

4-mavzu. Termodinamikaning ikkinchi qonuni.

Reja:

1.Aylanma jarayonlar (yoki sikllar)

2.Karno sikli. Teskari Karno sikli.

3.Termodinamika II qonunining mazmuni.

4.Karno teoremasi. Termodinamika II qonunining matematik ifodasi

5.Qaytmas siklda entropiyaning o'zgarishi. Klauzius nazariyasining xatoligi

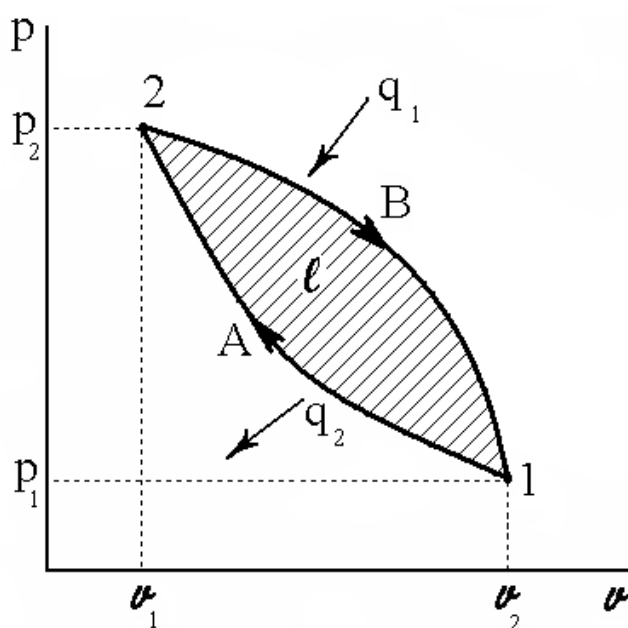
6.Termodinamika jarayonlarini va Karno siklini " " va "Ts" koordinatalaridagi shakllari.

1.Aylanma jarayonlar (yoki sikllar)

Issiqlik mashinasining uzluksiz ishlashi uchun avval qarab chiqilgan termodinamika jarayonlarining birortasidan ham alohida holatda foydalanib bo'lmaydi. Bu jarayonlar bajarilishi uchun mashinaning porsheni uzluksiz ravishda bir yo'nalishda harakat qilaverishi kerak, lekin bunga mashinaning cheklangan real o'lchamlari yo'l qo'ymaydi.

Biron bir arziydigan miqdordagi ishni olish uchun ishchi jism kengayish jarayonini uzluksiz takrorlab turishi taqozo qilinadi. Buning uchun ishchi jismni dastlabki ishchi holatiga siqish jarayoni orqali qaytarib kelish kerak bo'ladi.

Issiqlik mashinasida qisish jarayonida sarflanadigan ish kengayish jarayonida gazdan olinadigan ishdan ancha kam bo'lishi kerak, aks holda issiqlik mashinasi ishlamaydi. Boshqacha qilib aytganda (1-shaklga qarang), pV- diagrammasida



qisishni ifodalovchi egri chiziq (1-A-2), kengayishni ifodalovchi chiziq (2-B-1) dan ancha pastroqda joylashishi kerak. Mashina ishchi jismining holati 1-A-2-B-1 yopiq kontur bo'yicha o'zgarib turadi, ya'ni goh kengayib, goh qisilib dastlabki holati (1) ga kelib turadi. **Bunday yopiq jarayonlarni aylanma jarayonlar yoki sikllar deyiladi.**

Tabiatdagi mavjud mashinalarning aksariyat qismi ochiq konturdagi aylanma jarayonlar bo'yicha ishlaydi, chunki ishchi jism ishni bajarib bo'lib silindrdan atmosferaga chiqarilib yuborilib, silindrga 1-rasm yangi portsiya ishchi jism (havo) kiritiladi. Bunday jarayonlarni ham shartli ravishda shakl yopiq deb yuritilaveradi, chunki termodinamika tadqiqotlarda siklga yangi ishchi jism (havo) kiritamizmi

yoki ilgarigisini ayni paytda oldingi holatiga qaytarib (tutundan tozalab) yana qayta ishlatamizmi farqi yo'q.

Issiqlik mashinalarida sodir bo'ladigan hodisalar takroriy xarakterga ega bo'lganligi uchun termodinamika tadqiqotlarida faqat bir siklni qarab chiqsak yetarli bo'ladi.

Sikl uchun termodinamikaning birinchi qonuni quyidagicha yoziladi:

$$q_1 - q_2 = u_2 - u_1 + \ell \quad (4.1)$$

bu yerda q_1 - kengayish jarayonida gazga berilgan issiqlik miqdori;
 q_2 - qisish jarayonida gazdan sovitgichga o'tgan issiqlik miqdori.

Aylanma jarayonda gazning keyingi holati dastlabki holatiga to'g'ri keladi, ya'ni gaz siklni bajarib bo'lib to'la ilgarigi holatiga qaytishi kerak, shuning uchun siklda ichki energiyaning o'zgarishi nolga teng: $u_2 - u_1 = 0$ (4.1) ifodada ℓ siklda olingan (foydali) ish bo'ladi. Aylanma jarayonda olingan ish grafik usulda 1-A-2-B-1 egri chiziqning ichidagi yuza (yuqoridagi rasmda) orqali ifodalangan.

Siklning issiqlik tenglamasi termodinamikaning birinchi qonuniga asosan quyidagicha yoziladi: $q_1 - q_2 = \ell$ (4.2)

Uzluksiz ishlayotgan issiqlik dvigatelida gazga berilgan issiqlik miqdorining hammasi ishga aylanmay, bir qismi (q_2 qismi) albatta sovitgichga o'tishi kerak. Shuning uchun **siklning termik foydali ish koeffitsenti (F.I.K.)** degan tushuncha kiritiladi:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (4.3)$$

Siklda ishga aylangan issiqlik miqdori ($q_1 - q_2$)ning jami gazga berilgan issiqlik miqdori (q_1) ga nisbati siklning foydali ish koeffitsenti deyiladi.

Termodinamika siklida hamma vaqt ($q_1 > q_2$) bo'lganligi uchun termodinamika f.i.k. doimo 1 dan kichik bo'ladi, ya'ni.

Agar siklda jarayonlarning bajarilishi soat mili yo'nalishida bo'lsa, issiqlik dvigatelining sikli (Rasmdagidek), agar jarayonlarning bajarilish ketma-ketligi teskari yo'nalishda bo'lsa, sikldan foydali ish o'rniga salbiy ish olinadi (sarflanadi), bunday sikllar sovitish tizimlari (muzlatgich) ning sikli bo'ladi.

2. Karno sikli.

Ilgari aytib o'tkanimizdek, har qanday termodinamika siklining termik f.i.k. quyidagicha bo'ladi:

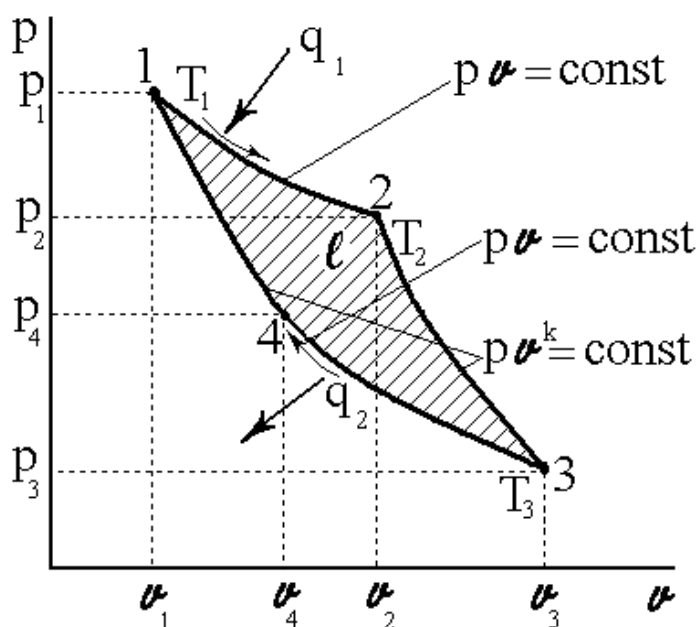
$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad (4.4)$$

Bu yerda q_1 va q_2 larning qiymatlari siklni tashkil qilgan termodinamika jarayonlarning turiga va ularning ketma-ketligiga bog'liq. Shuning uchun, termodinamikada mavjud bo'lgan xilma hil sikllar orasida qanday sikl eng yuqori f.i.k. beradi (hatto u faqat nazariy bo'lsa ham), degan muammo Termodinamika va Issiqlik uzatish asoslari fani oldida turadi. Bunday sikl, har qanday boshqa siklning takomillashish darajasini, ya'ni issiqlikdan foydalanishning qay darajadaligini bilish uchun zarur.

Ana shunday eng mukammal termodinamika siklini 1824 yilda fransuz injeneri Sadi Karno taklif qildi. Karno taklif qilgan sikl ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan tashkil topgan (2-rasm : - 1-2 va 3-4 izotermik jarayonlar, 2-3 va 4-1 adiabatik jarayonlar).

T_1 - ishchi jismning dastlabki harorati bo'lib, issiqlik manbaining haroratiga teng.

T_2 - adiabatik kengayish oxiridagi harorat bo'lib, sovitgichning harorati hisoblanadi.



Bunday siklning termik f.i.k. eng yuqori bo'lishi sababini shu ikki xil termodinamika jarayonlarining tahlilidan qidirish kerak bo'ladi. Ma'lumki, izotermik jarayonda gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi ($uq0$), shuning uchun gazga berilgan issiqlik miqdorining barchasi ishga aylanadi ($q=\ell$). Adiabatika Karnoning to'g'ri sikli jarayoni, ilgari aytib o'tganimizdek, gazga berilgan issiqlikni atrof muhitga chiqarmaydi, 2-rasm ya'ni

gazning izotermik jarayondan qolgan ichki energiyasini to'la ishga aylantiradi:

$$(q_1 - q_2 = \ell).$$

Yuqoridagi mulohazalarga ko'ra, gaz qator holat o'zgarishlarini (jarayonlarni) bosib o'tib, o'zining dastlabki holatini egallaydi va eng yuqori (nazariy) f.i.k. ga ega bo'ladi.

Siklning termik f.i.k. ni keltirib chiqaramiz, (4.4.) tenglikka ko'ra:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

Issiqlik miqdori gazga 1-2 izotermik jarayonda beriladi, shuning uchun:

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (4.5)$$

3 - 4 jarayonida gazni siqish (izotermik) uchun sarflangan ishning barchasi issiqlikka aylanadi va q_2 issiqlik miqdori sovitgichga beriladi:

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} \quad (4.6)$$

Issiqlik miqdorlarining qiymatlarini f.i.k. tengligiga keltirib qo'yamiz:

$$\eta_t = \frac{RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1} - RT_2 \ln \frac{g_3}{g_4}}{RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1}} = \frac{T_1 \ln \frac{g_2}{g_1} - T_2 \ln \frac{g_3}{g_4}}{T_1 \ln \frac{g_2}{g_1}} \quad (4.7)$$

Ushbu tenglikda $\frac{g_2}{g_1} = \frac{g_3}{g_4}$ ekanligini isbotlab ko'ramiz.

Ko'rsatkichlar orasidagi bog'lanishga asosan 2-3 adabatik jarayoni uchun yozish mumkin:

$$\frac{g_2}{g_3} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

Shunday bog'lanishni endi 4-1 adiabatik jarayoni uchun ham yozamiz:

$$\frac{g_1}{g_4} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

Olingan ikkala tenglikni taqqoslasak:

$$\frac{g_2}{g_3} = \frac{g_1}{g_4} \quad \text{yoki} \quad \frac{g_2}{g_1} = \frac{g_3}{g_4}$$

ekanligini ko'ramiz. Demak, $\ln \frac{g_2}{g_1} = \ln \frac{g_3}{g_4}$ bo'lganligi uchun (4.4) tenglikda ular o'zaro qisqaradi, ya'ni

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad \eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (4.8)$$

Shunday qilib, qaytar Karno siklining termik f.i.k. issiqlik manbaining va sovitgichning absolyut haroratlariga bog'liq. Haroratlar farqi qancha katta bo'lsa, siklining f.i.k. shuncha katta bo'ladi. (4.5) ifodadan yana shuni ko'rish mumkinki, siklining termik f.i.k. har doim birdan kichik bo'ladi. Bu yerda birdan ayriluvchi

$\frac{T_2}{T_1}$ nisbat hech qachon nolga teng bo'lmaydi. Bu nisbat nol bo'lishi uchun qo'yidagi ikkita shartlardan biri bajarilishi kerak, $T_2=0$ ($t_2 = -237,15^\circ\text{S}$) yoki $T_1 = \infty$. Ma'lumki, ikkala shart ham bajarilishi mumkin emas.

Demak, siklda gazga beriladigan issiqlik miqdorini to'la ishga aylantirish mumkin emas, har qanday sharoitda ham berilgan issiqlikning bir qismi ishga aylanmay sovitgichga o'tadi. Agar sovitgich va issiqlik manbalarining haroratlariga teng bo'lsa, ya'ni $T_1 = T_2$ bo'lsa, $\eta_t = 0$ bo'ladi.

2.1. Teskari Karno sikli.

Karno siklining shakli o'zgarmay faqat jarayonlarning yo'nalishi soat mili yo'nalishiga teskari bo'lsa, teskari Karno sikli deyiladi va sovitish mashinalarining ideal sikli bo'lib hisoblanadi. Bunda sikldan foydali ish olinish o'rniga, siklni bajarish uchun ish sarflash kerak bo'ladi.

Siklda issiqlik miqdori sovuqroq jismdan issiqroq jismga haydaladi. Sovitgichlarning (muzlatgich) kompressorlariga sarflanadigan ish yuqorida aytilgan teskari siklni amalga oshirish uchun sarflanadi deb tushunish kerak. Teskari Karno siklining sovitish koeffitsienti quyidagicha bo'ladi:

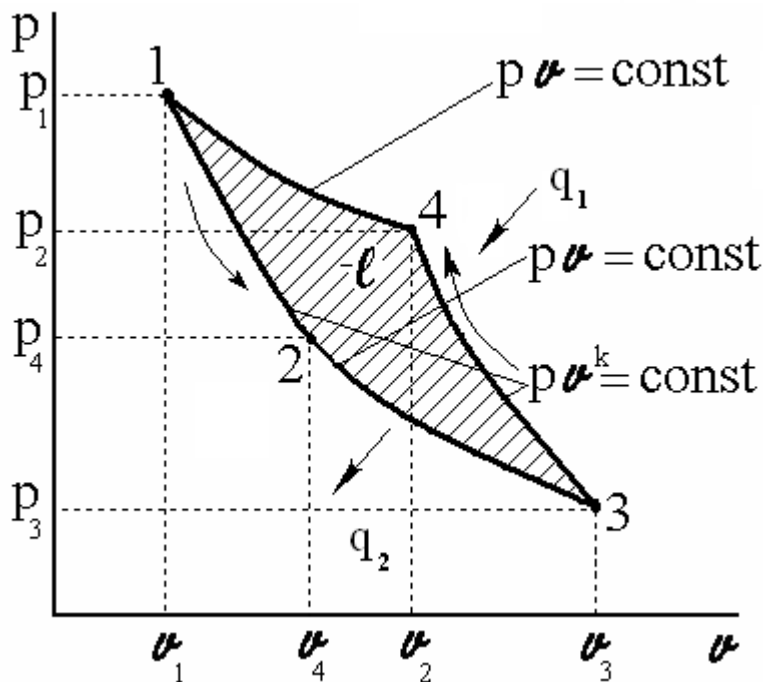
$$\varepsilon = \frac{q_2}{\ell} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (4.9)$$

bu yerda q_2 – sovitgichdan olingan issiqlik miqdori;

ℓ - siklni bajarish uchun sarflanadigan ish miqdori.

Sovitish koeffitsienti ε ning ortishi uchun T_2 ning ortishi va ayniqsa T_1 ning kamayishi kerak

Injener Karnoning termodinamika uchun xizmati asosan shunda bo'ldiki, uning taklif qilgan sikli orqali quyidagi qoida yaratildi: **Issiklikni mexanik ishga aylantirish uchun issiqlik manбайдan tashqari sovitgich ham bo'lishi zarur, ya'ni faqat haroratlar farqi bo'lgandagina mumkin.** Texnikada shunday f.i.k.ga ega bo'lgan sikl yaratilganmi degan savolga javob beradigan bo'lsak, faqat yo'q



degan javobni berishimiz mumkin. Chunki bu sikl issiqlikdan foydalanish nuqtai nazaridan eng mukammal bo'lgani bilan kamchilikka ham ega. Agar siklni rasm 3. dagidek emas, masshtab bilan qo'rsak, siklni ifodalovchi kontur ichidagi yuza Teskari sikl nihoyatda oz bo'ladi, ya'ni sikldan olinadigan ish (ℓ) oz bo'ladi. Yuqori bosim va katta hajmli mashina qilinsa Rasm 3 shu mashinaning o'zini aylantirish uchun ko'p energiya ketib qoladi. Yuqoridagi mulohazalarga

3-rasmga ko'ra, Karno sikli issiqlikdan foydalanish nuqtai-nazaridan eng yuqori f.i.k ga ega bo'lgan nazariy sikl bo'lib qolaveradi..

3. Termodinamika II qonunining mazmuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanish yo'nalishini ham, aylanish sharoitini ham ko'rsatmaydi. Ishning issiqlikka

aylanishi bilan issiqlikning ishga aylanishi hodisalari orasida keskin farq bor, lekin birinchi qonunda bunga e'tibor berilmaydi.

Dvigatel ishini tormozlash yo'li bilan to'la issiqlikka aylantirish, ya'ni har qanday holatlarda ham ishni issiqlikka to'la, 100 % aylantirish mumkin. Teskari hodisa – issiqlikning ishga aylanishi hech qachon to'la bo'lmaydi. Masalan, eng mukammal issiqlik dvigatellarida ham termik f.i.k. 60 % dan ortmaydi.

Shunday qilib, issiqlikning ishga aylanishi uchun issiqlik manbai bo'lishidan tashqari, sovitgichning ham mavjud bo'lishi shart.

Ikkinchi qonunning mazmuni haqida nemis fizigi L.Boltsman shunday yozgan: **“Hamma tabiiy jarayonlar beqarorroq holatdan barqarorroq holatga o'tishdan iboratdir”**.

Masalan, pastga suvning oqishi tabiiy, chunki u barqaror holatiga – dengizga intiladi. Suvni balandlikka oqizish uchun esa maxsus mexanizm – nasos kerak. Ikkinchi misol, issiqroq jismdan sovuq jismga issiqlik miqdorini o'tishi tabiiy, lekin teskari hodisa – sovuq jismdan issiqroq jismga issiqlikning o'tishi uchun esa maxsus mexanizm – sovitgich (xolodilnik) kerak bo'ladi. Endi buni issiqlik texnikasi qoidasi bo'yicha tushuntiramiz. Ish va issiqlik energiyaning uzatilish usuli bo'lib, ulardan issiqlik barqarorroqdir. Masalan, issiqlikni saqlash mumkin, ish esa faqat bajarilayotgan paytda mavjud bo'lib, keyin u saqlanmaydi. Demak, ish issiqlikka aylanishi tabiiy bo'lib, issiqlikni ishga aylanishi uchun maxsus mexanizm, dvigatel bilan majbur qilinadi, shunda xam 100% aylanmaydi.

Demak, termodinamikaning ikkinchi qonuni birinchi qonunning ta'sir doirasini qandaydir ma'noda cheklaydi. Shu ma'noda ingliz fizigi V.Tomson-Kelvin(1851 y.) ikkinchi qonunga quyidagicha ta'rif berdi, **ya'ni davriy ravishda ishlab turgan dvigatelda jismni faqatgina sovitmay turib, uning issiqligini ishga aylantirib bo'lmaydi**.

V.Ostvald esa termodinamikaning ikkinchi qonunini quyidagicha ta'riflagan: **ikkinchi darajali perfektum mobileni yaratish mumkin emas**.

R.Klauzius (1850 y.) ta'rifi bo'yicha, **issiqlik ancha sovuq jismdan ancha issiq jismga o'z-o'zidan o'ta olmaydi**.

Nemis fizigi L.Boltsman termodinamikaning ikkinchi qonuni holatini quyidagicha ta'rifladi: **ikkinchi tur perfektum mobileni yaratish mumkin emas**. Bu degani shuki, tashqaridan oz energiya olib, miqdor jihatdan ko'p energiyaga ekvivalent bo'lgan ish bajaruvchi dvigatelning bo'lishi mumkin emas. Ortiqcha ishni «hech narsa» hisobiga bajarishga to'g'ri keladi. **«Hech narsa» hisobiga ish bajaruvchi dvigatelni birinchi turdagi perfektum mobile deyiladi**.

Ikkinchi turdagi perfektum mobile deganda qandaydir issiqlik manbaidan issiqlik olib, bir xil jarayonni ixtiyoriy ravishda takrorlash asosida olingan issiqlikni to'laligicha bir qism issiqlikni o'ziga qabul qiluvchi jismning ishtirokisiz ishga aylantiruvchi issiqlik dvigateli tushuniladi.

4. Karno teoremasi

Qaytar Karno siklining termik f.i.k. ishchi jismning turiga bog'liq bo'lmay, u faqat issiqlik manbai va sovitgichlar haroratlariganing farqiga bog'liq. Chunki, termik f.i.k. ni aniqlaydigan ifodada T_1 va T_2 haroratlar bor xolos, ishchi jismning

fizik ko'rsatkichlari esa ifodada ishtirok etmaydi.

Teoremani shunday tushunish kerak; Karno siklini bajarishda ishchi jism bo'lib, ideal gaz bo'lsa ham, real gaz bo'lsa ham, suv bug'i bo'lsa ham, uning termik f.i.k. bir xil bo'lib qolaveradi (T_1 va T_2 larning teng qiymatlarida),

$$\overset{\text{ideal gaz}}{\eta_t} = \overset{\text{real gaz}}{\eta_t} = \overset{\text{suv bug'i}}{\eta_t} = \dots \quad (4.10)$$

chunki termik f.i.k. ni aniqlaydigan ifoda T_1 va T_2 haroratlar bor xolos, ishchi jismning fizik ko'rsatkichlari esa ifodada ishtirok etmaydi.

Buning uchun ikkita A va B qaytuvchan Karno siklida ishlovchi ideal mashinani ishlashini tahlil qilaylik. Ikkala mashina ham T_1 haroratga ega bo'lgan umumiy issiqlik manbaiga va T_2 haroratga ega bo'lgan umumiy issiqlikni qabul qiluvchiga ega. Ikkala mashina ham bir xil ℓ ish bajaradi. Ikkala sikl uchun ishchi jism ixtiyoriy ko'rinishda tanlangan bo'lib, A mashina uchun gaz va B mashina uchun bug' qabul qilingan.

A va B mashina uchun issiqlik manбайдan olingan issiqlik miqdori mos ravishda q_1 , q_1 , haroratni qabul qiluvchiga berilayotgan issiqlik miqdori esa mos ravishda q_2 , q_2 .

Karno sikli bilan ishlovchi ikkala mashina uchun termik f.i.k.ni yozamiz.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

A mashina uchun (gaz dvigateli)

$$\eta_t' = \frac{q_1' - q_2'}{q_1'}$$

B mashina uchun (bug' dvigateli)

Ikkala mashinaning ishlash sharoiti bir xil va teng ish bajargani uchun

$$q_1 - q_2 = q_1' - q_2'$$

Demak,

$$\eta_t = \eta_t'$$

4.1. Termodinamika II qonunining matematik ifodasi

Qaytuvchan Karno siklining termik f.i.k. quyidagicha aniqlangan edi:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad \text{yoki} \quad \eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Ikkala tenglikni o'ng tomonlarini yozamiz:

$$1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

yoki matematik o'zgartirib yozish mumkin:

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2} \quad (4.11)$$

Agar gazdan olinadigan issiqlik (q_2) ni manfiy, gazga beriladigan issiqlik (q_1) ni musbat deb hisoblasak, (4.11) tenglik quyidagicha o'zgaradi:

$$\frac{q_1}{T_1} = -\frac{q_2}{T_2} \quad \text{yoki} \quad \frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0$$

Umumiy xolda

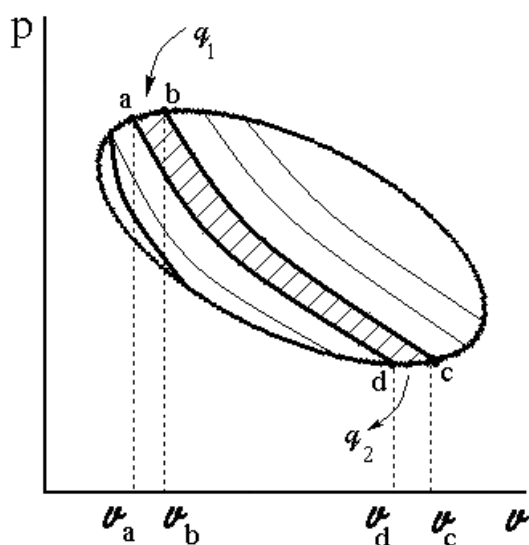
$$\sum \frac{q}{T} = 0 \quad (4.12)$$

bu yerda, $\frac{q}{T}$ - Klauzius ta'biri bilan aytganda - keltirilgan issiqlik.

Demak, qaytar Karno sikli uchun keltirilgan issiqliklarning yig'indisi nolga teng.

Yuqorida aytilgan qoida faqat qaytar Karno sikli uchun bo'libgina qolmasdan, balki hamma qaytuvchan sikllarga ham yaroqlidir. Buni isbotlash uchun ixtiyoriy qaytuvchan siklni ko'rib chiqamiz (4-rasm).

Siklni bir-biriga cheksiz yaqin ad ba bs ba h. k. adiabata chiziqlari orqali bo'lib chiqamiz. ab, sd ba x.k. chiziqlari uchun harorat o'zgarib ulgurmaydi va ular



izotermik jarayonlar qaytuvchan sikl hisoblanadi. Shunday qilib biz siklni cheksiz ko'p miqdordagi elementar Karno sikllariga bo'lib yubordik. Elementar Karno sikli a-b-s-d uchun yozamiz:

$$\sum \frac{dq}{T} = 0$$

4. rasm . Agar butun kontur bo'yicha integrallasak, qaytar sikl uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\oint \frac{dq}{T} = 0 \quad (4.13)$$

Demak, **ixtiyoriy qaytuvchan sikl uchun keltirilgan issiqliklarning integral yig'indisi nolga teng.** Yuqoridagi (4.9) ifoda Klauzius

(1854 y.) tomonidan taklif qilingan. $\frac{dq}{T} = dS$ ifoda gazning entropiyasi bo'lgani uchun qaytuvchan Karno sikli uchun entropiyani o'zgarishi quyidagicha bo'ladi.

$$\oint \frac{dq}{T} = 0 \quad \text{yoki} \quad \oint dS = 0 \quad (4.14)$$

Demak, Karno sikli bo'yicha qaytar jarayon uchun entropiyaning o'zgarishi doimo nolga teng.

Har qanday qaytmas sikl uchun esa $\eta_{\text{qaytmas}} < \eta_{\text{qaytuvchan}}$;

$$\sum \frac{dq}{T} < 0$$

Demak,

Agar bajarilayotgan siklni to'la kontur bo'yicha ifodalovchi funktsiya-ni to'la

differentialsini hisobga olsak quyidagiga ega bo'lamiz;

$$\oint \frac{dq}{T} < 0 \quad \text{yoki} \quad \oint \frac{dq}{T} \leq 0$$

Ularning yig'indisi esa

$$dS = \frac{dq + dq_{\text{ishk}}}{T} = \frac{dq}{T} + \frac{dq_{\text{ishk}}}{T} \quad (4.15)$$

bu yerda, q_{ishk} - ishqalanishda yo'qotilgan issiqlik bo'lib, gaz entropiyasining ortishiga olib keladi.

Demak, elementar qaytmas siklda keltirilgan issiqliklarning yig'indisi manfiy bo'ladi. Qaytmas sikl uchun esa quyidagicha bo'ladi:

$$dq + dq_{\text{ishk}} \quad (4.16)$$

(4.9) va (4.12) tengliklarni umumlashtiramiz, ya'ni

$$\oint \frac{dq}{T} \leq 0 \quad (4.17)$$

Bu ifoda termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasi hisoblanadi.

5. Qaytmas siklda entropiyaning o'zgarishi

Faraz qilaylik, ixtiyoriy qaytmas siklda gaz tashqaridan issiqlik olib ish bajaradi. Gazning molekullari harakat natijasida bir-biri bilan va idish devori bilan to'qnashadi. Demak, bir-biri orasidagi, devor va molekula orasidagi ishqalanish kuchini yengadi. Ishqalanishdan hosil bo'lgan issiqlikni albatta ishchi jism (gaz) oladi. U holda gazning olgan barcha issiqligi quyidagicha bo'ladi:

$$q + q_{\text{ishk}}$$

Ishchi jism entropiyasining elementar o'zgarishi dS har doim musbat, ya'ni $dS > 0$ bo'lgani uchun,

$$dS > \frac{dq}{T} \quad (4.18)$$

(4.18) tengsizlikka asosan aytish mumkinki, qaytmas sikllarda gazning (ishchi jismning) entropiyasi ortib boradi.

(4.18) ifoda qaytmas sikl uchun **termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasi hisoblanadi.**

Izolyatsiyalangan tizimda gaz entropiyasining o'zgarishi va sistema ish qobiliyatining yo'qolishi.

Agar izolyatsiyalangan termodinamika tizimda qaytar jarayonlar sodir bo'layotgan bo'lsa, u holda $dq=0$, $ds = \frac{dq}{T} = \frac{0}{T} = 0$ bo'ladi, ya'ni izolyatsiyalangan termodinamika tizimida faqat qaytar jarayonlar sodir bo'layotganda gazning

entropiyasi o'zgarmay qoladi.

Izolyatsiyalangan tizimda qaytmas jarayonlar bajarilgan holatni ko'rib chiqamiz. Har qanday qaytmas jarayon uchun (3.14) ifodaga asosan yozishimiz

mumkin: $\frac{dq_2}{T_2} > \frac{dq_1}{T_1}$ tizim uchun esa, $\int \frac{dq_2}{T_2} - \int \frac{dq_1}{T_1} > 0$ (4.19)

Tengsizlikdan ko'rinib turibdiki, issiqlik manbaidagi issiqlik energiyasining kamayishi hisobiga entropiyaning ozayishi, sovitgichdagi entropiyaning ortishidan katta. Agar izolyatsiyalangan tizimdagi qaytmas jarayonlarning boshlanishidagi entropiyani s_1 , jarayonlar oxiridagi entropiyani s_2 deb olsak, (4.15) ifodaga asosan yoza olamiz, $\Delta s = s_2 - s_1 > 0$ ya'ni $s_2 > s_1$.

Shunday qilib, izolyatsiyalangan tizimda bajariladigan har qanday qaytmas jarayonlar natijasida gazning entropiyasi ortadi.

Qaytuvchan va qaytmas jarayonli izolyatsiyalangan tizim uchun olingan xulosalarni umumlashtirib quyidagini yozish mumkin

$$\Delta s_{\text{tiz}} \geq 0 \quad (4.20)$$

Bu ifoda ham termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasi hisoblanadi.

Qaytmas jarayonlar natijasida entropiyaning ortishi sodir bo'lar ekan, demak, bu jarayonning yo'nalishi haqida fikr yuritishga imkon beradi. Entropiya orqali jarayonning qaytmaslik me'yori ham aytish mumkin (izolyatsiyalangan tizimda) chunki, qaytmaslik me'yori ortishi bilan entropiya ham ortadi.

Tizim entropiyasining ortib borishi issiqlik manbai hamda sovitgichlarning haroratlarigani tenglashib borishi va demak, tizim ish qobiliyatini yo'qolishi bilan bog'lik, chunki haroratlar farqi yo'q joyda issiqlik ishga aylanmaydi.

5.1.Klauzius nazariyasining xatoligi

Biz yashab turgan tabiatda sodir bo'ladigan jarayonlarning barchasi qaytmas jarayonlardir, demak, entropiyaning ortib borishi bilan tizimning bosimi, harorati va boshqa ko'rsatkichlari tenglashadi, ya'ni muvozanat holatiga keladi. Bunda tizimning energiyasi miqdor jihatidan o'zgarmagan holda, sifat jihatdan o'zgaradi. Shuning uchun tizim muvozanat holiga kelganda uning ish qobiliyati nolgacha kamayadi.

Tizimning bu xususiyatini birinchi bo'lib 1865 yilda R.Klauzius aniqladi (keyinroq U.Tomson va boshqalar) va asossiz ravishda bu xususiyatni butun olamga qo'lladi. Uning nazariyasiga ko'ra, butun olam izolyatsiyalangan tizim va unda qaytmas jarayonlar sodir bo'ladi. Bunday tizimning entropiyasi ortib boraveradi va o'zining maksimal miqdoriga yetadi. Bundan keyin entropiya orta olmaydi. Tizim ish qobiliyatini yo'qotadi, hech qanday harakat qolmaydi, Olam to'la tinchlik holatiga o'tadi, ya'ni issiqlikning o'limi sodir bo'ladi. Klauziusning issiqlikning o'limi nazariyasidagi xato shundan iboratki, XIX asrning ikkinchi yarmida ijod qilgan u va boshqa olimlar olamni noto'g'ri ravishda izolyatsiyalangan tizim deb qaradilar. Ma'lumki, izolyatsiyalangan tizim - ideal tizim bo'lib tabiatda deyarli uchramaydi.

Butun olam bo'lsa, fazo bo'yicha ham, vaqt bo'yicha ham cheksizdir. Olam

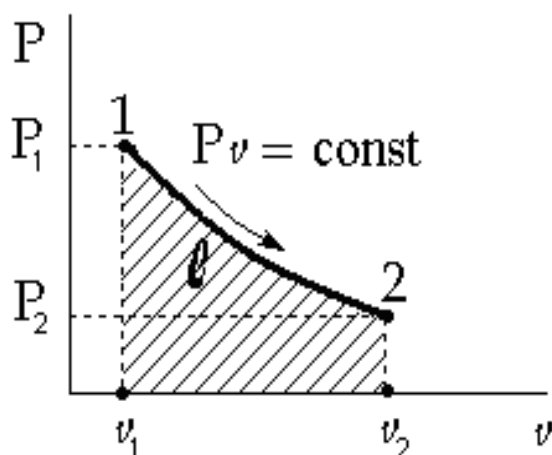
cheksiz ko'p miqdordagi holatlarga ega bo'lib, hatto cheksiz ko'p vaqt davomida ham ishlatib tugatib bo'lmaydi. Shuning uchun butun Olam uchun entropiyaning maksimum qiymati bo'lmaydi.

Keyinchalik issiqlikning o'limi nazariyasini o'z ilmiy ishlari bilan A.Boltsman, M.Plank, R.Xvolson, A.Smoluxovskiy va boshqa olimlar rad etdilar.

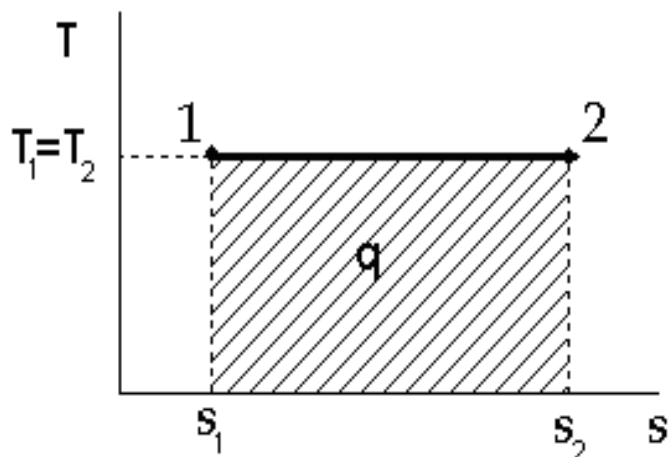
6. Termodinamika jarayonlarini va Karno siklini " p^g " va " Ts " koordinatalaridagi

1) Izotermik jarayon ($p^g = const$).

p^g koordinatalarida jarayon chizig'i teng yonli giperbola chizig'i bilan ifodalanadi. Bu jarayonda $T=const$ bo'lganligi uchun Ts da gorizontaal chiziq bo'ladi. Agar shakllar masshtab bilan chizilsa, " ℓ " yuza " q " yuzaga teng bo'lishi kerak, chunki bu jarayonda $\Delta U=0$ bo'lib, termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi $\ell=q$ bo'ladi.

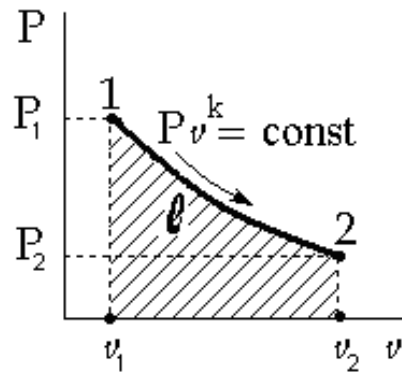


5- rasm.

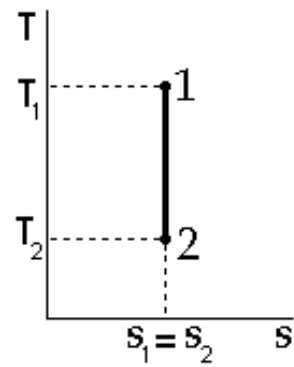


6-rasm.

2) Adiabatik jarayon. Jarayonning p^g koordinatalaridagi ifodasi oliy tartibli giperbola shaklida bo'ladi. Ts da esa, $dq=0$ bo'lganligi uchun $s = const$ bo'ladi. Shuning uchun adiabatik jarayonning yana bir nomi "izoentropiya" dir.



7-rasm.

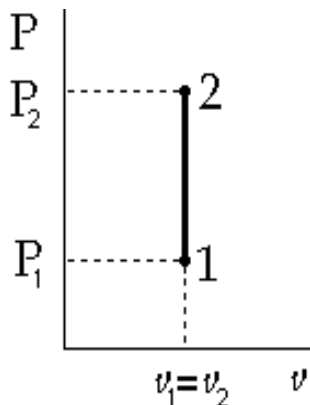


8.- rasm.

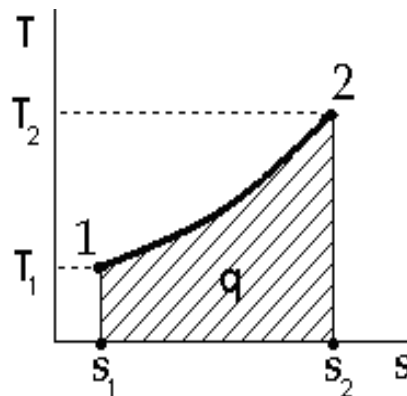
3) Izoxorik jarayon. Bu jarayonda , ya'ni bo'lganligi uchun tashqi ish bajarilmaydi, ya'ni $\ell=0$. Termodinamikaning birinchi qonunining matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$q = \Delta u$$

Gazga berilgan issiqlik miqdorining hammasi gaz ichki energiyasining o'ttirishga, ya'ni gazni qizdirishga sarflanadi.



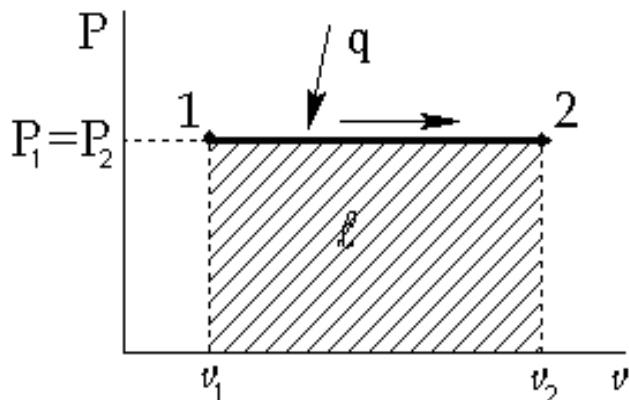
9-rasm.



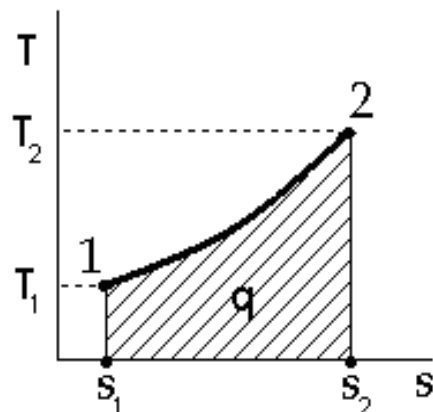
10- rasm.

4) Izobarik jarayon

Bu jarayon p^g koordinatalarida gorizontal (yotiq) to'g'ri chiziq bo'lib $p_1=p_2$ Ts da esa izoxoraga qaraganda yotiqroq egri chiziq bo'ladi, chunki izobarada gazga berilgan issiqlikning hammasi gaz haroratini o'ttirishga sarf bo'lmaydi. Tashki ish (ℓ) ham bajariladi.



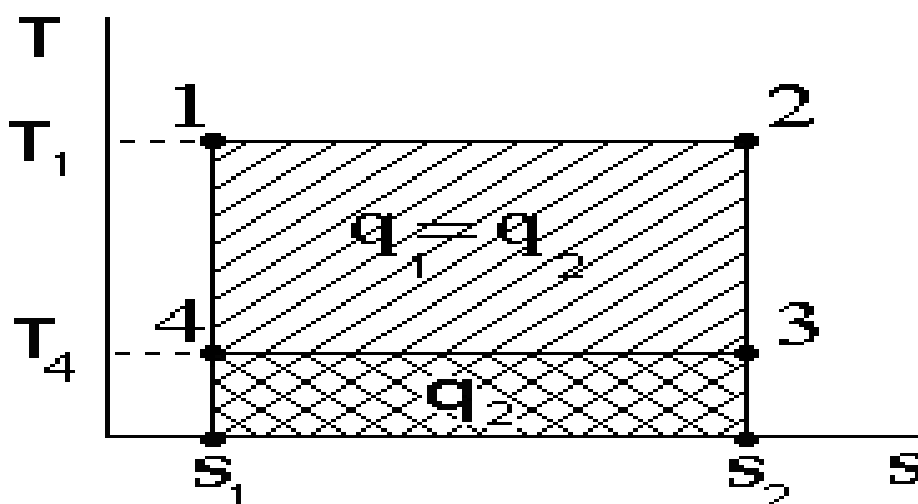
11- rasm.



12- rasm.

5) Karno sikli.

Sikl 4 ta jarayondan iborat bo'lib, 2 ta izoterma va 2 ta adiabatadan (izoentropiyadan) iborat bo'lganligi uchun Ts koordinatalarida to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'ladi. koordinatalaridagi ifodasi 3.13- rasmda berilgan.



13- rasm. Karno sikli Ts koordinatalarida.

Nazorat savollari va topshiriqlar

1. Termodinamika ikkinchi qonuni formulasini keltiring va ma'nosini ayting. Issiqlik hodisalari bilan boradigan makroskopik jarayonlari tahlili uchun nimaga termodinamika birinchi qonuniga qo'shimcha ikkinchi qonun kerak bo'ladi? 2. Siklning issiqlik FIK va sovitish koeffitsientining tahlilini bering. 3. Karno sikli uchun asosiy asosiy hollarni ifodalang. Karno sikli har qanday qaytar sikllar etalon ekanligini isbotlang. 4. Umumlashgan Karno sikli issiqlik FIK Karno sikli FIK teng ekanligini isbotlang. 5. Qaytar jarayonlar kechadigan izolyatsiyalangan tizim uchun $\oint \frac{dq}{T} = 0$ ekanligini ko'rsating, qaytmas uchun esa $\oint \frac{dq}{T} > 0$ ekanligini. Entropiya o'zgarishi bilan S ($\delta q/T$) orasidagi bog'lanishlarni izolyatsiyalangan

tizimdagi qaytmas jarayonlar uchun asoslang. 6. Ts koordinatalarda kengayish va siqish jarayonlarni tasvirlang. Ts koordinalarda Karno sikli, qaytmas adiabatik kengayish va siqish jarayonlar ko'rinishini keltiring. 7. Termodinamika ikkinchi qonunini teng salmoqli bo'lmagan tizimlar uchun ifodalang va Klauzius integrali ma'nosini ayting. 8. Entropiyaning fizik ma'nosini ifodalang.