



# Термодинамика екінші бастамасы


Орындаған: Заурбеков Д.

Тексерген: Нурғалиева Ж. Г.

# Қайтымды және қайтымсыз процестер

Процесс **қайтымды** деп аталады, егер ол кері бағытта тура процестің жүрген барлық аралық күйлерінен өтсе, және бұл кезде қоршаған денелерде ешбір өзгеріс болмау керек.

Осы шартты қанағаттандырмайтын кез келген процесс **қайтымсыз** пр. болады, яғни қайтымсыз пр-тің соңында қоршаған денелерде не дененің өзінде қайсібір өзгерістер қалып қояды.



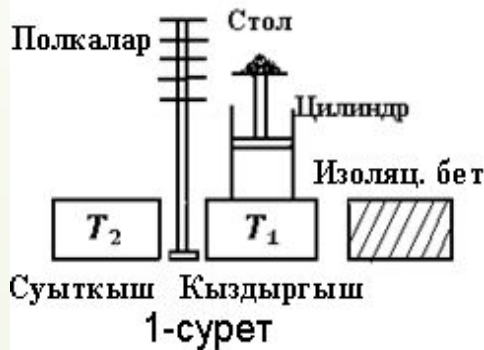
Сонымен, барлық нақты процестер – қайтымсыз, бірақ қайтымсыздық дәрежесі әртүрлі болуы мүмкін.

Қайтымды пр-тің қасиетіне тек **тепе-тең** пр. жатады.  
( Сыртқы әсер жоқ болғанда, процесті сипаттайтын параметрлер барынша тұрақты болатын процесті тепе – тең пр. деп ат.)

Мыс., газдың ад-лық сығылу не ұлғаю пр-сі – қайтымды, себебі жүйе мен орта арасында жылу алмасу жоқ ⇒ Газды ад. ұлғайтып, сонан кейін сығып, қоршаған ортада ешбір өзгеріссіз, бастапқы күйге келтіруге болады.

# Идеал жылу машинасы

1824 ж. фр. инженері Сади Карно циклдік жұмысы 2 изот. және 2 ад-дан тұратын жылу машинасын ұсынған. Машина жұмыстық заты (ид. газ) бар цилиндрден тұрады.



Түрлі деңгейдегі қыздырғышқа орналастырылған газдың деңгейі  $T_1$  болады.

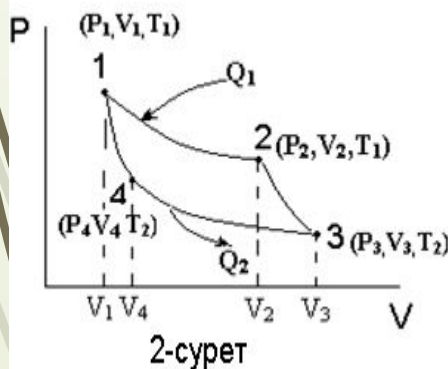
Газды изот. ұлғ. үшін құмды  $\infty$  порциямен (бөлікпен) столдан, жанынан П өтетін, полкаға (сөреге) тастаймыз.  $\Rightarrow$  П-ға түсетін  $P_{\text{сырт}} \infty$  баяу  $\downarrow$

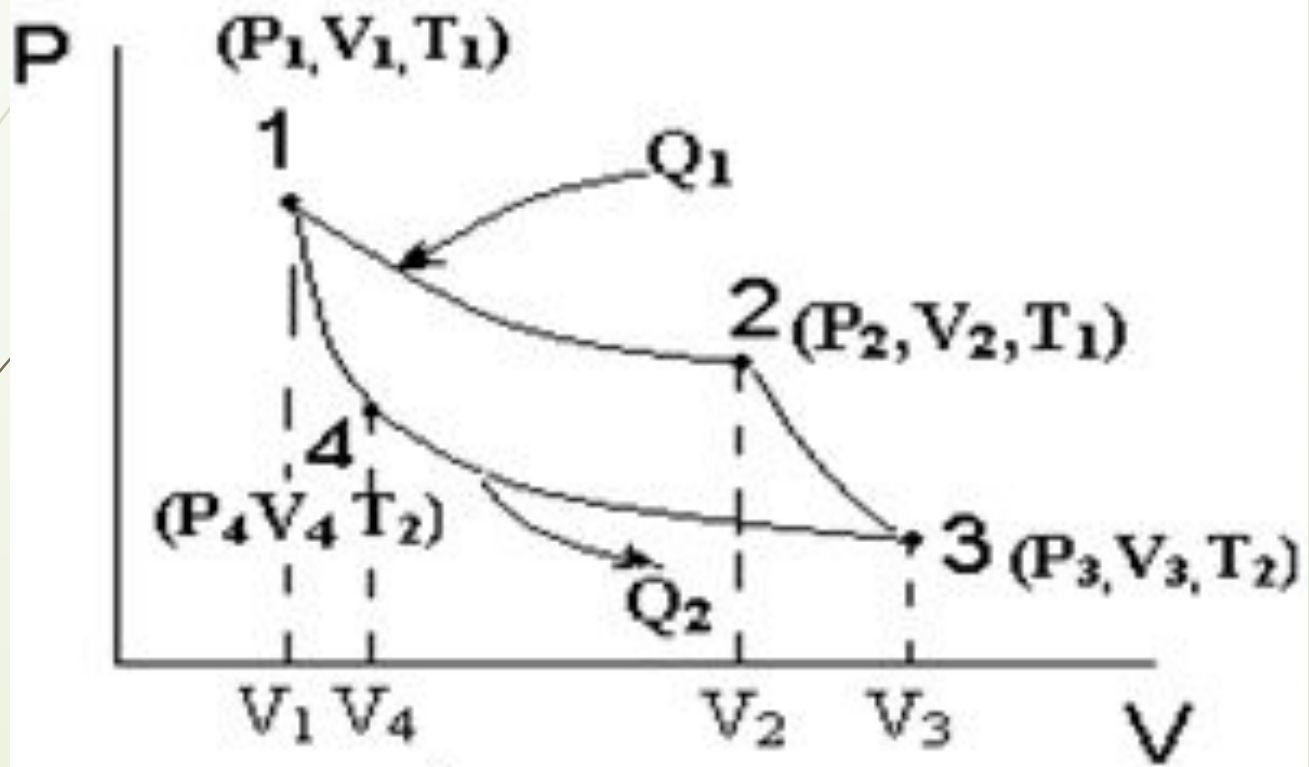
$\Rightarrow$  Мұндай ұлғаюудағы  $Q$  берілуі - изот-лық ( $T$  тұрақты б. үшін, жұмысқа эквив. б-тын  $Q_1$  қажет:  $Q_1 = A_1$ )

Сур-те бұл пр. 1-2 изотермамен көрсетілген, газдың изот. ұлғ. жұмысы  $A_1$ : 
$$A_1 = RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

2). Көлем  $V_2$  б-да, цил. ИБ-ке қоямыз,  $V_3$ -ке дейін ары қарай ұлғаюды ад-лық жүргіземіз, (себебі ИБ және Ц арасында жылу алмасу жоқ) құмды сөреге тастауды тоқтатпай, жалғастырамыз.

Енді жүкті көтеру жұмысы газдың  $U \downarrow$  ар-лы жасалады (оның  $T$ -сы  $T_2$ -ге дейін  $\downarrow$ ): 
$$A_{23} = C_V(T_1 - T_2)$$





2-сурет



Сади Карно

3). Газ т-расы  $T_2$  суытқыш т-сына = б-да (3-нүкте),  
Ц→суытқышқа,  
және газды изот. сығамыз, енді құмды сөреден  
столға тастаймыз.

Газдың сығылуы сыртқы күштер ар-лы  
жүреді,  $T$  өзгермеу үшін, газдан  $A_2$ -ге эквив-  
нт  $Q_2$  шығарылып, суыт-қа беріледі:

$$Q_2 = A_2 = RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$

4). 1-нүктемен бір ад-да жатқан 4-н-ге келгенде, цилиндрді қайта  
→ ИБ, құмды столға тастап, сығуды ад. жалғас-мыз. Газ  $T \uparrow$ .

Сырт. күштің ад. сығу жұм.  $U \uparrow$  кетеді :  $A_{41} = C_V(T_2 - T_1)$   
Газ баст. 1- күйге келгенде процесті тоқтатамыз.

Сонымен, 2 изот. және 2 ад. тұратын цикл жүрг-ді, нәтижесінде газ  
баст. күйге оралды  $\Rightarrow$  ешбір  $U$  өзгерісі жоқ.

Жылу жұмысқа айналатын циклдер **тура циклдер** деп ат-ды. Жылу түрінде алған энергияны мех. жұмысқа түрлендіретін барлық жылу машиналары тура цикл жасайды.

Циклдің тиімділігі п.э.к.  $\eta$  сипатталады. Бұл шама жұмысқа айналған жылу мөлшерінің қыздырғыштан алған ж. мөлшерінің қатынасымен анықталады:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (3) , \text{ немесе}$$

$$\eta = \frac{RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \quad (4)$$

## Карно теоремасы

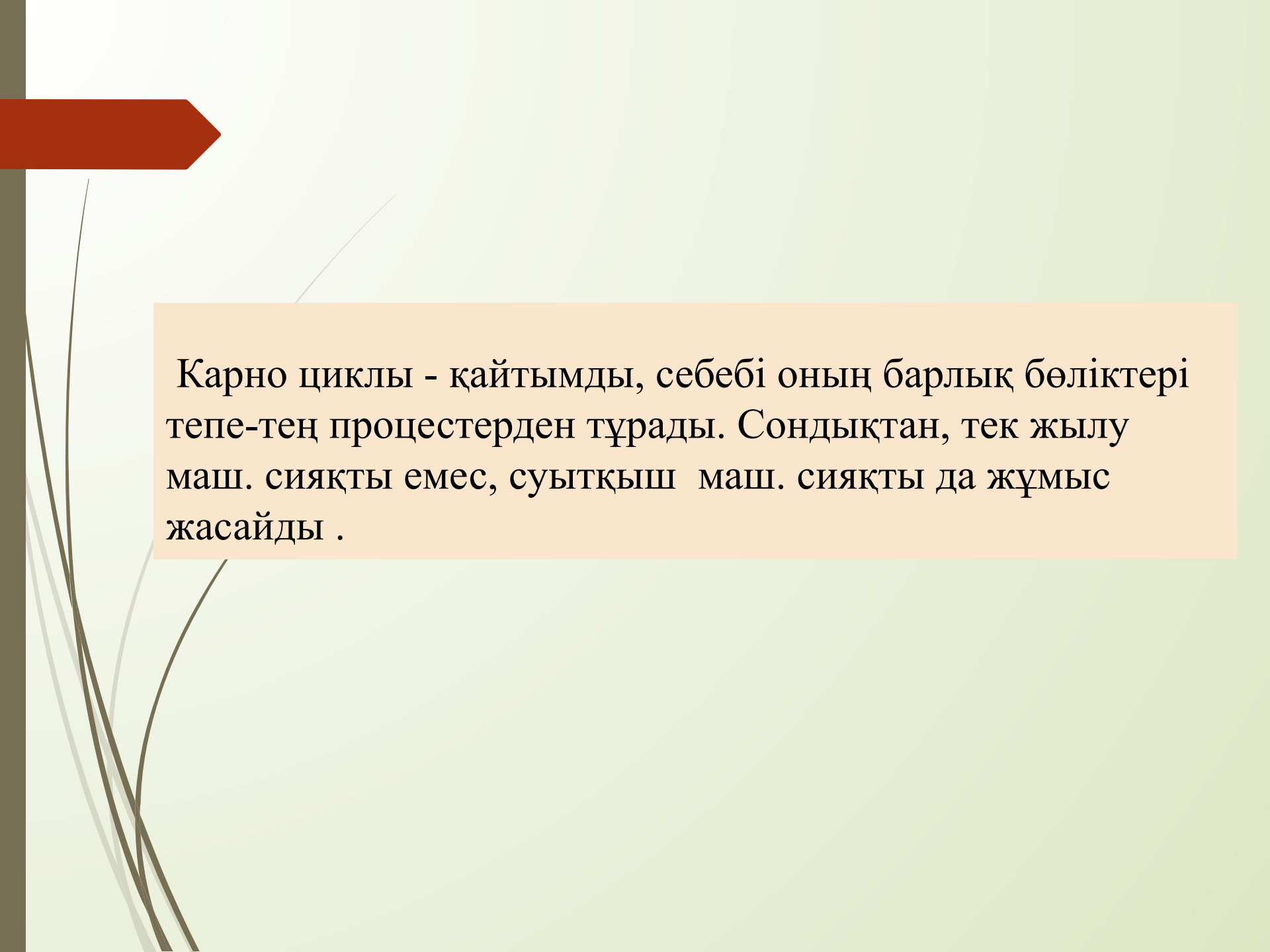
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (5)$$

$T_1$  – көлем  $V_1$  ден  $V_2$ -ге дейін изот. ұлғайғандағы т-ра;

$T_2$  – көлем  $V_3$  тен  $V_4$ -ке дейін изот. сығылғандағы т-ра.

(5)  $\Rightarrow$  Карно теоремасы: Карно циклының п.э.к.  $\eta$  пен  $S$  т-раларымен ғана анықталады және цикл жасайтын жұмыстық затқа  $\neq$ .





Карно циклы - қайтымды, себебі оның барлық бөліктері тепе-тең процестерден тұрады. Сондықтан, тек жылу маш. сияқты емес, суытқыш маш. сияқты да жұмыс жасайды .

# Температураның ТД-лық шкаласы

□ Карно теоремасын қолданып, термометрлік денеге байланыссыз, т-ралық шкала алуға б-ды. Карно циклының п.э.к. үшін:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ не } 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \text{ бұдан } \frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (1) \Rightarrow$$

Карно ц. қолданып, Қ-тан алатын  $Q_1$ -дің С-қа беретін  $Q_2$ -ге қатынасы арқылы екі темп-ның қатынасын өлшеуге болады.

η цикл жасайтын жұм. затқа  $\sim$  болғандықтан ( Карно теор.),  $\frac{Q_1}{Q_2}$  қатынасы да жұм. зат қасиетіне  $\sim$ .

⇒ Олай болса (1)- қатынас ар-лы термометрлік денені таңдап алуға байланыссыз т-ралық шкала алуға болады.

Мұндай шкаланы ТД шкала, ал т-раны ТД т-ра деп атайды. ТД шкала термометрмен анықталатын т-раның абс. шкаласымен сәйкес келеді.

# Термодинамиканың екінші заңы

ТД 1з.  $Q$ ,  $A$ ,  $\Delta U$  арасында сандық байл-с орнатады, бірақ процестің бағытын анықтамайды.

ТД 2з. табиғатта өтетін процестің бағытын көрсетеді, және сипаттама береді

ТД 2 з. бірнеше тұжырымдамалары бар

« Жылу өздігімен аз қызған денеден қатты қыздырылған денеге өте алмайды (Клаузиус) . «Нәтижесінде жылуды толығымен жұмысқа айналдыратын периодты процестің болуы мүмкін емес» (Планк).

Макс Планк 23.04. 1858 г. ж. Киль қаласында заңгерлер отбасында туған. Мюнхенде гимназияны оқып, бітірді. Диссертация қорғағаннан кейін 1885 - 1889 ж. Кильде, 1889 -1926 ж. Берлинде сабақ берді. Дүниеден өтен: 04. 10.1947 ж.



М.Планк



Р.Клаузиус

Рудольф Клаузиус 02.01. 1822 ж. Кёслинде туған. Берлинде университет курсың бітіріп, Артиллериялық мектепте оқытушы болды. 1855 ж. бастап Цюрихтегі Жоғары политехникалық мектептің, Цюрих университетінің профессоры болды. 1869ж. Бонн қаласына қоныс аударып, 24.08. 1888 ж. дүниеден өтті.

### Планк тұжырымдамасына түсініктеме:

Карно циклында  $Q_1$ -тан алынған жылудың тек  $Q_1$  бөлігі ғана жұмысқа айналады, ал басқа бөлігі  $Q_2$ , қолданылмай,  $C$ -қа беріледі.


Егер сырттан алған барлық  $Q$  жылуды  $C$ -қа бермей, толығымен  $A$ -ға айналдыратын двигатель жасалса, онда мұндай двиг-дің  $\eta=1$  болып, ол әртүрлі  $t$ -расы бар екі денені ( $Q$  пен  $C$ ) қажет етпеуші еді.

Оны 2-ретті мәңгілік двигатель деп атаған.

Сонымен, ТД 2 з.  $\Rightarrow \forall$  периодты жұмыс жасайтын жылу машинасы үшін жылудың бір бөлігін  $C$ -қа беру -  $Q$ -ды  $A$ -ға айналдырудың қажетті шарты болып табылады.

*Қорытынды: Нақты двиг-дегі пр. қайт-сыз және двигательдерде Карно ц. орындау мүмкін емес.*

*Сонд-тан нақты двиг-дің п.э.к. Карно циклының п.э.к.-нен әрқашан  $<$*



Іштен жану двиг-де жылудың қабылдануымен бірге үш түрлі цикл қол-ды:

1)  $V=const$  кезіде -Отто циклы;

2)  $P=const$  - Дизель циклы;

3) жартылай  $V=const$  , жартылай  $P=const$  кезінде –  
Тринклер циклы.

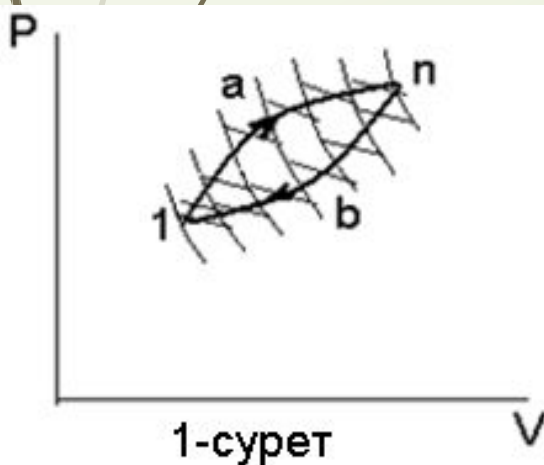
# Клаузиус теоремасы

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

Берілген жылу мөлшерінің  $Q$  не  $S$  т-расына қатынасы **келтірілген жылу** деп аталады.  
(1)- ф-ла: *Карно циклында газдың изот. ұлғаю және сығылу кезіндегі келтірілген жылулары бірдей болады.*

$1anb1$  жолымен жүретін тепе-тең цикл қарас-йық (1-сурет). Тура  $a$  және кері  $b$  өтудің сызықтарын қиятындай  $\infty$  жақын орнал-қан адиабат . сызайық.

Әрбір кесіндінің ортасынан изот-лар өткізейік.



Онда  $a$  және  $b$  сыз-ның әрқай-сын  $\infty$  жақын изот-дан тұрады деп, және оларда жұм. зат  $T_{a1}, T_{a2}, \dots$ , т-ралары бар бірқатар  $Q$ -дан  $d'Q_{a1}, d'Q_{a2}, \dots$  жылу алады, және  $T_{b1}, T_{b2}, \dots$ , т-лары бар бірқатар  $S$ -тарға  $d'Q_{b1}, d'Q_{b2}, \dots$  жылу береді деп есептейміз –суреттегі әрбір ауданша Карно циклын береді.

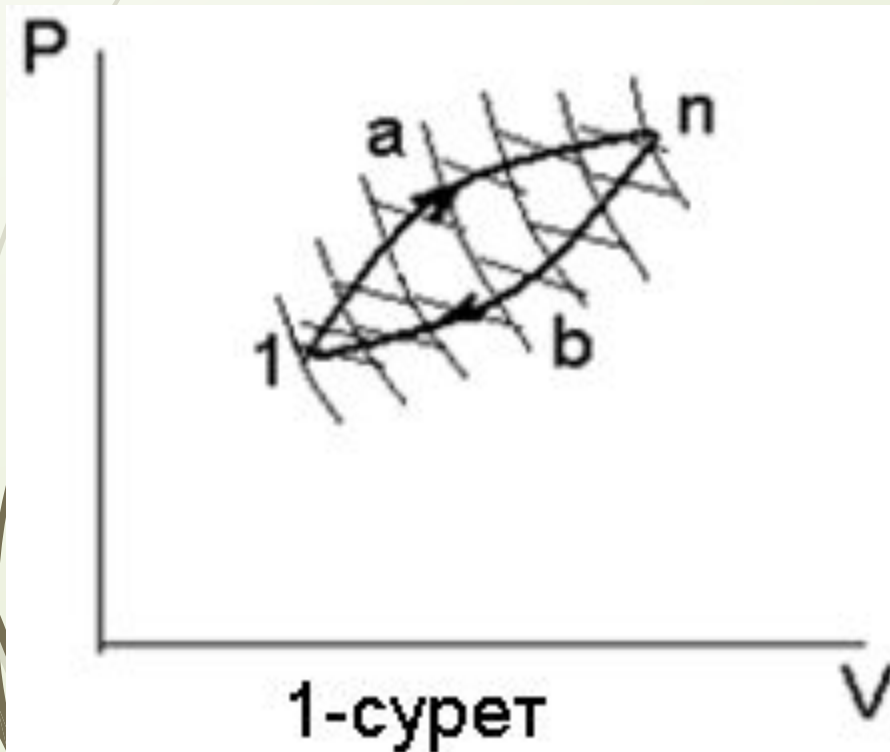
Осындай әрбір циклға келтірілген жылулардың теңдігі туралы

(1)-формулананы қолданайық:

$$\frac{d'Q_{a1}}{T_{a1}} = \frac{d'Q_{b1}}{T_{b1}}, \quad \frac{d'Q_{a2}}{T_{a2}} = \frac{d'Q_{b2}}{T_{b2}}, \quad \dots \quad (2)$$

Алынған өрнектерді қосайық:  $\sum \frac{d'Q_{ai}}{T_{ai}} = \sum \frac{d'Q_{bi}}{T_{bi}}; \quad (3)$

**Жүйе бір күйден екінші күйге өткенде келтірілген жылулардың қосындысы өту жолына (пішініне) байланыссыз –Клаузиус теоремасы**



# Энтропия

□ 1-суреттегі 1ab1 қ-ды ц. қарас-қ . (9)- интегралды 2 ∫-дың ∑ ретінде алайық:

$$\int_{1a}^n \frac{d'Q}{T} + \int_{nb}^1 \frac{d'Q}{T} = 0, \quad (1) \text{ не циклдың қай-дылығын ескерсек,}$$

$$\int_{1a}^n \frac{d'Q}{T} = - \int_{nb}^1 \frac{d'Q}{T} = \int_{1b}^n \frac{d'Q}{T} \quad (2)$$


(2) -∫-лдың 1 және 2 күйлері арасындағы қ-ды жолына байл-сыз болуы осы ∫-дың дененің қайсібір күй ф-циясының өзгерісін білдіретінін көрсетеді, оны Клаузиус энтропия деп атап,  $S$  ар-лы белгілеген.

Бұл грек сөзі бұрылыс, қайта оралу , түрлену дегенді білдіреді.

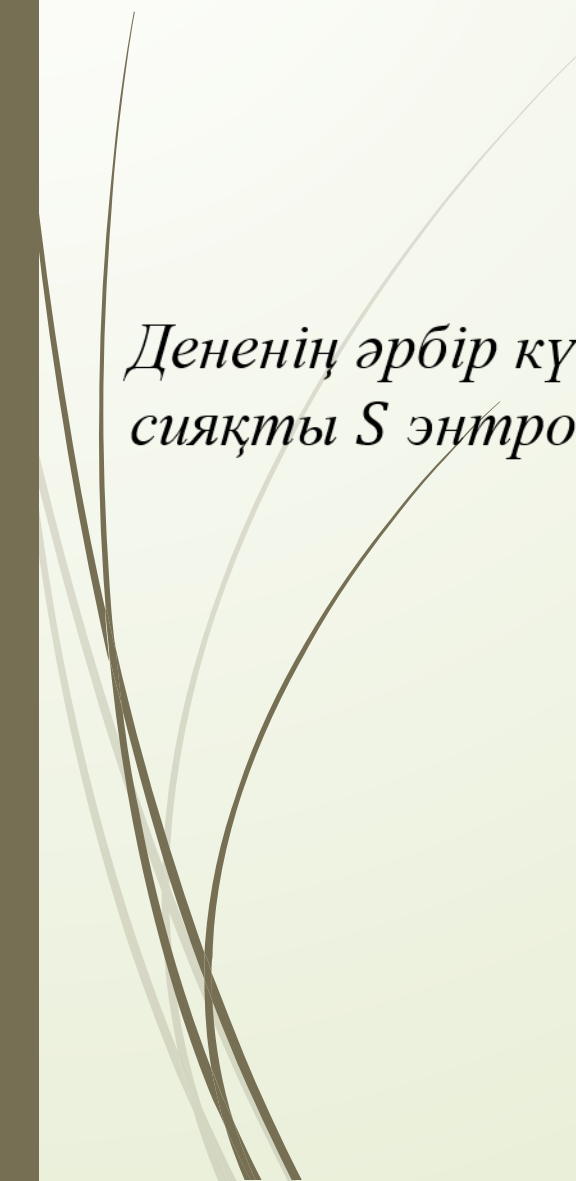
Осы анықтама б-ша қ-ды пр-тегі энтропияның өзгерісін былай жазамыз:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{d'Q}{T} \quad (3) \Rightarrow \text{Өлшем білігі: } \frac{\text{Дж}}{\text{К}} .$$





*Дененің әрбір күйі  $U$  ішкі энергияның мәнімен сипатталған сияқты  $S$  энтропияның белгілі бір мәнімен сипат-ды.*



# Энтропияның кейбір процестердегі өзгеруі

1. Адиабаталық процесс.  $d'Q = 0$ .

Онда (3)-тен ( $S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{d'Q}{T}$ ) аламыз:

$$S_2 - S_1 \geq 0 \quad (1) \Rightarrow$$

- қайтымды ад. пр. үшін энтропияның өзгерісі = 0

- қайтымсыз ад. пр. үшін дененің энтропиясы артады:  $S_2 > S_1$

Оқшауланған (жылулық изоляц-ған) дене үшін әрқашан  $d'Q = 0$ ,  
себебі басқа денемен жылулық алмаспайды  $\Rightarrow$

Оқшауланған дененің энтропиясы

- не тұрақты болып қалады,

- не артады.

Қайтымды ад. процеске  $S = \text{const}$   
болғ-тан, мұндай пр-ті

**ИЗОЭНТРОПИЯЛЫҚ** деп атайды.

Қайтымсыз ад. пр.

ИЗОЭНТРОПИЯЛЫҚ пр-ке жатпайды.

## 2. Жылуалмасу процесі.

$d'Q$  жылу  $T_1$  жоғары болатын денеден  $T_2$  төмен денеге беріледі. Энтропияның өзгеруі:

$$S_2 - S_1 = d'Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} d'Q$$

$T_1 > T_2$  болғ-тан, энтропияның өзгерісі оң болады, жылуалмасу кезінде дененің энтропиясы артады .

Бұл 2 (не одан көп) денеден тұратын нақты оқшауланған жүйелерде өтеді. Сол себепті, егер мұндай жүйеде энтропияның шамасы белгілі болса, онда осы жүйедегі процестің бағытын алдын ала көрсетуге болады.

# Энтропия және ықтималдық. ТД 2-заңының статистикалық сипаттамасы.


ТД дағы пр-терді стат. физика да қарастырады. Бұл ТД-мен салыстырғанда басқа нәтижеге әкеледі.

Мысалы, жылудың суық денеден ыстық денеге берілмейтіндігін көрсететін ТД-ның 2 заңының тұжырымы – стат. физикада, өте аз ықтималдықпен болса да, орындалуы мүмкін.

Энтропияның ықтималдықпен байланысын Больцман орнатқан: **энтропия күй ықтималдығының логарифміне пропорционал**

$$S = k \ln W \quad (1)$$

$k$  — Больцман тұрақтысы.  $W$  — термодинамикалық ықтималдық - мол-лардың кеңістік б-ша және энергиялары б-ша таралуы. Больцман тұжырымдамасы ТД-ның статистикалық сипаттамасы бар екенін көрсетеді.



Қорытынды: ТД-ның 2 заңы – статистикалық заңға жатады, демек оқшауланған жүйелерде энтропияның артуына емес, кемуіне де әкелетін процестер болуы мүмкін. Бірақ мұндай процестің туындауының ықтималдығы өте аз.