

8-ДӘРІС



Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Термодинамикның бірінші бастамасы

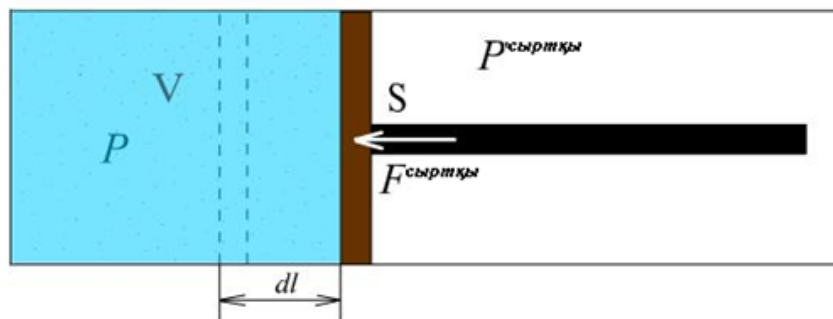
Термодинамикада макраскопиялық денелердің жылулық қасиеттері олардың микроскопиялық табиғатымен байланыстырылмай, көптеген тәжірибелер арқылы анықталған, *бастамалар* деп аталтын негізгі үш заңға сүйеніп зерттеледі. *Термодинамиканың бірінші бастамасы энергияның сақталу және түрлену заңдарын* сипаттайды.

8.1 Жүйенің ішкі энергиясы

Ішкі энергия жүйедегі барлық микробөлшектердің – атомдар мен молекулалардың қозғалыс энергияларынан және олардың өзара әсерлесу энергияларынан құралады. $U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT$ өрнектен *идеал газдың ішкі энергиясы* тек температураға тәуелді екендігі, яғни, ол жүйенің *бірмәнді күй функциясы* болатынын көреміз. Кез-келген жүйенің ішкі энергиясының мәні оның бұл күйге қалай келгеніне тәуелді болмайды. Басқаша айтқанда, жүйе 1 күйден 2 күйге өткенде оның ішкі энергиясының өзгерісі оның соңғы және бастапқы энергияларының айырымына тең. Сондықтан, жүйе қандай-да бір процестерден соң бастапқы күйге қайта оралса, онда ішкі энергияның өзгерісі нольге тең болады: $\oint dU = 0$. Олай болса, *ішкі энергияның элементар өзгерісі толық дифференциал* болып табылады.

8.2 Жұмыс және жылу

Тұйық термодинамикалық жүйе сыртқы денелермен екі түрлі әдіспен: жұмыс жасау және жылу алмасу арқылы энергия алмаса алады. Бірінші әдіс бойынша денелер өзара күштік әсерлесу арқылы энергия алмасады. Жұмыс жасау кезінде энергия жүйеге берілсе, онда жұмыс жүйені өзгертуге жасалды дейді. Ауданы S қозғалмалы поршені бар ыдыс ішіндегі газ ұлғайғандағы және сығылғандағы жасалатын жұмысты қарастырайық (8.1 – сурет). Сыртқы қысым $p^{\text{сыртк ы}}$ болса, онда поршенге әсер етуші күш: $F^{\text{сыртк ы}} = p^{\text{сыртк ы}} \cdot S$. Поршень dl аз шамаға орын ауыстырғанда, газ ол күшке қарсы δA жұмыс



8.1- сурет. Поршенді ыдыстығы газдың жұмысы

онда жүйе кез-келген уақытта сыртқы ортамен $p = p^{\text{сыртк ы}}$ қысыммен тепе-теңдікте болады. Тепе-теңдік процесс кезінде газдың көлемі өзгергенде жасалатын элементар жұмыс

$$\delta A = p \cdot dV \quad (8.1)$$

болады.

жасайды: Поршень dl аз шамаға орын ауыстырғанда, газ ол күшке қарсы δA жұмыс жасайды:

$$\delta A = F^{\text{сыртк ы}} \cdot dl = p^{\text{сыртк ы}} \cdot S \cdot dl = p^{\text{сыртк ы}} \cdot dV$$

мұндағы $dV = S \cdot dl$ – газ көлемінің өзгерісі. Егер газ көлемі квазистатикалық түрде өзгерсе,

Газдың қысымы әрқашан оң ($p > 0$). Сондықтан, ұлғаю кезінде ($dV > 0$) газ оң жұмыс жасайды ($\delta A > 0$), ал сығылу кезінде ($dV < 0$) газ теріс жұмыс жасайды ($\delta A < 0$). Сыртқы денелерден жүйеге энергияның жылуалмасу арқылы берілуі *жылу* деп аталады. *Жылуалмасу* әртүрлі температурадағы денелер арасында немесе бір дененің бөлшектері арасында жүреді. Жылуалмасу *конвективтік, жылуөткізгіштік, сәулелік* болып үшке бөлінеді. *Конвективтік жылуалмасу* – температурасы әртүрлі газ, сұйықтық, қатты денелер қозғалысы арқылы немесе газ бен сұйықтықтың температурасы әртүрлі бөліктерінің қозғалысы арқылы жүреді. *Жылуалмасу* – дененің әртүрлі дәрежеде қызған бөліктері арасында жүреді. *Сәулелік жылуалмасу (радиациялық жылуалмасу)* денелердің бір-бірімен тікелей түйісусіз, тек электрмагниттік энергия шығару немесе жұту арқылы жүреді.

Жылуалмасу мен жұмыстың ішкі энергиядан ерекшелігі, олар жүйе күйін емес *жүйе күйінің өзгерісін* сипаттайды. Олар жүйе күйі өзгерісінің энергетикалық сипаттамасы болғандықтан, жылуалмасу мен жұмыстың мәндері процесс түріне тәуелді болады. Жылу мен жұмыс жүйенің энергия түріне жатпайды. Дененің жылу немесе жұмыс қоры деген түсінік жоқ. Сондықтан δA мен δQ күй функциясы емес, *процесс функциясы*.

Термодинамиканың бірінші заңы

Жүйеге берілген жылу мөлшері оның ішкі энергиясының өзгерісі мен жүйенің сыртқы күштерге қарсы жасайтын жұмысына жұмсалады:

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2}. \quad (8.2)$$

Бұл термодинамикалық жүйе үшін энергияның сақталу және түрлену заңы. Жылу энергиясы тек ішкі энергия мен жұмысқа ғана түрленуі мүмкін: ішкі энергия – энергияның микроскопиялық, ал жұмыс – макроскопиялық түрі.

Жүйеге берілген жылудың δQ аз мөлшерінің жүйе жасайтын δA элементар жұмыс пен dU ішкі энергияның аз өзгерісіне жұмсалатынын сипаттайтын бұл заңды әдетте мына түрде жазады:

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (8.3)$$

Жылу δQ мен жұмыс δA және ішкі энергия өзгерісі dU жазылулары арасындағы өзгешеліктің, жоғарыда айтылғандай, терең физикалық мағынасы бар.

Термодинамиканың бірінші заңына енетін барлық шамалар оң, теріс немесе нөл болуы мүмкін. Егер жүйеге жылу берілсе $\delta Q > 0$, алынса $\delta Q < 0$.

Егер жүйе, мысалы жұмыс денесі, периодты жұмыс істейтін қозғалтқыш ішінде 1–1 процесс бойынша бастапқы күйге қайта оралып отырса, онда $\Delta U_{1-1} = 0$ ал осыдан $A_{1-1} = Q_{1-1}$. Олай болса, ешқандай периодты жұмыс істейтін қозғалтқыш оған берілген энергиядан артық жұмыс жасай алмайды. *Бірінші текті мәңгі қозғалтқыш жасау мүмкін еместігін дәлелдейтін бұл тұжырымдама термодинамиканың бірінші заңы деп аталады.*

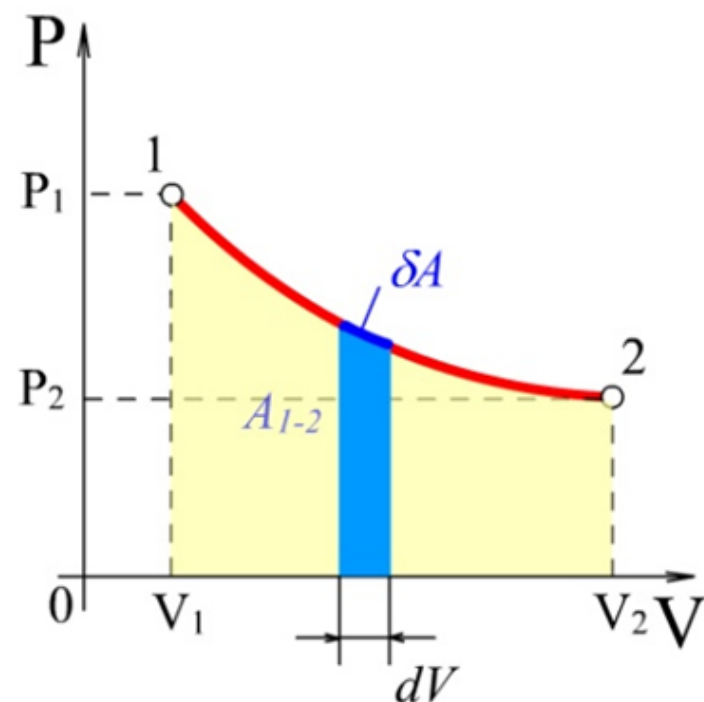
8.4 Термодинамикалық процестер мен жұмыстың графиктері

Тепе-теңдіктегі термодинамикалық процестерді бір-бірімен олардың графиктері арқылы салыстырып зерттеген ыңғайлы. Ол үшін $p-V$, $p-T$ және $V-T$ диаграммаларын салу керек. $p-V$ диаграммасы салынған 8.2 –

суреттегі 1 және 2 нүктелер бастапқы және соңғы күйлерді сипатайды. Термодинамикалық процесс 1 - 2 қисығымен көрсетілген. Элементар жұмыс $\delta A = p \cdot dV$ суретте боялған жолақпен анықталады. Жүйенің 1 – 2 процесс кезінде жасаған жұмысы осы қисық астындағы фигураның ауданына тең:

$$A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV .$$

Суреттен A_{1-2} жұмысының мөлшері жүйенің бастапқы күйден соңғы күйге қалай өткеніне, яғни, процеске байланысты екені көрініп тұр.



8.2 - сурет. Изотермиялық процесс кезіндегі газдың жұмысы

8.5 Заттың жылусыйымдылығы

Заттың жылулық қасиеттерін сипаттайтын негізгі параметрлердің бірі оның жылусыйымдылығы. Заттың жылусыйымдылығы C^* – дененің температурасын 1К-ге өзгертуге қажет δQ жылу мөлшеріне тең физикалық шама:

$$C^* = \frac{\delta Q}{dT}. \quad (8.4)$$

Заттың жылусыйымдылығы оның массасына, химиялық құрамына, термодинамикалық күйіне және оған δQ жылу беру процесіне тәуелді. Жылусыйымдылық меншікті (c) (бірлік массаның жылусыйымдылығы) және мольдік (C) (1 моль заттың жылусыйымдылығы) болып ажыратылады:

$$c = \frac{C^*}{m} = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT} \quad \text{және} \quad C = \frac{C^*}{\nu} = \frac{M}{m} \frac{\delta Q}{dT} = M c, \quad (8.5)$$

мұндағы: $\nu = \frac{m}{M}$ – зат мөлшері; M – затың мольдік массасы.

$$\delta Q = m c dT = \frac{m}{M} C dT. \quad (8.6)$$

Меншікті және мольдік жылусыйымдылықтардың өлшем бірліктері – $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ және $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$. Газдардың жылусыйымдылығы тұрақты көлемдегі C_V және тұрақты қысымдағы C_p жылусыйымдылықтар болып бөлінеді.

8.6 Термодинамиканың бірінші бастамасын идеал газдардағы изопроцестерге қолдану

Идеал газдың тепетеңдіктегі күйінің өзгерісі үшін термодинамиканың бірінші бастамасын $\delta Q = dU + \delta A$ мына түрде жазуға болады:

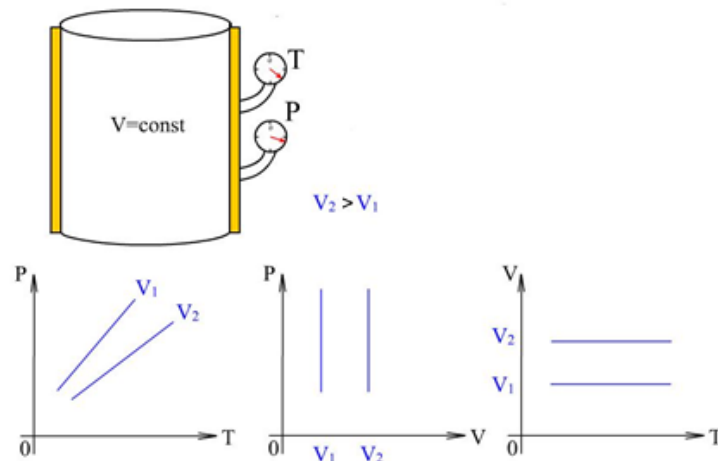
$$dQ = \frac{m}{M} C dT = dU + p dV. \quad (8.7)$$

Осы теңдеуді идеал газдардағы изопроцестерге қолданайық. Изопроцесс заңдарын Менделеев-Клапейрона $pV = \frac{m}{M} RT$ теңдеуінен анықтаймыз.

8.6.1 Изохоралық процесс ($V = const$)

Изохоралық процесс деп газды қыздыру немесе суыту процестері тұрақты көлемде өтетін процестерді айтады. Мұндай процестер үшін идеал газ күйінің теңдеуін келесі түрде жазған ыңғайлы: $\frac{p}{T} = \frac{m}{M} \frac{R}{V}$. Теңдіктің оң жағындағы шамалардың барлығы тұрақты. Сондықтан, газдың массасы мен көлемі тұрақты болса, онда оның қысымы температураға пропорционал болады:

$$\frac{p}{T} = const. \quad (8.8)$$



8.3 - сурет. Газ көлемінің V әртүрлі мәндері үшін изохоралық процестер диаграммалары.

8.3-суретте газ көлемінің V әртүрлі мәндеріндегі изохоралық процестердің $p \sim T$, $p \sim V$ және $V \sim T$ диаграммалары көрсетілген. Бұл процестерде газдың көлемі өзгермейтіндіктен ($dV=0$) газ жұмыс жасамайды ($\delta A = pdV = 0$), денеге берілген барлық жылу

энергиясы оның ішкі энергиясының өзгеруіне жұмсалады. Термодинамиканың бірінші бастамасы мына түрде болады:

$$\delta Q = dU = \frac{m}{M} C_v dT, \quad (8.9)$$

мұндағы C_v – газдың тұрақты көлемдегі мольдік жылусыйымдылығы.

Газдың температурасын T_1 -ден T_2 -ге дейін изохоралық түрде қыздырғанда, оның ішкі энергиясының өзгерісі берілген жылу мөлшеріне тең болады:

$$\Delta U_{1-2} = U_2 - U_1 = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1), \quad Q_{1-2} = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1). \quad (8.10)$$

Кез-келген *тепе-теңдіктегі процесс үшін термодинамиканың бірінші заңын* келесі түрде жазуға болады:

$$\frac{m}{M} C dT = \frac{m}{M} C_V dT + p dV. \quad (8.11)$$

Бір моль газ үшін

$$C dT = C_V dT + p dV. \quad (8.12)$$

8.6.2 Изобаралық процесс ($p = const$)

Изобаралық процесс деп газды қыздыру немесе суыту процестері тұрақты қысымда өтетін процестерді айтады. Мұндай процесс үшін идеал газдың күй теңдеуін оң жағында тек тұрақты шамалар қалатын $\frac{V}{T} = \frac{m}{M} \frac{R}{p}$ түрінде жазған ыңғайлы. Бұл теңдеуден изобаралық процесс үшін келесі тұжырымдама жасауға болады: газдың берілген массасы үшін тұрақты қысымда көлем температураға пропорционал өзгереді:

$$\frac{V}{T} = const . \quad (8.13)$$

8.4 – суретте p қысымның әртүрлі мәндеріндегі изобаралық процестер $p-T$, $p-V$ және $V-T$ диаграммалары арқылы берілген. Газға изобаралық процесс кезінде берілетін шексіз аз жылу мөлшері δQ :

$$\delta Q = \frac{m}{M} C_p dT , \quad (8.14)$$

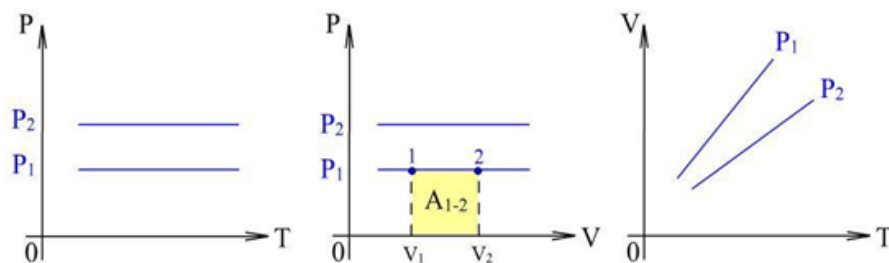
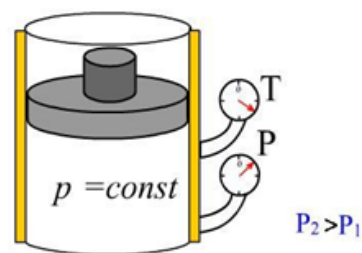
мұндағы C_p – газдың тұрақты қысымдағы мольдік жылу-сыйымдылығы. Тұрақты қысым үшін ($p = const$) идеал газдың күй теңдеуінен ($pV = \frac{m}{M} RT$) дифференциал алсақ: $p dV = \frac{m}{M} R dT$.

Олай болса:

$$\delta A = p dV = \frac{m}{M} R dT . \quad (8.15)$$

Термодинамиканың бірінші бастамасының (8.3) формуласына (8.9), (8.14) және (8.15) өрнектерді қойсақ:

$$\frac{m}{M} C_p dT = \frac{m}{M} C_v dT + \frac{m}{M} R dT . \quad (8.16)$$



8. 4 – сурет. Қысымның әртүрлі мәндері үшін изобаралық процесс диаграммалары

берілетін жылу мөлшері изохоралық процесс кезінде берілетін жылу мөлшерінен универсал газ тұрақтысына тең шамаға артық болады.

Газдың 1-2 изобаралық процесс кезінде жасайтын жұмысы

$$A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1), \quad (8.18)$$

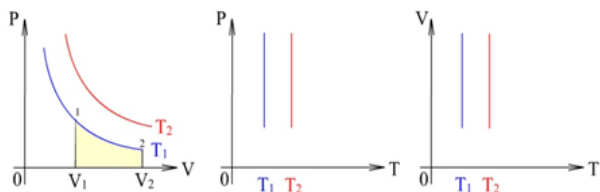
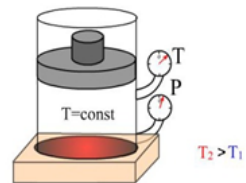
p - V диаграммасындағы боялған аймақтың ауданымен өлшенеді.

Егер (8.16) өрнектен бір моль зат үшін жылусыйымдылық үшін *Майер теңдеуін* алуға болады:

$$C_P - C_V = R. \quad (8.17)$$

Бұл теңдеудің физикалық мағынасы: тұрақты қысымда бір моль газдың температурасын 1°K арттырғандағы газдың жұмысы универсал газ тұрақтысына тең болады. Бір моль газға изобаралық процесс кезінде

8.6.3 Изотермиялық процесс ($T = const$)



8.5 – сурет. Әртүрлі T температура мәндері үшін изотермиялық процестердің диаграммалары

Изотермиялық процесс деп тұрақты температурада өтетін термодинамикалық процестерді немесе олардың ұлғаюы немесе сығылуы кездерінде сыртқы орта мен газ арасындағы температура айырымы тұрақты болып қалатын процестерді айтады. Идеал газ күйінің теңдеуінің оң жағындағы шамалар тұрақты болғандықтан:

$$pV = const . \quad (8.19)$$

8.5 – суретте әртүрлі T температураның мәндері үшін изотермиялық процестер $p-T$, $p-V$ және $V-T$ диаграммалары арқылы берілген.

Бұл процесте идеал газдың ішкі энергиясы өзгермейді: $dT = 0$ болғандықтан

$$dU = \frac{m}{M} C_V dT = 0, \text{ сондықтан газға берілген жылу мөлшері толығымен}$$

сыртқы күштерге қарсы жасалатын жұмысқа кетеді:

$$Q_{1-2} = A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} RT \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} . \quad (8.20)$$

Жылу мөлшері $p-V$ диаграммасындағы боялған ауданға тең болады.

Изотермдік процесс $pV = const$, яғни $p_1 V_1 = p_2 V_2$ және $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$,

сондықтан:

$$Q_{1-2} = A_{1-2} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2} . \quad (8.20a)$$

Бақылау сұрақтары:

1. Идеал газдың ішкі энергиясына не жатады?
2. Ішкі энергия қандай параметрлермен анықталады?
3. Майер теңдеуінің физикалық мағынасы қандай?

Назарларыңызға рахмет!!!