда P арқалы температура t шамасына тең болғандағы кеңисликти толтырып турған пуудың серпимлиги белгиленген. Демек салыстырмалы ығаллық ҳаўаның суу пууына қанша дәрежеде тойынғанлығын билдиреди екен.

Ҳаўаның ығаллығы шық ноқатын табыу усылы менен ямаса психрометр усылы жәрдемінде анықланады. Ҳаўаның ығаллығын анықлау ушын еки усылды қолланғанда да усы китапшаға қосымшалар түрінде киргизилген мағлыұматлардан пайдаланыу керек.

1-тапсырма

Ҳаўаның ығаллығын шық ноқаты бойынша анықлау

Керекли әсбап ҳәм материаллар: 1) термометрли гигрометр, 2) күкирт эфири, 3) резинадан исленген армұрт тәризли үрлегиш (груша, қарақалпақ тилинде алмұрт).

Әсбаптың тәрийиплемеси ҳәм өлшеулер. Шық ноқаты деп ҳаўадағы суу пуулары тойынған суу пууларына айланатуғын температураға айтамыз. Демек шық ноқатында ҳаўадағы суу пуулары салқын бетлерде конденсациялана баслайды деген сөз.

Ең әпиұайы конденсациялық гигрометрлер қатарына Ламбрехт гигрометри киреди. Бул әсбап (3-сүўрет) ултанға орнатылған цилиндр формасындағы A металл ыдыстан ибарат. Ыдыстың бир қапталы полировкаланған болып, ол жыллылық өткизбейтуғын материалға бекитилген тап сондай B сақыйнасы менен қоршалған. Ыдыстың бир C саңлағы, еки B ҳәм E патрубogy бар. Ыдысқа C саңлақтан күкирт эфири қуйылады. Буннан кейин саңлаққа термометр орнатылған тығын тығылады. D патрубокка грушалы резина шланг кийгизилип, бул шлангдан эфир арқалы ҳаўа басымы түсириледі. Эфир пууына араласқан ҳаўа E патрубок арқалы

шығады. (Эфир пуы өжиреге шығып кетпеслиги ушын Е патрубокдан шыққан ҳаўаны суўлы ыдыс арқалы өткизиў керек).



1-сўрет. Стрелкалы гигрометрдиң сўрети. Бул эсбап ҳаўаның салыстырмалы ығаллығын процентлерде өлшейди.

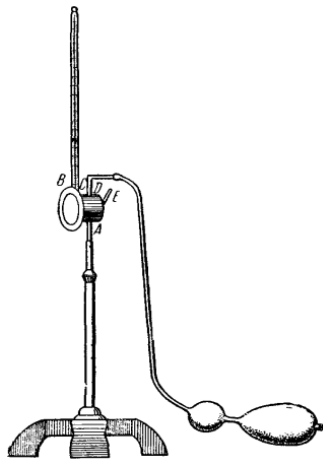


2-сўрет. Өжире ишиндеги температураны хәм салыстырмалы ығаллықты дәл өлшейтуғын психометрлик ВИТ-1 термометр-гигрометри.

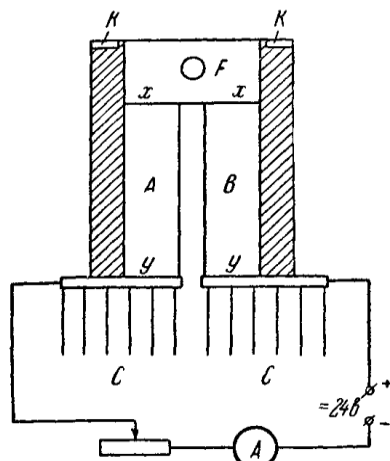
Эфир арқалы ҳаўа өткенде ол пуўланады, нәтийжеде температурасы төменлейди, ыдыс салқынлайды. Нәтийжеде ыдыстың тегисленген тәрәпинде қоршаған ҳаўадағы суў пуўларының конденсациясының салдарынан шық (тамшы) пайда бола баслайды. Эсбапты тегисленген тәрәпи менен сақыйнаны пукталық пенен жақтыландыратуғындай етип орнатыў керек. Шықтың пайда болыўын тегисленген тәрәптиң (сақыйнаға салыстырғанда) гүнгиртлениўине (қараўытыўына) қарап билиўге болады.

Эсбаптың тегисленген тәрәпи қараўыта баслаған t_1 температураны термометрге қарап имканияты барынша дәл анықлаў керек. Ҳаўа ағымын кемейтиў арқалы шық жоғалатуғын t_2 температура белгиленеди. t_1 хәм t_2 температуралары кеминде үш рет өлшенеди. Табылған шамалардың орташа мәнисин $t_{ш}$ шық ноқаты деп қабыл етиледі. Жумысты ороынлап атырған студенттиң дем алыўының әтирапындағы ығаллыққа тәсир ететуғынлығының алдын алыў керек.

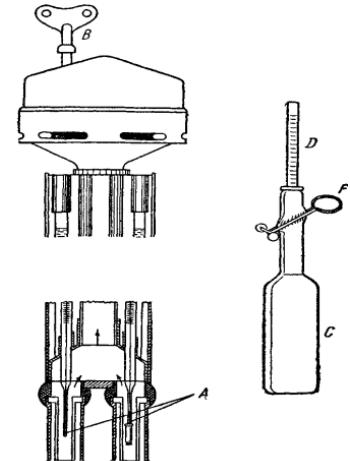
Хәр қыйлы температуралардағы суўдың тойынған пуўының басымы менен тығызлығы арасындағы байланыслар келтирилген кестеден пайдаланылады (усы китаптың ақырында арнаўлы кесте берилген). Усы кестеден пайдаланып хәм $t_{ш}$ шамасының мәниси бойынша ығаллықтың абсолют шамасы, өжире температурасының мәниси t ға байланыслы тоынған суў пуўларының басымы анықланады. Бул шамаларды билген ҳалда салыстырмалы ығаллық (2)-формуланың жәрдемінде есапланады.



3-сұйрет. Ламбрехт
гигрометри.



4-сұйрет. Электр
гигрометриниң схемасы.



5-сұйрет. Стандарт
аспирациялық
психометрдің схемасы.

2- тапсырма

Ығаллықты электр гигрометри жәрдеминде шық ноқаты бойынша анықлау

Электр гигрометриниң ислеу принципі Ламбрехт гигрометриниң ислеу принципі менен бирдей. Электр гигрометриниң өзгешелигі соннан ибарат, бул жағдайда температураның төменлеуі эфирдің пуўланыуының нәтижесинде емес, ал ярым өткізгішлердегі Пельтье эффектине байланысly төменлейди.

Электр гигрометриниң схемасы 4-сұйретте келтирилген. Оның шынжырына еки А хәм В ярым өткізгіш элемент жалғанған. Шынжырдан тоқ өтип турғанда элементлердің бир х ушларында жыллылық жутылады, сол ўақытта екинши у ушларында жыллылық бөлинип шығады. Бул ушлардың темпратураларын төменлетіу ушын С радиаторлар бириктирилген. Салқынлатылатуғын тәрепке F мыс цилиндри бириктирилип, оған термометр орнатыу ушын арналған тесик тесилген.

х ушлары шынжырдағы токтың белгили бир бағытында суўыйды. Соның ушын эсбаптың кириу клеммаларына, штеккерлерге хәм резеткаға «+» хәм «-» белгилери қойылған болады. Эсбап тармаққа қәте (полюслары алмастырылып) жалғанғанда А хәм В ярым өткізгішлердің х ушларында жыллылық жутылмайды, ал керисинше бөлип шығарылады. Нәтижеде эсбаптың бузылып қалыуы мүмкин. Эсбап шынжырына амперметр жалғанған. Бул шынжырындағы токтың шамасы 15 амперден аспауы керек.

Термоэлемент пенен бирге цилиндр жыллылық өткізбейтуғын қап ишине салынған. Мыс цилиндридің тийкарғы тәрепи тегисленген, ашық хәм оған этираптағы хаўа тиккелей тийип турады. Қаптал бети этирапына тегис К сақыйна кийдирилген. Бул сақыйна салқылатылатуғын цилиндриден жыллылық өткермейтуғын материал менен изоляцияланған.

Эсбапты пайдаланыудан алдын тегис бетлерге қаптал тәрепинен түсиу мүйеши 90° қа жақын болған жақтылық түсирилиуі керек. Буннан кейин

жалғанатуғын штеккерлердің белгилері тексеріп көріледі. Әсбап кернеуі 24 вольтти турақлы тоқ дерегине жалғанады.

Мыс блоктың температурасы төменлегенде оның полировкаланған бетінде этираптағы қауада болған суу пууыларының конденсацияланыуының ақыбетінде шық пайда болады. Шық пайда болатуғын температура термометр жәрдемінде кемінде $0,5^\circ$ дәллікде өлшениуі керек. Бул температурада суудың тойынған пууының басымы қауадағы пуудың парциал басымына тең болады.

Шық пайда болатуғын температураға жетип барғанда әсбапты шынжырдан ажыратыу керек. Тәбийий жыллылық алмасыуы нәтийжесінде мыс цилиндр қызады. Нәтийжеде шық жоғалады. Цилиндр бетіндегі шықтың жоғалыу моменті де термометрге қарап есапқа алынады. Шық пайда болыу хәм жоғалыу температураларын кемінде үш рет өлшеу керек. Табылған нәтийжелердің орташа $t_{ш}$ мәнісі алынады.

Тойынған пуу басымының $t_{ш}$ хәм t температураларға сәйкес келиуі p хәм P мәніслері кестелерден табылады. p шама абсолют ығаллықтың мм сынап бағанасындағы изленип атырған шамадан ибарат.

$r = (p/P) \cdot 100\%$ қатнасы [(2)-формулаға қараңыз] салыстырмалы ығаллықты анықлайды.

3-тапсырма

Қауаның ығаллығын психрометр жәрдемінде анықлау

Кереклі әсбап: аспираторлы стандарт психрометр.

Теориялық бөлім. Психрометр усылы қауа ығаллығын өлшеуде жүдә көп қолланылады. Оның тийкарғы мазмұны төмендегидей: еки бирдей термометр бирдей қауа ағымында турған болсын. Сонлықтан бул термометрлердің көрсетиуі де бирдей болыуы керек. Егер термометрлерден биреуінің балонына ығал батист орап қойылған болса, онда термометрлер бирдей температураны көрсетпейді. Батисттегі суудың пууланыуы себепли, «ығал» термометр құрғақ термометрге қарағанда төменирек температураны көрсетеді. Этираптағы қауаның ығаллығы қанша аз болса пууланыу сонша тезирек болады хәм ығал термометр соншама төмен температураны көрсетеді. Еки термометр көрсеткен температуралар айырмасы қауаның ығаллығын характерлейді. Пууланыу режими турақлы болғанда ығал термометр турақлы температураны көрсетеді. Усы уақытта сырттан термометрге берилип атырған Q_1 жыллылық мұғдарының шамасы термометр баллоншасының бетинен суудың пууланыуы ушын жумсалатуғын Q_2 жыллылық жыллылық мұғдарына тең болады.

Ньютон нызамы бойынша уақыт бирлиги ушын

$$Q_1 = a(t - t_1)S_1. \quad (3)$$

формуласын жаза аламыз. Бул жерде $t - t_1$ арқалы температураларының ең үлкен айырмасы, S_1 арқалы термометр баллоншасының бети, a арқалы пропорционаллық коэффициент белгиленген.

Дальтон нызамы бойынша ўақыт бирлиги ишиндеги пуўланыў

$$M = \frac{CS_2(p_{\text{ы}} - p)}{H}$$

аңлатпасы жәрдеминде анықланады. Бул аңлатпада M пуўланған суўдың массасы, S_2 арқалы пуўландырыўшы беттиң майданы, H арқалы ҳаўаның басымы, $p_{\text{ы}}$ арқалы пуўланыўшы суйықлықтың температурасындағы (яғный t_1 температурасындағы) тойыныўшы суў пуўының серпимлиги белгиленген. p арқалы ҳаўадағы суў пуўының серпимлиги, ал C арқалы ҳаўа ағымының тезлигине байланыслы болған пропорционаллық коэффициент белгиленген.

Q_2 жыллылық муғдарын төмендеги түрде жазыў мүмкин:

$$Q_2 = Mr = \frac{C_r S_2 (p_{\text{ы}} - p)}{H}. \quad (4)$$

Бул аңлатпада r арқалы суўдың пуўланыўының салыстырмалы жыллылығы (пуўланыўдың жасырын жыллылығы) белгиленген.

$Q_1 = Q_2$ ҳәм $S_1 = S_2$ шәртлери орынланғанда

$$\frac{C_r (p_{\text{ы}} - p)}{H} = a(t - t_1)$$

теңлиги орын алады. Буннан

$$p = p_{\text{ы}} - A(t - t_1)H. \quad (5)$$

Бул аңлатпада $A = \alpha/C_r$ — қолланылып атырған әсбап турақлысы. Бул турақлының мәниси тийкарынан ағымның тезлигине байланыслы болып, оның сан шамасы тәжирийбени өткерий барысында табылады.

Әсбаптың тәрийиплемеси ҳәм өлшеўлер. Бул жумыста қолланылатуғын аспираторлы стандарт психрометрдің дүзилиси 5-сүүретте көрсетилген. Бирдей болған еки A арнаўлы термометрлер көринип турыпты. Оң тәрәптеги термометрдің балоншасына батист оралған. Аспиратордың B гилти менен таўлап айландырылатуғын пружиналы вентиляторы бар.

Ҳаўа ағымларының (тезлиги 2,5 м/сек) жолы стрелкалар менен көрсетилген балонлардан өткеннен кейин еки ағым қосылып кетеди. Әсбаптың қызып кетиўиниң алдын алыў ушын оның металл бөлимлери никелленеди.

Батистти D пипеткаға ийе C резинка үрлеўши (груша) жәрдеминде ығалланады. Балонша дистилляцияланғна суўға толтырылады. Үрлеўшини азғана қысқанда пипеткадағы суў көтеріледі (бірақ пипетканың ушынан 1 см ден артпаўы керек). Суўдың қәдиниң бул шамасы F қысқыштың жәрдеминде сақланып турылады. Буннан кейин үлкен пухталық пенен пипетканы батистке ямаса сийлеге апарады ҳәм оны ығаллайды. Буннан кейин қысқышты ашып ондағы суўды үрлеўшиге қайтарып түсиреди. Ығаллаў ўақтында суўдың екінши термометрге ҳәм трубаның ишки бетине түспеўине дыққат аударыў шәрт. Кейин гилт B ның жәрдеминде вентиляторды айланысқа келтирип,

термометрлердің көрсетіулерін бақлаймыз. Бир канша ўақыттан кейин олар турақлы температураларды көрсетеди хәм температуралардың усы мәнислерин дәптерге жазып аламыз. Өлшеў барысында вентилятордың үзликсиз ислеп турыўы керек. Термометрлердің көрсетіулерин $\pm 0,1^0$ шамасына шекемги дәлликте жазып алыў талап етиледи .

Абсолют ығаллық аспираторли стандарт психрометр жәрдеминде төмендеги формуланың жәрдеминде анықланады:

$$p = p_{\text{ы}} - 0,000662(t - t_1)H. \quad (6)$$

$p_{\text{ы}}$ шамасы усы китаптың ақырында келтирилген арнаўлы кестеден алынады. Барометрлик басым барометрге қарап анықланады. Берилген температурадағы тойынған суў пуўының басымы кестеден алынады. Н өжире ишиндеги ҳаўаның басымы барометрдің жәрдеминде анықланады. Биз карап атырған жағдайда иймек сызықлар түринде сызылған арнаўлы номограммалардан пайдаланған қолайлы. Бул номограммаларды пайдаланғанда t хәм t_1 температураларын биле отырып салыстырмалы ығаллық муғдарын есаплаў жолы менен тез анықлайды.

Жумысты орынлаў ушын пайдаланылатуғын номограммада бойынша салыстырмалы ығаллық вертикал туўры сызықлар («қурғақ» термометр температурасы) менен қыя туўры сызықларының («ығал» термометр температурасы) кесисиў ноқаты сыпатында анықланады.

Өлшеў нәтийжелерин шық ноқаты усылы менен табылған нәтийжелерге салыстырып көриў керек.

Жумысты орынлаў тәртиби

1. В гилтти 5-6 рет таўлап, вентилятор ислетиледи хәм термометрдің көрсетіуи бақланады.
2. Термометрлердің көрсетіулерин 4-5 минуттан кейин жазып алады. Бул ўақыт ишинде эсбаптың вентиляторы бир тегис ислеп турыўы керек.
3. Атмосфера басымы H барометрдің көрсетіуи бойынша жазып алынады.
4. «Ығал» термометр көрсетип турған $t_{\text{ы}}$ температурада тойынған пуў басымы $p_{\text{ы}}$ кестеден алынады.
5. Ҳаўаның абсолют ығаллығы (8)-формула жәрдеминде анықланады.
6. Егер психрометр турақлысы (а/с\л) белгисиз болса, (9)-формула жәрдеминде психрометр турақлысы есапланады.
7. Ҳаўаның салыстырмалы ығаллығы $B = (p/p_m) \cdot 100 \%$ теңлиги жәрдеминде есапланады.

№	H, мм сынап бағанасы басымында	t, °C	t ₁ , °C	Абсолют хәм салыстырмалы ығаллық		
				p _ы , мм сынап бағанасы	%	
					Есаплаў	Психрометрлик кестеден

Жұмысты іслеу хәм тапсырыу ушын сораулар

1. Атмосфералық басым дегенимиз не? Хаўаның абсолют хәм салыстырмалы ығаллығы дегенимиз не?
2. Тойынған пуўдың басымы дегенимиз не хәм оның шамасы қандай физикалық шамаларға байланысly?
3. Абсолют ығаллықты өзгертпей хаўаның температурасы төменлегенде психрометр термометрлері қалай өзгереді?
4. Нормаль жағдайдағы 1 м^3 суў пуўының массасын граммларда есаплап көрсетиңіз.
5. Ламбрехт гигрометри дегенимиз не хәм оның қурылысы қандай?

Кестелер

Бирликлердің халық аралық системасы

Шама	Өлшем бирлиги	Бирліклердің қысқаша белгилениуі		Туұынды бірліклердің өлшемлері
		қарақал-пақша	Латын ямаса грекше	
Тийкарғы бірліклер				
Узынлық	Метр	м	m	-
Масса	Килограмм	кг	kg	-
Ұақыт	Секунд	сек	s	-
Электр тоғының күши	Ампер	а	A	-
Термодинамикалық температура	Кельвин градусы	°Қ	°K	-
Жақтылық күши	Шам	шам	cd	-
Қосымша бірліклер				
Тегис мүйеш	Радан	рад	rad	-
Денелик мүйеш	Стерадан	стер	sr	-
Туұынды бірліклер				
Майдан	Квадрат метр	м ²	m ²	(1 м) ²
Көлем	Куб метр	м ³	m ³	(1 м) ³
Жийилик	Герц	гц	Hz	1:1 сек
Тығызлық (көлемлик масса)	Куб метрдеги килограмм	кг/м ³	kg/m ³	(1 кг):(1 м) ³
Тезлик	Секундына метр	м/сек	m/s	(1 м):(1 сек)
Мүйешлик тезлик	Секундына радиан	рад/сек	rad/s	(1 рад):(1 сек)
Тезлениұ	Квадрат секундтағы метр	м/сек ²	m/s ²	(1 м):(1 сек) ²
Мүйешлик тезлениұ	Квадрат секундтағы радиан	рад/сек ²	rad/s ²	(1 рад):(1 сек) ²
Күш	Ньютон	н	N	(1 кг)·(1 м):(1 сек) ²
Басым (механикалық кернеұ)	Квадрат метрдеги Ньютон	н/м ²	N/m ²	(1 н):(1 м) ²
Динамикалық жабысқақлық	Квадрат метрдеги Ньютон-секунд	н·сек/м ²	N·s/m ²	(1 н)·(1 сек):(1 м) ²
Кинематикалық жабысқақлық	Секундына квадрат метр	м ² /сек	m ² /s	(1 м) ² :(1 сек)

Жұмыс, энергия, жыллылық мұғдары	Джоуль	дж	J	(1 Н)·(1 м)
Қуаттық	Ватт	вт	W	(1 дж):(1 сек)

Тийкарғы физикалық константалар хәм бирликлер

Физикалық турақлының атамасы	Белгилениуи хәм СГС системасындағы сан мәніси	СИ системасындағы сан мәніси
Ваккумдеги жақтылықтың тезлиги.	$c = 2,998 \cdot 10^{10}$ см/с	$299\,792\,458$ м·с ⁻¹
Гравитациялық турақлы	$G = 6,6720 \cdot 10^{-8}$ см ³ /(г·с ²)	$6,674\,28(67) \times 10^{-11}$ м ³ ·кг ⁻¹ ·с ⁻²
Авагадро саны.	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹	$6,022\,141\,79(30) \times 10^{23}$ моль ⁻¹
Лошмидт саны.	$n_0 = 2,69 \cdot 10^{19}$ см ⁻³	
Универсаллық газ турақлысы.	$R = 8,314$ дж/(град·моль)	$8,314\,472(15)$ Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
Газдиң стандарт көлеми.	$V_0 = 22,42$ л/моль	
Больцман турақлысы.	$k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град	$1,380\,6504(24) \times 10^{-23}$ Дж·К ⁻¹
Қозғалыс мұғдары моментиниң кванты \hbar .	$\hbar = 1,054 \cdot 10^{-27}$ эрг·с	$1,054\,571\,628(53) \times 10^{-34}$ Дж·с
Планк турақлысы $h = 2\pi\hbar$	$6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-27}$ эрг·с	$6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Элементар заряд.	$e = 4,80 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ(q)	$1,602\,176\,487(40) \times 10^{-19}$ Кл
Электронның салыстырмалы заряды.	$\frac{e}{m} = 5,273 \cdot 10^{17}$ СГСЭ(q)/г	
Фарадей саны.	$F = 96520$ к/(г·экв)	$96\,485,3399(24)$ Кл·моль ⁻¹
Стефан-Больцман турақлысы.	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12}$ вт/(см ² ·град ⁴)	$5,670\,400(40) \times 10^{-8}$ Вт·м ⁻² ·К ⁻⁴
Винниң аұысу нызамының турақлысы.	$b_\omega = \frac{\omega_m}{T} = 3,69 \cdot 10^{11}$ рад/(с·град) $b_\lambda = \lambda_m T = 0,29$ см·град	
Ридберг турақлысы.	$R_\infty = \frac{m_e e^4}{4\pi\hbar^3 c} = 109737,31$ см ⁻¹	$109\,677,585\,685\,27(73)$ см ⁻¹
Биринши Бор радиусы.	$r_1 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 0,529 \cdot 10^{-8}$ см	$0,529\,177\,208$ $59(36) \times 10^{-10}$ м
Водород атомындағы электронның байланыс энергиясы.	$E = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} = 13,59$ эв	
Комптон толқын узынлығы: Электрон ушын Протон ушын	$\Lambda_e = \frac{2\pi\hbar}{m_e c} = 2,426 \cdot 10^{-10}$ см $\Lambda_p = \frac{2\pi\hbar}{m_p c} = 1,321 \cdot 10^{-13}$ см	
Электронның классикалық радиусы.	$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2,82 \cdot 10^{-13}$ см	
Томсон шашырауының кесе-кесими.	$\sigma_T = \frac{8\pi}{3} r_e^2 = 6,65 \cdot 10^{-25}$ см ²	

Жуқа құрылыс турақтысы.	$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$	$7,297\,352\,5376(50) \times 10^{-3}$
Бор магнетоны.	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c} = 0,927 \cdot 10^{-20}$ эрг/э	$927,400\,915(23) \times 10^{-26}$ Дж·Тл ⁻¹
Ядролық магнетон	$\mu_y = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05 \cdot 10^{-24}$ эрг/э	$5,050\,783\,24(13) \times 10^{-27}$ Дж·Тл ⁻¹
Массаның жаңа бирлиги.	$1e = 1,660 \cdot 10^{-24} \text{ г} = 931,44$ МэВ	$1,660\,538\,782(83) \times 10^{-27} \text{ кг}$

Гейпара бирликлер арасындағы қатнастар

$1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$	$1 \text{ дж} = 10^7 \text{ эрг}$	$1 \text{ к} = 3 \cdot 10^9 \text{ СГСЭ}$
$1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2$	$1 \text{ эв} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$	$1 \text{ а} = 3 \cdot 10^9 \text{ СГСЭ}$
$1 \text{ ферми} = 10^{-13} \text{ см}$	$1 \text{ кал} = 4,18 \text{ дж}$	$1 \text{ в} = 1/300 \text{ СГСЭ}$
$1 \text{ жыл} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$	$1 \text{ атм} = 1,014 \cdot 10^6 \text{ дин/см}^2$	$1 \text{ ом} = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \text{ СГСЭ}$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/град} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град} = 0,862 \cdot 10^{-4} \text{ эв/град}.$$

$$1 \text{ эВ} = 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ эВ}.$$

$$h = 4,1437 \cdot 10^{-15} \text{ эВ·с}.$$

$$\hbar = 0,65875 \cdot 10^{-15} \text{ эВ·с}.$$

$$1 \text{ э} = 5,6 \cdot 10^{32} \text{ эВ} = 5,5 \cdot 10^{23} \text{ ГэВ}.$$

Барометрдің көрсеткен шамаларын 0°C ға келтиріу

0°C температурада дурыс болған Н бийиклигиндегі барометрдің көрсетіуі бойынша температура t^0 шамасынан $(0,000182 - \beta) \cdot H$ т ны алып таслағандағы шамалар. Масштабтың кеңейіу (латунь ушын) коэффицинети β шамасының мәніси 0,000019 ға тең деп алынған. Бул шама шийше масштаб ушын 0,008 t ға шекем үлкейтилиуі керек (соңғы бағанаға қараңыз).

Миллиметрлердегі өлшенген бийиклик Н												0,008 × t
t°C	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	
1	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,01
2	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,02
3	0,33	0,34	0,34	0,35	0,34	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,02
4	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,03
5	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,04
6	0,67	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,05
7	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,06
8	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	0,06
9	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14	0,07
10	1,11	1,12	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,22	1,24	1,26	1,27	0,08
11	1,22	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,36	1,38	1,40	0,09
12	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	0,10
13	1,44	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	0,11
14	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76	1,78	0,11
15	1,66	1,69	1,71	1,74	1,76	1,78	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	0,12

16	1,77	1,80	1,83	1,85	1,88	1,90	1,93	1,96	1,98	2,01	2,03	0,13
17	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,13	2,16	0,14
18	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	0,14
19	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,42	0,15
20	2,22	2,25	2,28	2,31	2,35	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	0,15
21	2,33	2,36	2,40	2,43	2,46	2,50	2,53	2,57	2,60	2,64	2,67	0,17
22	2,44	2,47	2,51	2,55	2,58	2,62	2,65	2,69	2,73	2,76	2,80	0,18
23	2,55	2,69	2,62	2,66	2,70	2,74	2,77	2,81	2,85	2,89	2,92	0,18
24	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,89	2,93	2,97	3,01	3,05	0,19
25	2,77	2,81	2,85	2,89	2,93	2,97	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	0,20
26	2,88	2,92	2,97	3,01	3,05	3,09	3,14	3,18	3,22	3,26	3,31	0,21
27	2,99	3,04	3,08	3,12	3,17	3,21	3,26	3,30	3,34	3,39	3,43	0,22
28	3,10	3,15	3,19	3,24	3,29	3,33	3,38	3,42	3,47	3,51	3,56	0,22
29	3,21	3,26	3,31	3,36	3,40	3,45	3,50	3,55	3,59	3,64	3,69	0,23
30	3,33	3,37	3,42	3,47	3,52	3,57	3,62	3,67	3,72	3,77	3,81	0,24
31	3,44	3,49	3,54	3,59	3,64	3,69	3,74	3,79	3,84	3,89	3,94	0,25
32	3,55	3,60	3,65	3,70	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,02	4,07	0,26
33	3,66	3,71	3,77	3,82	3,87	3,93	3,98	4,03	4,09	4,14	4,20	0,26
34	3,77	3,82	3,88	3,93	3,99	4,05	4,10	4,16	4,21	4,27	4,32	0,27
35	3,88	3,94	3,99	4,05	4,11	4,16	4,22	4,28	4,34	4,39	4,44	0,28

Барометрдің көрсетілуіне капиллярлыққа байланысты қосылатуғын дүзетіу

(Дүзетіулер миллиметрлерде берілген, бул дүзетіуді өлшенген бийикликке қосыу керек)

Миллиметрлердег и трубканың диаметри	Миллиметрлердеги менисктиң бийиклиги							
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9
4	0,83	1,22	1,54	1,98	2,37	-	-	-
5	0,47	0,65	0,86	1,19	1,45	1,80	-	-
6	0,27	0,41	0,56	0,78	0,98	1,21	1,43	-
7	0,18	0,28	0,40	0,53	0,67	0,82	0,97	1,13
8	-	0,20	0,29	0,38	0,46	0,56	0,65	0,77
9	-	0,15	0,21	0,28	0,33	0,40	0,46	0,52
10	-	-	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37
11	-	-	0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27
12	-	-	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,19
13	-	-	0,04	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14

Хәр қыйлы температуралардағы құрғақ ҳауаның тығызлығы

Температура t^0 ҳәм басым сынап бағанасының H миллиметріндеги құрғақ ҳауаның тығызлығы δ төмендеги формуланың жәрдеминде есапланады:

$$\delta = \frac{0,0012932}{1 + 0,00367 \cdot t} \cdot \frac{H}{760}$$

t ⁰ ,C	Миллиметрлердеги Н								
	700	710	720	730	740	750	760	770	780
0	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310	1327
1	1187	1204	1221	1238	1255	1272	1288	1305	1322
2	1182	1199	1216	1233	1250	1267	1284	1300	1318
3	1178	1195	1212	1229	1245	1262	1279	1296	1313
4	1174	1191	1207	1224	1241	1258	1274	1291	1308
5	1170	1186	1203	1220	1236	1253	1270	1287	1303
6	1165	1182	1199	1215	1232	1249	1265	1282	1299
7	1161	1178	1194	1211	1228	1244	1261	1277	1294
8	1157	1174	1190	1207	1223	1240	1256	1273	1289
9	1153	1169	1186	1202	1219	1235	1252	1268	1285
10	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264	1280
11	1245	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259	1276
12	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1239	1255	1271
13	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251	1267
14	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246	1262
15	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242	1258
16	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238	1254
17	1121	1137	1153	1169	1185	1201	1217	1233	1249
18	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1203	1229	1245
19	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225	1241
20	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1236
21	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216	1232
22	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212	1228
23	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208	1224
24	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204	1220
25	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200	1216
26	1087	1103	1118	1134	1149	1165	1181	1196	1212
27	1084	1099	1115	1130	1146	1161	1177	1192	1208
28	1080	1096	1107	1123	1138	1153	1169	1184	1200
29	1077	1092	1107	1123	1138	1153	1169	1184	1200
30	1073	1088	1104	1119	1134	1150	1165	1180	1196

**Хәр қыйлы температуралардағы суўдың тойынған пуўының
басымы менен тығызлығы**

t, °C	p, мм сынап бағанасында	1 м ³ пуўдың граммларда берилген массасы	t, °C	p, мм сынап бағанасында	1 м ³ пуўдың граммларда берилген массасы
-10	1,95	2,14	22	19,83	19,4
-8	2,32	2,54	24	22,38	21,8
-6	2,76	2,99	26	25,21	24,4
-4	3,28	3,51	28	28,35	27,2
-2	3,88	4,13	30	31,82	30,3
0	4,58	4,84	32	35,66	33,9
2	5,29	5,60	34	39,90	37,6
4	6,10	6,40	36	44,56	41,8
6	7,01	7,3	38	49,69	46,3
8	8,05	8,3	40	55,32	51,2

10	9,21	9,4	50	92,5	83,0
12	10,52	10,7	60	149,4	130
14	11,99	12,1	70	233,7	198
16	13,63	13,6	80	355,1	293
18	15,48	15,4	90	525,8	500
20	17,54	17,3	100	760,0	598

Суудың хәр қыйлы температуралардағы тығызлығы

t ⁰ , C	Тығызлық, г/см ³	t ⁰ , C	Тығызлық, г/см ³	t ⁰ , C	Тығызлық, г/см ³
0	0,99987	12	0,99952	24	0,99732
1	0,99993	13	0,99940	25	0,99707
2	0,99997	14	0,99927	26	0,99681
3	0,99999	15	0,99913	27	0,99654
4	1,00000	16	0,99897	28	0,99626
5	0,99999	17	0,99880	29	0,99597
6	0,99997	18	0,99862	30	0,99567
7	0,99993	19	0,99843	31	0,99537
8	0,99988	20	0,99823	32	0,99505
9	0,99981	21	0,99802	33	0,99472
10	0,99973	22	0,99780	34	0,99440
11	0,99963	23	0,99757	35	0,99406

Базы бир суйықлықлардың тығызлығы

Атамасы	Химиялық формуласы	t ⁰ , C	Тығызлық, г/см ³
Амил спирти	C ₅ H ₁₂ O	0	0,815
Анилин	C ₆ H ₇ N	0	1,015
Ацетон	C ₃ H ₆ O	20	0,792
Бензол	C ₆ H ₆	20	0,879
Суў	H ₂ O	4	1,000
Глицерин	C ₃ H ₅ (OH) ₃	0	1,260
Керосин		0	0,8
Нефть		0	0,80
Бензин		0	0,70
Ксилол	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	18	0,85
Метил спирти	CH ₄ O	0	0,792
Нитробензол	C ₆ H ₅ O ₂ N	18	1,21
Сынап	Hg	0	13,596
Күкирт (этил) эфири	C ₄ H ₁₀ O	0	0,716
Күкиртли углерод	CS ₂	0	1,263
Скипидар	C ₁₀ H ₁₀	16	0,858
Толуол	C ₇ H ₈	18	0,87
Сирке кислотасы	CH ₃ COOH	18	1,049
Хлороформ	CHCl ₃	18	1,483

Этил спирти	C_2H_6O	0	0,789
-------------	-----------	---	-------

Базы бир қатты денелердің тығызлықтары

Атамасы	Тығызлық, г/см ³	Атамасы	Тығызлық, г/см ³
Алюминий	2,5889	Қалайы	7,29
Германий	5,323	Қорғасын	11,336
Кремний	2,33	Гүмис	10,78682
Муз	0,9	Полат	7,8
Мыс	8,96	Хром	7,19
Нихром	8,4	Сынап	13,5461
Алтын	19,32	Темир	7,874
Титан	4,505	Уран	19,040

Базы бир газлердің тығызлықтары

(нормал атмосфера басымында)

Азот	0,012506	Хауа	0,0129
Водород	0,0009	Кислород	0,0143
Хлор	0,03214	Озон	0,02144
CO ₂	0,01977	CO	0,0125

Затлардың жыллылық қасиеттері

Зат	Салыстырмалы жыллылық сыйымлығы, кДж/(кг·К)	Ериу температурасы, °C	Ериудің салыстырмалы жыллылығы, кДж/кг
Қатты денелер			
Алюминий	0,89	660	380
Муз	2,1	0	334
Мыс	0,38	1083	214
Қалайы	0,23	232	59
Қорғасын	0,13	327	23
Гүмис	0,23	961	87
Полат	0,46	1400	82
Сұйықтықтар			
Су	4,19	100	2,3
Сынап	0,14	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

Газлердің жыллылық қасиеттері

Атамасы	Турақлы басымдағы салыстырмалы жыллылық сыйымлығы, кДж/(кг·К)	Нормал басымдағы конденсация температурасы
Азот	1,05	-196
Водород	14,3	-253
Ғауа	1,01	-
Гелий	5,29	-269
Кислород	0,913	-183

Сұйықтықтардың 20°C температурадағы бет керими коэффициенттері, мН/м

Су	73	Сүт	46
Бензин	21	Спирт	22
Керосин	24	Нефть	30
Сабынның еритпесі	40	Сынап	510

Жанылғының жаныуының салыстырмалы жыллылығы

Бензин	44	Порох	3,8
Ағаш	10	Спирт	29
Дизель жанылғысы	42	Реактив самолетлар ушын жанылғы	43
Тас көмір	29	Шәртлі жанылғы	29
Керосин	46		

Тойынған суық суының басымы р менен тығызлығы ρ ның температурадан ғәрезлиги

t°, C	p, кПа	ρ, г/м³	t°, C	p, кПа	ρ, г/м³
-5	0,40	3,2	11	1,33	10,0
0	0,61	4,8	12	1,40	10,7
1	0,65	5,2	13	1,49	11,4
2	0,71	5,6	14	1,60	12,1
3	0,76	6,0	15	1,71	12,8
4	0,81	6,4	16	1,81	13,6
5	0,88	6,8	17	1,93	14,5
6	0,93	7,3	18	2,07	15,4
7	1,0	7,8	19	2,20	16,3
8	1,06	8,3	20	2,33	17,3

9	1,14	8,8	25	3,17	23,0
10	1,23	9,4	50	12,3	83,0

Пайдаланылган адабиятлар дизими

1. Э.Н.Назирова, З. А. Худойбергенова, «Механика ва молекулалық физикадан амалий машғулотлар», «Ўзбекистон». Ташкент, 2001.
2. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под редакцией Л.Л.Гольдина. «Наука». Москва. 1973. 688 с.
3. В.И.Ивернова. Физикадан практикум «Механика ва молекулалық физика», «Ўқитувчи». Ташкент, 1979. 380 с.
4. М. Хайдарова, У. Назаров «Физикадан лаборатория ишлари», Ташкент, «Ўқитувчи» 1989.
5. Лабораторный практикум по физике. Под редакцией В.Н.Александрова. Москва. 2010. 124 с.
6. А.К. Кикоин, И.К.Кикоин. «Молекулалық физика», Ташкент. «Ўқитувчи», 1978.
7. Т.Саидмуродов, М.Ваҳабов. «Молекулалық физикадан практикум», Ташкент. «Ўқитувчи», 1987. 158 б.
8. В.И.Агапов, Г. В. Максютин, Лабораторный практикум по физике, Москва, Высшая школа, 1982. 335 с.
9. Лабораторный практикум по общей физике. Под редакцией Е.М.Гершензона и Н. Н. Малова. Москва, Просвещение, 1985. 352 с.
11. Александров В.Н., Бирюков С.В., Васильева И.А. и др. Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике. Под редакцией Гершензона Е.М. и Мансурова А.Н. Издательство «Академия». Москва. 2004. 464 с.