

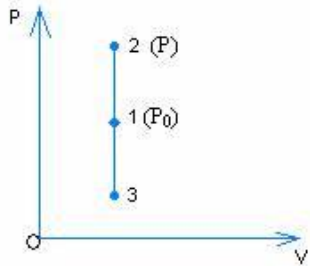
2.9 Термодинамиканың бірінші бастамасын изопроцестерде қолдану

Газдың күйін сипаттайтын үш параметрлердің (p, V, T) процесс кезінде әйтеуір біреуі тұрақты болып отырса, онда мұндай процестерді **изопроцестер** деп атайды. Термодинамиканың мысалдарында: жылу қозғалтқыштарының жұмысын есептеуде, суыту машиналарының жұмысы кезінде газдардағы процестер туралы көбірек айтуға болады.

Изохоралық процесс

Берілген көлемі ($V = const$) тұрақты болғанда жүретін процесті айтамыз. Сонда ешқандай көлем өзгерісі болмайды да ($dV_2 = 0$), газ сыртқы күштерге қарсы жұмыс жасамайды.

$dA = \int_1^2 p dV = 0$. Осы (1) процестің диаграммасын былайша кескіндеуге болады (2.19-сурет).



2.19-сурет

мұндағы: 1-2 газдың изохоралық қыздыру процесін, ол әдетте, изохоралық процесс көлемі өзгермейтін қабырғалары қалың ыдыстың ішінде газды суыту немесе қыздыру арқылы орындалады.

Термодинамиканың бірінші бастамасы $dQ = dU + dA$, $dA = 0$ болғандықтан, газды қыздыруға немесе суытуға берілген барлық жылу мөлшері тек газдың ішкі энергиясын арттыру үшін ғана жұмсалады

$$dQ = dU \quad (2.79)$$

Ал тұрақты көлемдегі жылу сыйымдылық

$$C_v = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} = \frac{1}{m} \frac{dU}{dT};$$

$$dU = m C_v dT \quad (2.80)$$

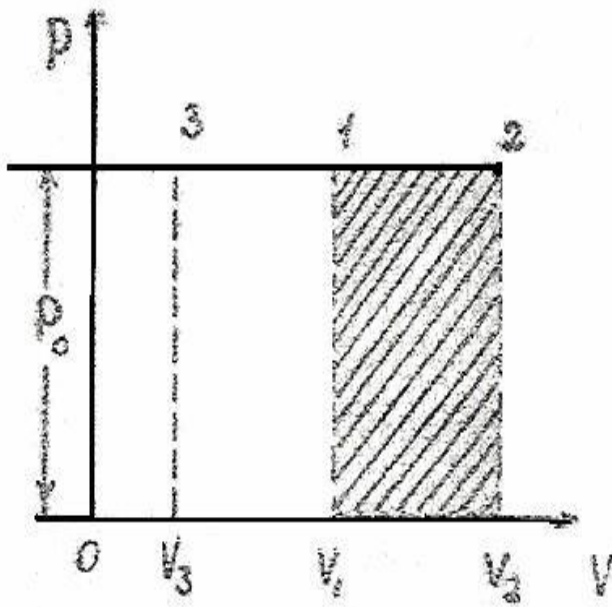
Яғни, идеал газдың ішкі энергиясының өзгерісі оның абсолют температурасының өзгерісіне тура пропорционал болады.

Изобаралық процесс

Бұл процесс берілген газдың қысымы

($p = const$) тұрақты болғанда жүреді. Оның диаграммасын

$p - V$ координаттары арқылы кескіндеп көрсетуге болады. (2.19-сурет)



2.20-сурет

Сонда 1-2 кесіндісі газдың изобаралық ұлғаюын көрсетеді де, штрихталған аудан изобаралық жұмыстың шамасын анықтайды

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p (V_2 - V_1). \quad (2.81)$$

Мысалы, цилиндрдің ішінде ілгерілемелі еркін қозғалатын поршень мен цилиндрдің арасындағы газ қыздырудың немесе суынудың нәтижесінде изобаралық жұмыс жасайды. Термодинамиканың бірінші бастамасын ескеріп

$$dQ = C_v dT + p dV. (2.82)$$

мұндағы: C_v - изохоралық жылу сыйымдылығы.

Сонымен, изобаралық процесс кезінде газға берілген жылу мөлшері оның ішкі энергиясын арттыруға және сыртқы күштерге қарсы істелген жұмысқа жұмсалады. Изобаралық жылу сыйымдылық $C_p = dQ/dT$, $dQ = C_p dT$ Енді dQ мәнін орнына қойып, теңдеуді

$$C_p dT = C_v dT + p dV (2.83)$$

түрінде жазуға болады. Изобаралық процесс кезінде массасы m газға берілетін жылу мөлшері

$$dQ = \frac{m}{\mu} C_p dT. (2.84)$$

Оның ішкі энергиясының өзгерісі

$$dU = \frac{m}{\mu} C_p dT. (2.85)$$

Изобаралық процессте газды қыздырғанда ол ұлғайып, берілген жылудың бір бөлігі газдың ішкі энергиясын арттыруға, қалғаны сыртқы күштерге қарсы газдың жұмыс істеуіне жұмсалады. Осы кездегі жұмысты есептейік. Изобаралық процеске мысал ретіндегі цилиндрдегі газға қозғалмалы поршень арқылы әсер ететін тұрақты сыртқы қысымды алуға болады.

(2.10-сурет), қыздырғанда газдың изобаралық ұлғаюы (1-2 түзу) және изобаралық сығылуы (1-3 түзу) көрсетілген. Сонымен изобаралық ұлғаюы кезіндегі жұмысты арқылы жазамыз

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) = P\Delta V \quad (2.86)$$

Сонымен, газдың изобаралық ұлғаюы кезіндегі жұмысы оның қысымы мен көлемінің өсімшесінің көбейтіндісіне тең және ол диаграммада $V_112 V_2$ тік төртбұрыштың ауданына тең. Изобара 1-2 түзу сызықпен кескінделеді.

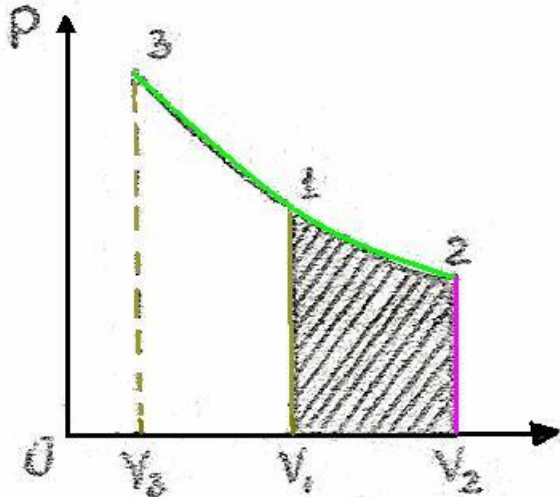
Изобаралық процесс кезіндегі мольдік жылу сыйымдылықты табу үшін Роберт-Майер формуласына изохоралық процесстің мольдік жылу сыйымдылығының ($c_v = \frac{\xi}{2} R$) мәнін қояйық

$$c_p - c_v = R, \quad c_p - \frac{\xi}{2} R = R, \quad c_p = R \left(\frac{\xi + 2}{2} \right) \quad (2.87)$$

ал изобаралық процесстің меншікті жылу сыйымдылығы

$$\bar{c}_p = \left(\frac{\varepsilon + 2}{2\mu}\right)R \quad (2.88)$$

Изотермиялық процесс Бұл процесс температура ($T = const$) тұрақты болғанда өтеді де, оның теңдеуі Бойль – Мариотт заңы болып есептеледі $pV = const$.



2. 21-сурет

Бұл процестің диаграммасы p , V координатындағы **изотерма** болып, оның түрі гипербола қисығына сәйкес келеді. (2.21-сурет)

Берілген газдың көлемі V_1 -ден V_2 -ге ұлғайғанда істелген жұмыс

$$A = \int_{v_1}^{v_2} p dV = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.89)$$

(2.21)-сурет штрихталған ауданға сәйкес келеді. Практикада изотермиялық процесті іске асыру үшін температурасы тұрақты ($T = \text{const}$) үлкен массалы дене мен газ арасында әруақытта температуралық байланыс болуы шарт. Газға берілген жылу мөлшері толығымен жұмыс істеуге жұмсалады да, оның ішкі энергиясы өзгермей тұрақты болады; яғни

$$dQ = dA = \int_1^2 p dV$$

немесе

$$dQ = dA = RT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.90)$$

Сонымен, изотермиялық процесс кезінде газдың температурасын төмендетпеу үшін сыртқы жұмысқа шамалас жылу мөлшері беріліп тұруы қажет.

Термодинамиканың бірінші заңы $dQ = dA$ болады, яғни

Газдың шексіз аз ұлғайған кезіндегі жұмысын dA табайық, өйткені бұл кезде қысымның өзгерісін ескермей тұрақты деп алуға болады, (2.20) бойынша $dA = P dV$.

Газдың кез-келген массасы үшін жазылған Клапейрон-Менделеев теңдеуіне қысымды тауып,

жоғарыдағы формулаға қоямыз: $PV = \frac{m}{\mu} RT$

бойынша $dA = \frac{mRT}{\mu V} dV$

Газдың V_1 – ден V_2 – ге ұлғайған кездегі толық жұмысын табу үшін, соңғы өрнекті интегралдаймыз

$$A = \int_{V_1}^{V_2} dA = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT (\ln V_2 - \ln V_1) = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.91)$$

Бойль-Мариотт заңы бойынша $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$ болғандықтан $A = \frac{m}{\mu} RT \frac{P_1}{P_2}$ немесе $dQ = dA$ ескерсек $Q = \frac{m}{\mu} RT \frac{V_2}{V_1}$

Формулаларды салыстыра отырып мынадай физикалық қорытынды жасауға болады: газдың ұлғаюы кезінде температура төмендемес үшін, процесстің өн бойында газға сыртқы ұлғаю жұмысына тең жылу беріп тұру қажет. Газ изотермиялық ұлғайғанда ($V_2 > V_1$ графикте 1–2 қисығы), оған жылу беріледі де ($Q > 0$), газдың жұмысы оң мәнді ($A > 0$) болады, ол 3 суреттегі боялған ауданға тең (2.21-сурет).

Газ изотермиялық сығылғанда (графикте 1–3 қисығы), оның жасаған жұмысы теріс мәнді ($A_{1-2} < 0$), бұл кезде газдан осы сығылу жұмысына тең жылу алынады. Изотермиялық процесс кезіндегі жылу сыйымдылық $c_T = \pm \infty$, өйткені $dQ \neq 0$, ал $dT = 0$.

Термодинамиканың бірінші заңын изопроецестерге қолдануды қорытындыласақ:

1) Газ бір күйден келесі бір күйге тұрақты көлемде өтетін изохоралық процесс кезінде $dA = PdV = 0$ болғандықтан, термодинамиканың 1-ші заңы мына түрде жазылады

$$dQ = dU = \frac{m}{\mu} C_v dT \quad (2.92)$$

2) Изобаралық процесс кезінде $P = const$ болады. Бұл процесс кезінде істелінетін жұмыс

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) \quad (2.93)$$

немесе келесі түрде жазуға болады

$$-A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) \quad (2.94)$$

Бұл процесс үшін термодинамиканың 1-ші заңы мына түрде жазылады

$$dQ = \frac{m}{\mu} C_v dT + \frac{m}{\mu} R dT \quad (2.95)$$

3) Изотермиялық процесте $T = const$, ендеше $dU = \frac{m}{\mu} C_v dT = 0$

ал газдың істейтін жұмысы

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.96)$$

онда термодинамиканың 1-ші заңының осы процесс үшін жазылуы төмендегідей болады:

$$Q = A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Яғни, жүйеге берілген жылу түгелімен жұмысқа жұмсалады.