№ 10 лабораториялық жұмыс

КЛЕМАН-ДЕЗОРМ ° ДІСІ БОЙЫНША АУАНЫ³ C_P/C_V ЖЫЛУ СЫЙЫМДЫЛЫ²ТАРЫНЫ³ ²АТЫНАСЫН АНЫ²ТАУ

1. **Ж½мыстың ма°саты:** газдар ¾шін Клеман-Дезорм › дісімен (адиабатты° ½л¹аю › дісі) танысу. Ауа ¾шін C_P/C_V °атынасын ¼лшеу.

2. ²ыс°аша теориялы° кіріспе.

Термодинамикалы° ж¾йе деп ¼зара ж›не сырт°ы ортамен энергия ж›не информациямен алмасулары болатын кез келген денені немесе денелер жиынты¹ын

айтады. Т½йы°тал¹ан ж¾йе деп сырт°ы ортамен ›серлеспейтін, я¹ни энергиямен (затпен) де, информациямен де алмаспайтын ж¾йені айтады. Ашы° ж¾йе деп °орша¹ан ортамен энергиямен (затпен) де, информациямен де алмасатын ж¾йені айтады.

Ж¾йенің к¾йі к¼лем V, °ысым P, температура T, масса m, молярлы° масса μ сия°ты параметрлермен аны°талады. Осы шамаларды байланыстыратын теңдеуді зат к¾йінің теңдеуі деп атайды. Жалпы т¾рде к¾й теңдеуі былай жазылады:

$$f(P,V,T,m,\mu) = 0. \qquad (10.1)$$

Идеал газ к¾йін сипаттайтын Менделеев-Клапейрон теңдеуі:

$$PV = \frac{m}{\mu}RT, \qquad (10.2)$$

м½нда¹ы $R = 8{,}31\ \frac{Дж}{моль \cdot K}$ - универсал газ т½ра°тысы.

Ж¾йенің °½рамында¹ы барлы° б¼лшектердің (молекулалардың немесе атомдардың) кинетикалы° ж›не потенциалды° энергияларының °осындысы ішкі энергияны U береді. Ішкі энергия ж¾йе күйінің функциясы.

Термодинамикалы° жүйе сырт°ы ортамен екі т¾рлі (жылу алмасу ж›не ж½мыс т¾рінде) жолмен алмасады. Жылу м¼лшері (немесе жылу) деп жылу алмасу процесі кезінде ж¾йеден (немесе ж¾йеге) берілген ішкі энергияның б¼лігін айтады. Егер жылу сырт°ы ортадан ж¾йеге берілсе, онда жылу оң (Q>0), ал керісінше жа¹дайда жылу теріс (Q<0) деп есептеледі.

Сырт°ы параметрлердің ¼згеруі н›тижесінде ж¾йеден сырт°ы орта¹а (немесе сырт°ы ортадан ж¾йеге) берілген энергияны ж½мыс дейді. Егер энергия ж¾йеден

сырт°ы орта¹а берілсе, ж½мыс оң болады да (A>0), ал керісінше сырт°ы ортадан ж¾йеге берілсе, ж½мыс теріс (A<0) болады. Жылу мен ж½мыс бір к¾йден екінші к¾йге °алай ¼тетіне т›уелді, сонды°тан олар к¾й функциясы болмай процестің функциясы болады.

Термодинамикалың бірінші заңы. Термодинамикалы° ж¾йеге °атысты энергияның са°талу ж›не айналу заңы термодинамиканың бірінші заңы (бастамасы) деп аталады. Ж¾йеге берілген жылу м¼лшері ж¾йенің ішкі энергиясын ¼згертуге ж›не сырт°ы к¾штерге °арсы ж¾йенің ж½мыс істеуіне ж½мсалады:

$$\delta Q = dU \pm \delta A \quad \text{немесе} \quad dU = \delta Q \mp \delta A, \qquad (10.3)$$

м½нда¹ы δ таңба жылу мен ж½мыс к¾йдің функциясы емес екендігін, сонды°тан олардың толы°

дифференциалы болмайтынды¹ын к¼рсетеді. Термодинамиканың бірінші заңы жылу мен ж½мыстың арасында эквиваленттік байланыс бар екендігін к¼рсетеді. 1842 жылы Майер термодинамиканың бірінші заңын тірі организмге ºолданып, биоэнергетиканың негізін ºалады. Тірі организм ішіндегі тоты¹у процесі кезінде б¼лініп шы¹атын энергия жылу¹а ж›не механикалыº ж½мыс істеуге кетеді.

Идеал газдың жылусыйымдылы¹ы. Массалары ›рт¾рлі ж›не ›рт¾рлі материалды денеге берілген бірдей жылу оларды ›рт¾рлі деңгейде ºыздыратынды¹ын т›жірибе к¼рсетеді. Со¹ан байланысты термодинамикада жылусыйымдылыº деген ½¹ым енгізіледі.

Жылусыйымдылыº деп термодинамикалыº процесте денеге берілген dQ жылудың дененің температурасының ¼згеруіне dT ºатынасына тең физикалыº шаманы айтады:

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + \delta A}{dT}. \qquad (10.4)$$

Ж¾йенің жылусыйымдылы¹ы ж¾йені ºыздыру ›дісіне байланысты ›р т¾рлі м›нге ие болады, я¹ни к¾йдің функциясы болмай процестің функциясы болады. Жылусыйымдылыº дененің химиялыº º½рамына, массасына, к¾йіне ж›не термодинамикалыº процеске байланысты.

Жылусыйымдылыºтың екі т¾рі болады. Меншікті жылусыйымдылыº деп 1 кг затты 1 К-ге ºыздыру¹а ºажетті жылу м¼лшерін айтады:

$$c = \frac{dQ}{mdT}. \qquad (10.5)$$

Оның ¼лшем бірлігі $[c] = \frac{Дж}{кг \cdot К}$.

Молярлыº жылусыйымдылыº деп бір моль затты 1 К-ге ºыздыру¹а ºажетті жылу м¼лшерін айтады:

$$C_{\mu} = \frac{dQ}{\frac{m}{\mu} dT}. \qquad (10.6)$$

Оның ¼лшем бірлігі $\left[C_{\mu}\right] = \frac{Дж}{моль \cdot К}$. Молярлыº жылусыйымдылыº молярлыº масса мен меншікті жылусыйымдылыº к¼бейтіндісіне тең болады:

$$C_{\mu} = \mu \cdot c. \qquad (10.7)$$

Майер теңдеуі. Термодинамиканың бірінші заңын

идеал газда ¼тетін ›р т¾рлі процестер ¾шін ºарастырайыº. Идеал газ деп молекулалар арасында ¼зара ›серлесу к¾штері болмайтын, жеке молекулар к¼лемі ыдыс к¼лемінен салыстыр¹анда ¼те аз ж›не молекулалар арасында¹ы ¼зара соºты¹ысу абсолют серпімді болатын газдарды айтады. Идеал газдың ішкі энергиясы U ж¾йенің º½рамында¹ы барлыº б¼лшектердің (молекулалардың немесе атомдардың) кинетикалыº энергияларының ºосындысына тең болады:

$$U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T, \qquad (10.8)$$

м½нда¹ы $i-$ еркіндік д’режелерінің саны. Ал идеал газдың ішкі энергиясының ¼згеруі:

$$dU = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot dT. \qquad (10.9)$$

Газдың ж½мысының формуласы:

$$\delta A = PdV, \qquad (10.10)$$

м½нда¹ы $dV-$ газ к¼лемінің ¼згеруі.

(10.9) ж’не (10.10) пайдаланып термодинамиканың бірінші заңын (10.3) мына т¾рде жазу¹а болады:

$$\delta Q = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot dT + PdV. \qquad (10.11)$$

Изохорлық процесс кезінде көлем тұрақты болады ($V = const$), газ к¼лемі ¼згермейді, демек $dV = 0$. Сол себептен $\delta A = PdV = 0$, я¹ни газда берілетін барлыº жылу м¼лшері оның ішкі энергиясын ¼сіруге

ж ½ мсалады. Изохорлы º процестің молярлы º жылусыйымдылы¹ы $C_{V\mu}$ деп белгіленеді. (10.6) формула бойынша $C_{V\mu}$ 1 моль газ үшін ($m = \mu$) (10.9- формуланы ескергенде) былай анықталады:

$$C_{V\mu} = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2}R. \qquad (10.12)$$

Изобарлыº процесс кезінде ºысым т½раºты болады ($P = const$). Термодинамиканың бірінші заңы: $\delta Q = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot dT + PdV$. Изобарлыº процестің молярлыº жылусыйымдылы¹ы $C_{P\mu}$ деп белгіленеді. (10.6) формула бойынша $C_{P\mu}$ 1 моль газ үшін ($m = \mu$) былай анықталады:

$$C_{p\mu} = \frac{dU}{dT} + \frac{\delta A}{dT} = \frac{i}{2} \cdot R + \frac{PdV}{dT} = C_{V\mu} + R.\cdot \qquad (10.13)$$

Б½л теңдеуді шы¹ар¹анда изобарлыº процесте идеал газдың істейтін ж½мысы

$$\delta A = PdV = \frac{m}{\mu} RdT. \qquad (10.14)$$

екендігін пайдаландыº. (10.13) теңдеуі Майер теңдеуі деп аталады. Майер теңдеуі бойынша, 1 моль газдың т½раºты ºысымда¹ы молярлыº жылусыйымдылы¹ы т½раºты к¼лемдегі жылусыйымдылы¹ынан универсал газ т½раºтысына артыº болады. Оның себебі изохорлыº процеске ºара¹анда изобарлыº процесте газ¹а берілген жылу тек ºана ішкі энергияны ¼згертіп ºоймай ж½мыс

істеуге де кетеді.

(10.14) формуладан универсал газ т½раºтысының физикалыº ма¹ынасы аныºталады, демек универсал газ т½раºтысы R бір моль идеал газды т½раºты ºысымда 1К ºыздыр¹анда істелетін ж½мыстың сан м’ніне тең.

(10.13) теңдеуден:

$$C_{p\mu} = \frac{i}{2} \cdot R + R = \frac{i+2}{2} R. \qquad (10.15)$$

Изотермдік процесс кезінде температура т½ра°ты болады ($T = const$), газ температурасы ¼згермейді, демек $dT = 0$. Сол себептен $dU = 0$, газдың ішкі энергиясы өзгермейді, я¹ни газға берілетін барлы° жылу м¼лшері сыртқы күштерге қарсы жұмыс істеуге кетеді. Жылусыйымдылық шексіздікке ½мтылады.

Адиабаттық процесс. Пуассон теңдеуі. Сыртқы ортамен жылу алмасусыз ж¾ретін процесті адиабаттық деп атайды. Осы процесс ¾шін $\delta Q = 0$. Адиабаттық процесс газдың к¼лемі тез кеңейген немесе сы¹ыл¹ан кезде пайда болады. Адиабаттық процесс ¾шін термодинамиканың бірінші заңы былай жазылады:

$$\delta A = -dU, \qquad (10.16)$$

я¹ни ішкі энергияның кемуі н›тижесінде ж¾йе ж½мыс істейді. Бір моль идеал газ ¾шін

$$PdV = -C_{V\mu} dT. \qquad (10.17)$$

Егер газ адиабатты° кеңейетін болса, онда $\delta A > 0$ ж›не $\delta T < 0$, я¹ни газ суынады. Керісінше газ адиабатты° сы¹ыл¹ан кезде $\delta A < 0$ ж›не $\delta T > 0$, я¹ни газ °ызады.

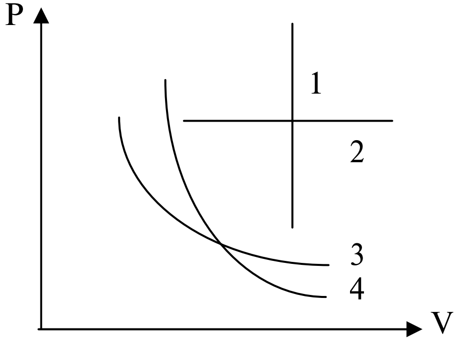
К¾й теңдеуі (10.2) формула бойынша

$$PdV + VdP = RdT.$$

Осы теңдеуді (10.17)-ге б¼ліп (10.13) ескерсек, шы¹атыны:

$$1 + \frac{V}{P}\frac{dP}{dV} = -\frac{C_P - C_V}{C_V} \text{ немесе } \frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V}, \qquad (10.18)$$

мұндағы $\gamma = \dfrac{C_P}{C_V}$. (10.19)



10.1- сурет. Изопроцестер графиктері.
1 -изохора, 2- изобара, 3- изотерма,
4- адиабата қисықтары.

(10.18)-ші теңдуінің шешімі:

$$PV^{\gamma} = const. \qquad (10.20)$$

Осы формуланы Пуассон теңдеуі деп атайды.

(10.12) мен (10.20) формулалардан:

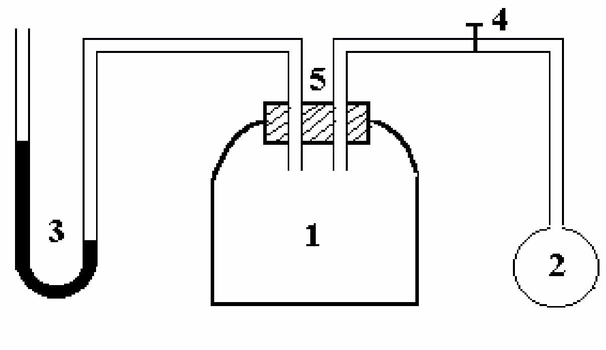
$$\gamma = \frac{i+2}{i}. \qquad (10.21)$$

Жоғарыда қарастырылған процестердің графиктері 10.1 - суретте көрсетілген.

3. Т› жірибе қондырғысы.

Клеман-Дезорм °ондыр¹ысы 10.2–суретте келтірілген. Суретте: 1 - ауамен толтырылған баллон, 2- насос (немесе алмұрт тәрізді резинка қабы), 3- сумен толтырылған U-т › різді манометр, 4- баллонды атмосферамен °осатын кран (шүмек), 5- ты¹ын.

Бастапқы кезде баллондағы ауа температурасы T_o бөлме температурасымен бірдей, ал қысымы P_o атмосфералық қысымға тең болады.



10.2-сурет. Тәжірибе қондырғысы

Насос 2 арқылы баллонға ауа тартып 4 кранды жабады. Манометр 3 баллондағы ауа қысымының артқанын көрсетеді. Бірақ манометр иініндегі су деңгейі 4 кран жабылғанына қарамай, біраз төмендеп барып орнықты күйге келеді. Бұл не себептен болды?

2 насоспен 1 баллонға ауа тартылуы өте тез өтеді, демек адиабаттық сығылу процесі байқалады.. Адиабаттық сығылуда баллондағы ауа қызады. Оның температурасы бөлме температурасынан жоғары көтеріледі. Қоршаған ортамен (бөлмедегі ауа) жылу

алмасу арқылы баллонмен бөлмедегі ауаның температурасы теңескенше манометрдегі су деңгейі өзгереді, біраз уа°ыттан кейін орны°ты к¾йге жетеді. Сол кезде баллонда¹ы ж› не б¼лмедегі ауа температурасы бірдей болады. Осы к¾йдегі манометр иіндеріндегі су деңгейлерінің айырмасын h_1 деп белгілейді. Ол баллонда ¹ы ауа °ысымының атмосфералық °ысымнан °аншама арты° екенін к¼рсетеді. Ал осы жа¹дайда баллон ішіндегі °ысымды P_1 деп белгілейді. Ол мына¹ан тең:

$$P_1 = P_0+\rho g h_1, \qquad (10.22)$$

м½нда¹ы P_o- атмосфералы° °ысым, ρ- манометрдегі судың ты¹ызды¹ы, g - еркін т¾су ¾деуі. Енді ыдыстың 5 ты¹ынын алып, баллонда¹ы ауаның °ысымын атмосфералы° °ысыммен теңестіреміз. Содан кейін баллонда¹ы ауаның P_1 °ысымы атмосфералы° °ысым¹а дейін т¼мендеп, ауа суиды.

Осы процесті талдайы° . Баллонда¹ы ал¹аш°ы тартыл¹ан ауаның массасын m деп белгілейік. Ты¹ынды алып, баллонды аш°анда ішіндегі ауа сырт°а шы¹ады. Оның массасы Δm, ал баллонда °ал¹ан ауаның массасы m_1=m-Δm. Кран жабы° бол¹анда V к¼лемдегі m_1 ауаның V_1 к¼лемі V-дан кіші болады. Осы массасы m_1 ауаның к¾йлерін °арастырайы°.

І к¾й - баллон жабы° кездегі массасы m_1 ауаның ал ¹аш°ы к¾йін сипаттайды. Оның °ысымы P_1, к¼лемі V_1, температурасы T_o.

ІІ к¾й: ш¾мекті аш°анда ауа адиабатты° ½л¹аяды, газ °ысымы атмосфералы° °ысым¹а дейін т¼мендейді, демек P_2=P_0. Баллонда¹ы ауаның температурасы б¼лме

температурасы T_o-дан т¼мен болады. Сонды°тан V_2=V, $T_2 < T_0$. Осы екі к¾йді Пуассон теңдеуі ар°ылы байланыстырады:

$$(P_1V_1)^{\gamma} = (P_2V_2)^{\gamma}\ . \qquad (10.23)$$

Ш к¾й: 5 ты¹ынмен баллон °айтадан ты¹ындалады. Сол кезде оның ішіндегі ауа °ысымының ¼се баста¹аны манометрден бай°алады. Б½л ¼згеріс баллонда¹ы ауаның температурасы °орша¹ан ортамен жылу алмасу себебінен б¼лме температурасына дейін теңелгенше бай°алады. Ыдыста¹ы ауа мен б¼лме температурасы тең бол¹анда, оның °ысымы т½ра°талады. Осы °ысым P_3 деп белгіленеді, ол мына¹ан тең:

$$P_3=P_0+\rho gh_2, \qquad (10.24)$$

м½нда¹ы h_2 - манометр иіндеріндегі су деңгейінің айырмасы. Сонымен, ІІІ-к¾йде °ысым P_3, к¼лем V, температурасы T_0. Осы І,ІІ ж›не ІІІ к¾йлерді салыстырса °, І ж›не Ш к¾йлер бірдей б¼лме температурасы T_o - мен сипатталатыны бай°алады, демек, І ж›не Ш к¾йдегі газ (ауа) Бойль-Мариотт заңы бойынша °арастырылады:

$$P_1V_1=P_3V. \qquad (10.25)$$

Сонымен (10.23) ж›не (10.25) теңдеулерден γ - ¹а табу¹а болады:

$$\gamma=\frac{\lg P_1-\lg P_0}{\lg P_1-\lg P_3}\ . \qquad (10.26)$$

$\rho gh_1 << P_0$ ж›не $\rho gh_2 << P_0$ (б½ны есептеп к¼рсетуге болады), онда $\lg P_1$ мен $\lg P_3$-ті Тейлор °атары бойынша жіктеп, алдың¹ы екі м¾шесімен шектелуге болады, демек

$$\lg P_1=\lg(P_0+\rho gh_1)=\lg P_0+\frac{\rho gh_1}{P_0}+\cdots,$$

$$\lg P_3=\lg(P_0+\rho gh_2)=\lg P_0+\frac{\rho gh_2}{p_0}+\cdots,$$

Осы мәндерді (10.26) өрнекке қойып, соңында γ-ны анықтайтын теңдеу алынады:

$$\gamma=\frac{h_1}{h_1-h_2}\ . \qquad (10.27)$$

4. Жұмыстың орындалу реті.

1. Манометр иіндерінің деңгейлері айырмасы 20 - 25 см жеткенше 4 ш¾мекті ашып баллонға насос арқылы ауа тарту керек. Содан кейін 4 шүмекті жабады.
2. Баллондағы қысым тұрақталғаннан кейін манометр бойынша h_1 ауа деңгейлерінің айырмасын жазады.
3. Баллонның 5 тығынын алып, оның ішіндегі ауаның қысымын тез атмосфералық қысыммен теңестіріп, қайтадан оны тығындайды.
4. Баллондағы қысым орны°аннан кейін, екінші өлшеуді манометр бойынша жүргізеді, яғни h_2 су деңгейлерінің айырмасы анықталады. Т›жірибені кемінде 10 рет жасау керек.
5. γ-ның мәнін (10.27) теңдеу бойынша есептеп, қателігін табу керек.

5. Тәжірибе м› ліметтері.

Өлшеу нәтижелері және оларды математикалық өңдеу.
Өлшеу нәтижелерін 10.1- кестеге жазыңыз.

Қысымды өлшеу және γ-ны есептеу

10.1-кесте

h_1, мм	h_2, мм	γ	$\bar{\gamma}$	$(\Delta\gamma)_i$	$(\Delta\gamma)_i^2$

S - орташа квадраттық қателікті есептеңіз:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta\gamma)_i^2}{n(n-1)}},$$

м½нда¹ы n- ¼лшеулер саны.

Кездейсо° °ателіктің сенімділік шегі:

$$\Delta\gamma = S\cdot t_n^p,$$

м½нда¹ы сенімділік ы°тималды¹ының Р м› ні 0,95-ке тең жа¹дайда есептеңіз.

Алын¹ан н› тиже былай к¼рсетіледі:

$$\gamma = (\bar{\gamma} \pm \Delta\gamma), \quad \varepsilon = \frac{\Delta\gamma}{\bar{\gamma}}\cdot 100\%,$$

м½нда¹ы ε - ¼лшеулердің салыстырмалы °ателігі.

Аспаптың жіберетін °ателігін есептеңіз:

$$\delta = \gamma\sqrt{\left(\frac{\Delta h_1}{h_1}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta h_1}{h_1 - h_2}\right)^2},$$

м½нда¹ы Δh_1- манометрдің бір б¼лігінің °½ны $\sqrt{2}$ -ге к¼ бейтілген.

Ауаны екі атомды газ °оспасы деп есептеп γ-ны (10.21) формула бойынша есептеңіз, теориялы° м› нін тәжірибелік мәнімен салыстырыңыз.

6. Қорытынды.

Тәжірибелік және теориялық γ мәндерін салыстырып қондырғының беріктігін (сенімділігін) бағалаңыз.

7. Пысы°тау с½ра°тары.

1. Әртүрлі процестер ¾шін термодинамиканың бірінші заңының қолдануын т½жырымдаңыз. Изопроцестердің графигін PV- координаталарына түсіріңіз.
2. Заттың жылусыйымдылы°тарының анықтамаларын беріңіз. Жылусыйымдылы° процесс функциясы ма, әлде күй функциясы ма?
3. Универсал газ тұрақтысының физикалық мағынасын беріңіз.
4. γ- деп нені белгілейді, ж› не неліктен γ>1?
5. γ-ны есептейтін формуланы қорытып шы¹арыңыз.