

9-ДӘРІС



Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Термодинамиканың екінші бастамасы

Термодинамиканың бірінші бастамасы энергияның сақталу және түрлену заңдарын сипаттағанымен, оқшауланған термодинамикалық жүйелердегі процестің жүру бағытына шектеу қоймайды. Бірақ табиғатта белгілі шарттарды қанағаттандыратын процестер ғана кездеседі. Табиғатта қандай процестер жүруі мүмкін – деген сұраққа *термодинамиканың екінші бастамасы* жауап береді. Бұл бастама термодинамикалық процестердің жүру бағытын анықтайды.

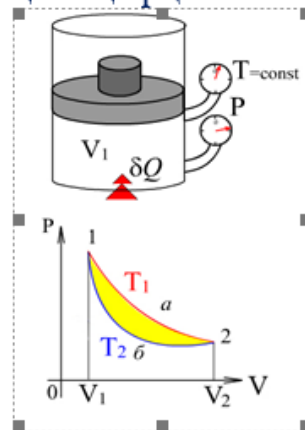
9.1 Қайтымды және қайтымсыз процестер

Егер жүйедегі термодинамикалық процесс тура және кері бағытта жүріп, бастапқы қалыпқа қайта оралғанда қоршаған ортада ешқандай өзгеріс болмаса, ондай процесті *қайтымды* деп атайды.

Кез-келген процесс қайтымды болу үшін ол тура бағытта жүрсе де, кері бағытта жүрсе де, барлық аралық күйлері тепе-теңдік болу керек. Егер процесс өте баяу жүрсе (*газ баяу ұлғайғанда немесе сызылғанда*), онда жүйенің осы процестің кез-келген уақытындағы күйін тепе-теңдік (квазистатикалық) деп, яғни, процесті қайтымды деп есептеуге болады. Іс жүзінде, кез-келген термодинамикалық процесс үйкеліс, жылуөткізгіштік, т.б. құбылыстармен қатар жүретіндіктен, жүйе энергиясының бір бөлігі (диссипацияланады) қоршаған сыртқы ортаға тарап кетеді. Сондықтан, *нақты процестер* әрқашан *қайтымсыз* болады.

9.2 Дөңгелек процестер

Жылулық қозғалтқыш (машиналар) деп жылу энергиясын механикалық жұмысқа түрлендіретін құрылғыны айтады. Барлық жылулық машиналар (іштен жанатын қозғалтқыш, бу және газ турбиналары, т.б.) дөңгелек, яғни, циклдік режимде жұмыс істейді. Дөңгелек процесс (немесе, цикл) деп жүйенің бірнеше аралық күйлерден өтіп, бастапқы күйге қайта оралатын процестерін айтады. 9.1 – суретте дөңгелек процесті p - V диаграммасындағы тұйықталған қисық арқылы бейнелеген.



9.1 – сурет.
Бір циклде жасалған жұмыс

Егер баллондағы газға δQ жылу мөлшерін берсе, онда ол жылу термодинамиканың бірінші бастамасы ($\delta Q = dU + \delta A$) бойынша ішкі энергиясының өзгерісіне ($dU = C_V dT$) және газдың ұлғаюы кезінде жасалатын жұмысқа ($\delta A = PdV$) жұмсалады. Егер процесс изотермиялық ($dU = 0$ және $\delta Q = \delta A$), онда берілген жылу толығымен газдың жасайтын жұмысына кетеді. Газдың көлемі V_1 -ден V_2 -ге дейін ұлғайғанда жасалған пайдалы оң A_{1-2} жұмыс p - V диаграммадағы $1-a-2$ қисықпен шектелген аймақтың ауданымен өлшенеді. Газды 1 күйге қайта оралту үшін оның көлемі $2-b-1$ қисықпен бейнеленген процесс бойынша кішірейтіледі.

Бұл процесс кезінде жасалған теріс жұмыс осы қисықтың астындағы аймақтың ауданымен анықталады. Егер газ көлемі ұлғайған изотерма температурасы T_1 , оның сығылу изотермасының T_2 температурасынан үлкен болса ($T_1 > T_2$), онда толық жұмыс $1-a-2-b-1$ тұйықталған сызықпен шектелген аймақтың ауданына тең және оң болады. Олай болса, жылулық қозғалтқыш $T_1 > T_2$ болғанда оң, ал $T_1 < T_2$ болғанда теріс жұмыс жасайды. Кез-келген жылулық қозғалтқыштың жұмыс жасауы үшін қыздырғыш, суытқыш және жұмыс денесі қажет.

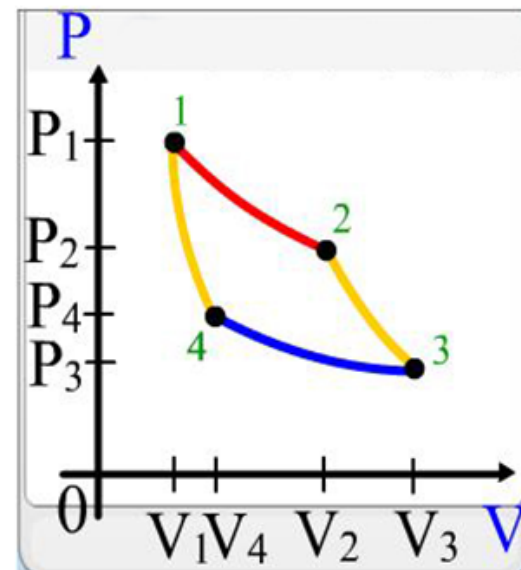
9.3 Карноның идеал жылулық машинасы

Карно циклі деп тепе-теңдіктегі екі изотермиялық және екі адиабаталық ұлғаюлар мен сығылулардан тұратын қайтымды дөңгелек процесті айтады. Карноның идеал жылулық машинасы жылуоқшаулағыш төсенішке орнатылған жұмыс денесімен (газбен) толтырылған цилиндрден, температурасы T_1 қыздырғыштан және температурасы T_2 суытқыштан тұрады. Карно цикліне талдау жасайық.

1) Күй параметрлері T_1, V_1 және p_1 (9.2–сурет, $p - V$ диаграммадағы 1 нүкте) цилиндр ішіндегі газдың көлемін цилиндрді қыздырғышқа қойып, одан алынған Q_1 жылу есебінен V_2 -ге дейін өте баяу, изотермиялық әдіспен өсіреді.

2) Цилиндрді жылуоқшаулағыш төсенішке қойып, газды *адиабаталық түрде ұлғайтады*. Газ A_{23} жұмысты ішкі энергия есебінен жасайтындықтан, оның температурасы суытқыштың T_2 температурасына дейін төмендейді. 2 – 3 қисығы газдың адиабаталық ұлғаюын сипаттайды.

3) Газдың сығылу процесі де екі сатылы жүреді. Алдымен жұмыс денесі орналасқан цилиндрді суытқышпен жалғастырып, изотермиялық әдіспен сығады. Газ $4(p_4, V_4)$ нүктемен белгіленген күйге жеткенде цилиндрді суытқыштан алып, жылуоқшаулағышқа қояды. Сығылу кезінде жасалған теріс жұмыс Q_2 жылуға айналып, суытқышқа беріледі. 3–4 қисығы газдың изотермиялық сығылуын сипаттайды.



9.2 – сурет.
Карно циклі

4) Цилиндр жылуоқшаулағыш төсенішке қойылған соң, жұмыс денесін адиабаталық түрде одан әрі сығып, бастапқы 1 күйге қайта алып келеді.

Бұл процесте газдың температурасы T_2 – ден T_1 – ге дейін өседі. 4–1 қисығы газдың адиабаталық сығылу процесін сипаттайды. Температурасы қыздырғыштың бірдей болған газды қыздырғышпен қайта жалғап, циклді қайта бастайды.

Газдың бір циклде жасаған жұмысы 4.2 – суреттегі «1–2–3–4–1» фигура ауданымен анықталады:

$$A = A_{12} + A_{23} - A_{34} - A_{41} = Q_1 - Q_2 . \quad (9.1)$$

9.4 Карно теоремасы

Жылулық қозғалтқыш циклінің үнемділігі *жылулық пайдалы әсер коэффициенті* (ПӘК немесе η) арқылы сипатталады. Пайдалы әсер коэффициенті – бір циклде жасалған A жұмыс пен қыздырғыштан жұмыс денесіне берілген Q_1 жылу мөлшерінің қатынасына тең физикалық шама. Карно циклі бойынша жұмыс істейтін қозғалтқыш үшін ПӘК:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (9.2)$$

Бірқатар түрлендіруден соң Карно қозғалтқышының ПӘК-ін келесі түрге келтіруге болады:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (9.3)$$

Соңғы екі формуладан келесі қатынасты табамыз:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (9.4)$$

Олай болса, $T_2 = 0$ болғанда ғана $\eta = 1$ болады. Бірақ температураны абсолюттік нөлге дейін төмендету мүмкін емес. Бұл Нернст теоремасы дәлелдеген *термодинамиканың үшінші бастамасы*. Сондықтан, әрқашан $\eta < 1$ болады.

Карноның жылулық машинасы – идеал жылу машинасы. Мұндағы барлық процестер өте баяу өтетіндіктен, оларды қайтымды процесс деп қарастыруға болады. Температурасы әртүрлі денелер бір-бірінен оқшауланған. Сондықтан жылуөткізгіштік арқылы энергия жоғалмайды. Нақты машиналардың жұмыс жасауы кезінде энергияның қайтымсыз жоғалуы әрқашан қатар жүретіндіктен, олардың пайдалы әсер коэффициенті Карно машинасының пайдалы әсер коэффициентінен әрқашан аз болады:

$$\eta_{\text{қайтымды проц.}} > \eta_{\text{қайтымсыз проц.}} \quad (9.5)$$

Жоғарыда келтірілген түсіндірмелер негізінде үш ережеден тұратын *Карно теоремасы* тұжырымдалады:

1) Карно циклінің η қыздырғыш мен суытқыштың температурасына ғана тәуелді;

2) η жұмыс денесіне тәуелі емес (идеал газдың күй теңдеуі белгілі болғандықтан, ол үшін η есептеу жеңіл);

3) қайтымды цикл бойынша жұмыс істейтін машиналар *ПӘК*-і қайтымсыз цикл бойынша жұмыс істейтін машиналардың *ПӘК*-інен әрқашан артық болады:

$$\eta_{\text{қайтымды проц.}} > \eta_{\text{қайтымсыз проц.}}$$

9.5 Клаузиус теңсіздігі

Карно теоремасына бойынша:

$$\eta_{\text{қайтымды проц.}} > \eta_{\text{қайтымсыз проц.}} \quad \text{немесе} \quad \left(\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \right)_{\text{кезкелген машина}} \leq \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right)_{\text{қайтымды машина}} .$$

Олай болса,

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{немесе} \quad \frac{Q_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1} .$$

Теңсіздіктің екі жағын $\frac{Q_1}{T_2}$ бөлшегіне көбейтсек, келесі өрнектерді аламыз

$$\frac{Q_2}{T_2} \geq \frac{Q_1}{T_1} \quad \text{немесе} \quad \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad \text{немесе} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2^1}{T_2} \leq 0 ,$$

Мұндағы Q_2 – суытқышқа берілген жылу мөлшері; $Q_2^1 = -Q_2$ – жұмыс денесінің суытқыштан қабылдаған. Жүйенің қандай да бір денеден алған жылу мөлшерінің сол дененің температурасына қатынасын $\frac{Q}{T}$, Клаузиус, келірілген жылу мөлшері деп атады.

Соңғы теңсіздік *Клаузиус теңсіздігі* деп аталады. Оның физикалық мағынасы: *жүйенің циклде сырттан алған келтірілген жылуының элементар мөлшерлерінің қосындысы қайтымды циклдер үшін нөлге тең, ал қайтымсыз циклдер үшін нөлден кіші болады:*

$$\oint \frac{\delta Q_i}{T_i} \leq 0 . \quad (9.6)$$

Термодинамиканың екінші бастамасы

Термодинамиканың бірінші бастамасы энергияның сақталу және түрлену заңдарын сипаттағанымен, термодинамикалық процестердің жүру бағытын анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұл бастама нәтижесі қандай да бір денеден алынған жылуды толығымен жұмысқа айналдыратын процестің мүмкіндігін жоққа шығармайды. Мысалы, термодинамиканың бірінші бастамасы бойынша белгілі жылу көзін суыту арқылы периодты жұмыс істейтін (мұхиттардың ішкі энергиясы есебінен) машина жасауға болады. Мұндай қозғалтқыш *екінші текті мәңгі қозғалтқыш* деп аталады.

Көптеген эксперименттердің нәтижелерін талдай отырып, ғалымдар екінші текті мәңгі қозғалтқыш жасау мүмкін емес деген тұжырымға келді. Бұл тұжырымдама *термодинамиканың екінші бастамасы* деген аталды.

Термодинамиканың екінші бастамасының өзара эквивалент бірнеше тұжырымдама бар. Келесі екі тұжырымдаманы талдайық:

1) жылуды толығымен жұмысқа айналдыратын периодты жылу машинасын жасау мүмкін емес

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \quad (9.15)$$

2) жылу өздігінен температурасы жоғары денеден температурасы төмен денеге ғана өтуі мүмкін $dS \geq 0$. (9.16)

Бірінші формула екі тұжырымдаманы да түсіндіреді. Егер $Q_2 = 0$ болса (машина суытқышқа жылу бермесе), онда $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, яғни, $T_2 = 0$, бірақ абсолюттік нөлге тең температура алу мүмкін емес.

Егер $Q_1 = Q_2$ болса (жұмыс денесі қыздырғыштан алған жылу мөлшерін толығымен суытқышқа берсе), онда $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0 \geq 0$, яғни, $T_1 > T_2$ және

$dS = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} > 0$. Бұлай болуы мүмкін емес.

Термодинамиканың екінші бастамасы бірінші бастама секілді барлық жағдайда орындалатын әмбебап заң емес. Термодинамиканың бірінші бастамасы жылулық процестерге арналған энергияның сақталу заңы болағандықтан, оны кез-келген жүйе үшін қолдануға болады. Ал термодинамиканың екінші бастамасын өлшемдері шектеулі оқшауланған жүйелерге ғана қолдануға болады.

Назарларыңызға рахмет!!!