

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**OLY TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA  
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL  
ETISH BOSH ILMIY - METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING  
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

**TEXNOLOGIK MASHINALAR VA JIHOZLAR  
yo'nalishi**

**“TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA”  
moduli bo'yicha**

**O'QUV-U SLUBIY MAJMU'A**

**Toshkent – 2016**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**OLY TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA  
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL  
ETISH BOSH ILMIY - METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI  
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING  
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

**“TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA”  
moduli bo'yicha**

**O' Q U V – U S L U B I Y M A J M U A**

**Tuzuvchi: katta o'qituvchi. T.B. Nurmatov**

**Toshkent - 2016**

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2016 yil 6 aprelidagi 137-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va dastur asosida tayyorlandi.

**Tuzuvchi:** TDTU, “Sovutish va kriogen texnikasi” kafedrasida  
katta o‘qituvchisi T.B.Nurmatov

**Taqrizchi:** Germaniya, Siemens AG, PhD Project  
manager Izabella Putz

O‘quv-uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining  
2016 yil \_\_\_\_\_dagi \_\_\_-sonli qarori bilan nashrga tavsiy qilingan.

## MUNDARIJA

I. Ishchi dastur .....	5
II. Modulni o'qitishda foydalaniladigan intrefaol ta'lim metodlari. ....	11
III. Nazariy materiallari.....	16
IV. Amaliy mashg'ulot materiallari.....	77
V. Keyslar banki .....	102
VI. Mustaqil ta'lim mavzulari .....	105
VII. Glossariy.....	106
VIII. Adabiyotlar ro'yihati.....	110

# I. ISHCHI DASTUR

## Kirish

Dastur O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarining rahbar va pedagog kadrlarini qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi PF-4732-son Farmonidagi ustuvor yo'nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo'lib, u zamonaviy talablar asosida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish hamda oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi. Dastur mazmuni oliy ta'limning normativ-huquqiy asoslari va qonunchilik normalari, ilg'or ta'lim texnologiyalari va pedagogik mahorat, ta'lim jarayonlarida axborot-kommunikasiya texnologiyalarini qo'llash, amaliy xorijiy til, tizimli tahlil va qaror qabul qilish asoslari, maxsus fanlar negizida ilmiy va amaliy tadqiqotlar, texnologik taraqqiyot va o'quv jarayonini tashkil etishning zamonaviy uslublari bo'yicha so'nggi yutuqlar, pedagogning kasbiy kompetentligi va kreativligi, global Internet tarmog'i, multimedia tizimlari va masofadan o'qitish usullarini o'zlashtirish bo'yicha yangi bilim, ko'nikma va malakalarini shakllantirishni nazarda tutadi.

Ushbu dasturda Texnikaviy termodinamikada asosiy termodinamik parametrlari, turli termodinamik tizimlari, o'zgarmas bosim va o'zgarmas hajm dagi issiqlik sig'img'larini aniqlash va ulardan turli masalalarni yechish, izotermik, izohorik, izobarik, adiabatik va pollitropik jarayonlar, termodinamikaning I va II-qonunlari. Entropiya va eksbergiya tushunchlari, ularning turli tizimlarni analiz qilishda qo'llanilishi. Issiqlik dvigatellar, energetik mashinalar, sovutish va isitish tizimlardagi termodinamik muammolari bayon etilgan.

## Modulning maqsadi va vazifasi

Texnikaviy termodinamika **modulining maqsad va vazifalari:**

-texnologik mashinalarda kechadigan jarayonlar, nazariy va haqiqiy sikllarni o'rganish, hamda termodinamik tahlil qilish va texnologik mashinalardagi jarayonlarni o'rganish, ularning mavjud turlarini mukammallashtirish va yangi mukammalroqlarini yaratishdir.

**Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar**

Texnikaviy termodinamika modulni o'zlashtirish orqali quyidagi bilimq ko'nikma va malakaga ega bo'ladi:

### ***Tinglovchi:***

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish sikllarining termodinamik asoslarini;
- mashina va jihozlar ishining effektiv ko'rsatkichlarini;

- jihozlardagi energetik yo'qotishlar va ularni kamaytirish usullarini;
- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari ko'rsatkichlarini yaxshilash usullaribo'yicha **bilimlarga** ega bo'lishi lozim.

***Tinglovchi:***

- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari issiqlik va gidrodinamik hisobini bajarish;
- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalarini tahlil qilish;
- neft va gazni, meva-sabzavotlarni qayta ishlash, kimyo sanoati, past harorat olish vositalari harakteristikalarini olish **ko'nikma va malakalariga** ega bo'lishi zarur.

***Tinglovchi:***

- turli texnologik jarayonlarning termodinamika qonuniyatlarga asoslab tahlil qilish ;
- texnologik mashinalar va jihozlarda bajarilgan ish va unga sarflangan energetik quvvatlarini taqqoslash;
- texnologik mashinalar va jihozlarnin iqtisodiy samaradorligini oshirih **kompetensiyalariga** ega bo'lishi lozim .

**Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar**

"Texnikaviy termodinamika" moduli ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi. Kursni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikasiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentasion va elektron-didaktik texnologiyalardan;
- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

**Modulning o'quv rejadagi boshqa fanlar bilan bog'liqligi va uzviyligi**

Mazkur modul "Texnologik mashinalar va jihozlar" kursidagi "Eritib payvandlash texnologiyasi va jixozlari" va "Mashinasozlik texnologiyasi" fanlaribilan uzviy bog'liq

## Modulning oily ta'limdagi o'rni

Respublikamizdagi ijtimoiy-iqtisodiy islohotlar natijalari va hududiy muammolarining texnologik mashinalar termodinamikasiga ta'siri masalalarini qamraydi.

### Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat					
		Xammasi	Auditoriya o'quv yuklamasi				Mustaqil ta'lim
			jami	jumladan			
				Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot	
1.	Asosiy termodinamik o'lchamlar va tushunchalar	2	2	2			
2.	Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash	4	4	2	2		
3.	Asosiy termodinamik jarayonlar	2	2	2			
4.	Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni	4	4	2	2		
5.	Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari.	4	4	2	2		
6.	Entorpiya. Eksergiya	4	2	2			2
7.	Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari.	4	4	2	2		
	<b>Jami:</b>	24	22	14	8		2

## NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

### **1-mavzu: Asosiy termodinamik o'lchamlar va tushunchalar**

Asosiy holat parametrlari. Ideal gaz - asosiy tushunchalar. Ideal gaz qonunlari. Toza moddalar va ularning aralashmalari. Gaz aralashmasidagi xajmiy ulushlar. Dalton qonuni.

### **2-mavzu: Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash**

Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi. Solishtirma issiqlik sig'imi.

### **3-mavzu: Asosiy termodinamik jarayonlar**

Termodinamik jarayonlar xaqida umumiy tushuncha. Izoxor, izobar, izotermik, adiabat va politron jarayonlar. Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

### **4-mavzu: Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni**

Ichki energiya. Joul qonuni. PV-diogramma. Issiqlik. hajm va bosim o'zgarishida bajarilgan ish. Entalpiya. Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni

### **5-mavzu: Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari**

Aylanma jarayonlar. Issiqlik dvigateli va sovitish mashinalarining Karno sikli. Izolyasiyalangan sistemaning entropiyasi va ish bajara olish qobiliyati.

### **6-mavzu: Entorpiya. Ekssergiya.**

O'zgarmas jarayonlarda entropiyasini aniqlash, texnologik mashinalardagi jarayonlar entropiyasi, ekssergiya, sanoat va tabiyat uyg'unlashuvida ekssergiyaning ahamiyati.

### **7-mavzu: Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari**

Kompression mashinalarning energiyaviy va xajmiy yo'qotuvlari. Dressellash. Joul-Tomson effekti. Xaqiqiy gazning adiabatik kengayishi. Bug'-kuch qurilmalarining termodinamik sikllari. Bug'-kuch qurilmalari. Karno sikli. Renkin sikli. Buq- kuch qurilmalarning murakkablashgan sikllari. Bug'-gaz sikli. Sovitish qurilmalarining sikllari. Sovitish qurilmalari..



## **AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI**

### **1-amaliy mashg'ulot:**

#### **Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim larda issiqlik sig'imini aniqlash.**

Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi. Mayer formulasi. Aralashmalarining issiqlik sig'imi. Solishtirma issiqlik sig'imi.

### **2- amaliy mashg'ulot:**

#### **Gazlar aralashmalarida termodinamikaning birinchi qonuni**

Umumiy tusunchalar; O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun; Entalpiya.

### **3- amaliy mashg'ulot:**

#### **Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Aylanma jarayonlar. Sovutish mashinalar va issiqlik nasoslari.**

Umumiy tusunchalar; Termodinamikaning ikkinchi qonuni; Aylanma jarayonlar; Sovutish mashinalar; Issiqlik nasoslari.

### **4- amaliy mashg'ulot:**

#### **Gazli ishchi jismlar bilan ishlaydigan issiqlik dvigatellarning sikllari. Gazlarni siqish. Sovutish sikllari.**

Umumiy tusunchalar; Issiqlik dvigatellarning ishchi jismlar; Issiqlik dvigatellarning tasnifi; Gazlarni siqish mashinalari; Sovutish qurilmalarining sikllari.

### **Ta'limni tashkil etish shakllari**

Ta'limni tashkil etish shakllari aniq o'quv material mazmuni ustida ishlayotganda o'qituvchini tinglovchilar bilan o'zaro harakatini tartiblashtirishni, yo'lga qo'yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o'qitish jarayonida quyidagi ta'limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot;
- mustaqil ta'lim.

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

**Jamoaviy ishlash** – Bunda o‘qituvchi guruhlarining bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o‘quv maqsadiga erishish uchun o‘zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

**Guruhlarda ishlash** – bu o‘quv topshiriq‘ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o‘quv jarayonida kichik guruxlarda ishlashda (2 tadan – 8 tagacha ishtirokchi) faol rol o‘ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta’limni tashkil etish shaklidir. O‘qitish metodiga ko‘ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo‘lish mumkin. *Bir turdagi guruhli ish* o‘quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi. *Tabaqalashgan guruhli ish* guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

**Yakka tartibdagi shaklda** - har bir ta’lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

### BAHOLASH MEZONI

<b>№</b>	<b>Baholash mezon</b>	<b>ball</b>	<b>Maksimal ball</b>
1	Keys	1.5 ball	2.5
2	Mustaqil ish	1.0. ball	

## II. MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA'LIM METODLARI

### “Xulosalash” (Rezyume, Veer) metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, kəptarmoqli, mumkin qadar, muammoli xarakteridagi

Mavzularni o'rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo'yicha o'rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o'quvchilarning mustaqil g'oyalari, fikrlarini yozma va og'zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. "Xulosalash" metodidan ma'ruza mashg'ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg'ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

### Metodni amalga oshirish tartibi



trener-o'qituvchi ishtirokchilarni 5-6 kishidan iborat kichik guruhlariga ajratadi;



trening maqsadi, shartlari va tartibi bilan ishtirokchilarni tanishtirgach, har bir guruhga umumiy muammoni tahlil qilinishi zarur bo'lgan qismlari tushirilgan tarqatma materiallarni tarqatadi;



har bir guruh o'ziga berilgan muammoni atroflicha tahlil qilib, o'z mulohazalarini tavsiya etilayotgan sxema bo'yicha tarqatmaga yozma bayon qiladi;



navbatdagi bosqichda barcha guruhlar o'z taqdimotlarini o'tkazadilar. Shundan so'ng, trener tomonidan tahlillar umumlashtiriladi, zaruriy axborotlar bilan to'ldiriladi va mavzu yakunlanadi.

## Mavzuga qullanilishi:

Termodinamik tizimlar					
Ochiq		yopiq		Izolyatsiyalangan	
afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi	afzalligi	kamchiligi
<b>Xulosa:</b>					

### “Aqliy xujum” metodi

Aqliy hujum, g'oyalarni ishlab chiqish usuli ishtirokchilar birlashgan holda qiyin muammoni yechishga harakat qiladilar uni yechish uchun shaxsiy g'oyalarni ilgari suradilar.

Aqliy hujum, oldindan ularning tanqidisiz, mavzuga nisbatan erkin fikrlarni ishlab chiqishdagi harakatidir Aqliy xujum usuli serqirra qo'llanish xususiyatiga ega "Aqliy hujum"ning vazifasi kichik guruhlar yordamida yangi-yangi g'oyalarni yaratishdir (kichik guruhning birgalikdagi kuchi - uning alohida a'zolarining kuchlari yig'indisidan ko'p bo'ladi). Aqliy hujumning muammoni hal qilayotgan kishilarning ko'prok aqlbovar qilmaydigan va hatto fantastik g'oyalarni yaratishga undaydi. G'oyalar qancha ko'p bo'lsa, ularning hech bo'lmaganda bittasi ayni muddao bo'lishi mumkin. Bu aqliy hujum negizidagi tamoyildir. Aqliy hujum to'xtatilgandan so'ng barcha aytilgan g'oyalar muhokama qilinib, eng maqbuli tanlanadi. Yakka tartibda yoki juftlikda, amaliy mashg'ulotlarda esa 4-7 kishidan iborat kichik guruhlarda shuningdek, guruh bo'yicha ham o'tkazish mumkin. Aqliy hujum mashg'ulotlarda o'quvchi-talabalar faolligini oshirishga, charchoqni yo'qotishga, g'oyani izlashga sharoit yaratadi

### Samarali aqliy hujum uchun bosqichlar:

1. Ishtirokchilarni majburiy bo'lmagan tarzda o'tkazing.
2. Fikrlarni bayon qilish uchun qog'oz va doskani tayyorlang.
3. Aqliy hujumning ishtirokchilariga muammoni etkazish kerak.
4. Ish tartibini aniqlang:
  - a) fikrlar tashlanganda hech qanday baholashlar.
  - b) doimiy fikrlash ozodligi.
  - v) qancha aqli fikr ko'p bo'lsa, shuncha yaxshi.
  - g) "ushlang", "tuting", boshqalarning fikrlarini rivojlantiring.
5. Fikrlar to'g'risida surishtiring va tezda ularni kelishi bilan yozing.
6. qog'oz varag'i to'ldirilganda, uni muhokama uchun qo'ying.
7. O'z g'oyalaringizni qo'shib yangi g'oyani rag'batlantiring.
8. Boshqalarning fikrini tanqid qilish yoki ustidan kulish kerak emas, kulgiga yo'l quymang.

9. O`zingizning fikrlaringizni boshqa tomonga tarqab ketmasidan bir joyga jamlang.

Aqliy hujumning asosiy ko`rinishlaridan biri juftlikdagi aqliy hujumdur. Agar ish daliliy axborotga bog`liq bo`lsa, unda o`quvchi-talabalarga dalillar ro`yhatini tuzishga taklif beriladi. Ikki daqiqadan so`ng individual ishdan keyin ular bir-birlari bilan muloqotda bo`lib muhokama qiladilar va o`zlarining ro`yxatlarini birlashtiradilar.

### **Aqliy hujumning mavzuda qo`llanilishi.**

“Asosiy termodinamik o`lchamlar va tushunchalar” mavzusini o`qitishda aqliy hujum metodining qo`llanilishi: Mavzuni o`tishdan avval talabalarining birlamchi bilimlarini aniqlash maqsadida qo`yidagi savol beriladi: Asosiy holat parametrlari?. Ideal gaz?. Ideal gaz qonunlari? Toza moddalar va ularning aralashmalari? Gaz aralashmasidagi xajmiy ulushlar? Dalton qonuni?.

Talabalar berilgan vaqt ichida berilgan savolga og`zaki javob beradilar ta`lim oluvchi berilgan javoblarni eshtigandan keyin to`g`ri javobni berib yangi mavzuni tushuntirib beradi.

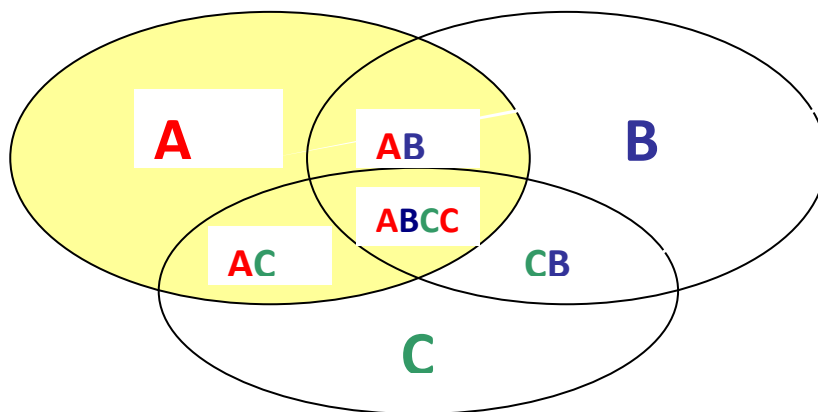
### **«Venn diagramma» metodi**

**«Venn diagramma» metodi-** o`rganilayotgan ob`ektlarning 2 yoki 3 jihatlarni hamda umumiy tomonlarini solishtirish yoki taqqoslash yoki qarama-qarshi qo`yish uchun qo`llaniladi. Tizimli fikrlash, solishtirish, taqqoslash, tahlil qilish ko`nikmalarini rivojlantiradi.

Venn diagrammani tuzish qoidasi bilan tanishadilar. Alohida/kichik guruhlarda Venn diagrammani tuzadilar va kesishmaydigan joylarni to`ldiradilar.

“Venn diagramma” metodi tinglovchilarda o`rganilayotgan ob`ektlarning o`ziga xos va o`xshash jihatlarni tahlil qilish malakalarini rivojlantirishga yordam beradi.

“Venn diagramma” metodidan nazariy mashg`ulotlarda, amaliy, seminar hamda laboratoriya mashg`ulotlarida keng foydalanish imkoniyati majud. Ushbu metoddan mashg`ulotda foydalanilganda mavzuni tushuntirish ason bo`ladi hamda ta`lim oluvchilarning mavzuga bo`lgan qiziqishi yuqori darajada bo`ladi va mavzu tushuntirilayotganda faol ishtirokchiga aylanadi.



## Mavzuga qullanilishi:

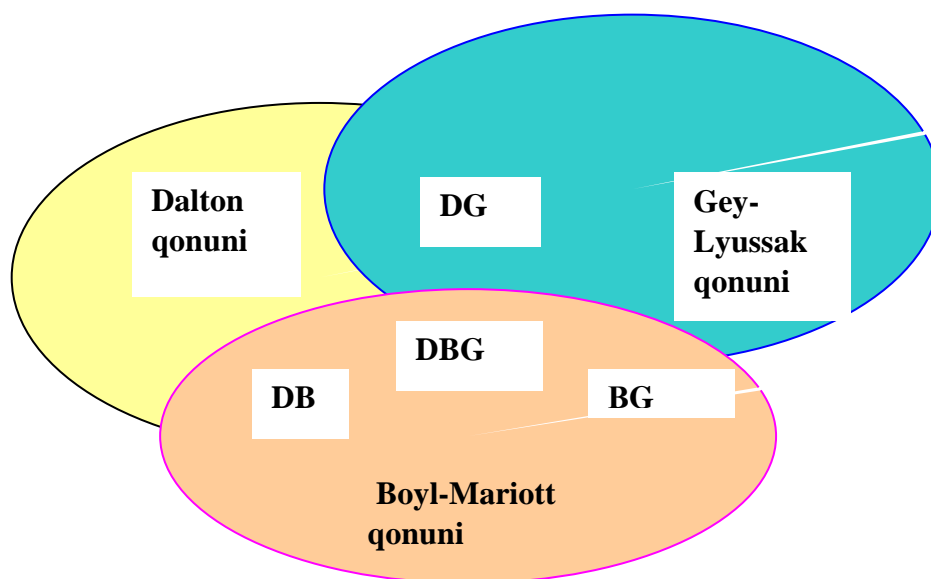
### Kichik guruxlarni shaklantirish va vazifalar berish:

*Dalton qonunning uziga xos tomonlarini va Gey-Lyussak qonuni bilan Boyl-Mariott qonunining umumiy tomonlarini topish.*

*Gey-Lyussak qonuni uziga xos tomonlarini va Dalton qonunning bilan Boyl-Ma Dalton qonunning uziga xos tomonlarini topish.*

*Boyl-Mariott qonunining uziga xos tomonlarini va Gey-Lyussak bilan Dalton qonunning umumiy tomonlarini topish*

*Oxirida Dalton, Gey-Lyussak va Boyl-Mariott qonunining umumiy tomonlarini toppish kerak.*



## B-B-B metodi

**B/B/B metodi** – Bilaman/ Bilishni hohlayman/ Bilib oldim.

1. Jadvalni tuzish qoidasi bilan tanishadilar. Alohida kichik guruhlarda jadvalni rasmiylashtiradilar.
2. “Mavzu bo`yicha nimalarni bilasiz” va “Nimani bilishni xohlaysiz” degan savollarga javob beradilar (oldindagi ish uchun yo`naltiruvchi asos yaratiladi). Jadvalning 1 va 2 bo`limlarini to`ldiradilar.

<b>B-B-B JADVALI</b>			
<b>Savollar</b>	<b>Bilaman</b>	<b>Bilishni xohlayman</b>	<b>Bilib oldim</b>
Ideal gaz qonunlari			
Ideal gaz			
Toza moddalar			
Gaz ralashmasidagi xajmiy ulushlar			
Dalton qonuni			

Talabalarga mavzu buyicha qo`yidagi savollar beriladi va talabalar savollarga qarab biladiganini birinchi chizmaga bilishni hojlaydiganini ikkinchi chizmaga va mavzu yakunida bilib olgan ma'lumotlarni uchunchi chizmaga yozib chiqadi.

### **«BAHS-MUNOZARA» metodi**

**Bahs-munozara**-o`quvchilarni ikki guruhga bo`lgan holda, biror mavzu bo`yicha o`zaro bahs, fikr almashinuv tarzida o`tkaziladigan o`qitish metodidir.

Har qanday mavzu va muammolar mavjud bilimlar va tajribalar asosida muhokama qilinishi nazarda tutilgan holda ushbu metod qo`llaniladi. Bahs-munozarani boshqarib borish vazifasini o`quvchilarning biriga topshirish mumkin. Bahs-munozarani erkin holatda olib borish va har bir o`quvchini munozaraga jalb etishga harakat qilish lozim. Ushbu metod olib borilayotganda o`quvchilar orasida paydo bo`ladigan nizolarni darhol bartaraf etishga harakat qilish kerak.

### **Bahs-munozara metodini o`tkazish bosqichlari:**

1. O`qituvchi munozara mavzusini tanlaydi va qatnashuvchilarni taklif etadi.
2. O`qituvchi «Aqliy hujum» metodidan foydalanib, o`quvchilarga mavzu bo`yicha savol beradi.
3. O`qituvchi bildirilgan g`oya va fikrlarni yozib borish uchun kotib tayinlaydi. Bu bosqichda o`qituvchi guruh qatnashchilariga o`z fikrini bildirishga sharoit yaratib beradi.
4. qatnashchilar bildirilgan fikr va g`oyalarni guruhlashtirib, ularni tahlil qilishga o`tishadi.

Mavzuga qo`llanilishi: Talabalarni ikki guruhga ajratib ,mavzu yuzasidan savollar beriladi. Talabalar berilgan savollarga guruh a`zolari bilan kelishgan holda bahs munozarani amalga oshiradi. O`qituvchi bahs munozaraning borishini nazorat qiladi.

### III. NAZARIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

#### 1-mavzu: Asosiy tushunchalar, qonunlar va tenglamalar

##### Reja:

1. Kirish
2. Termodinamik o'lchamlar
3. Termodinamik sistemalar
4. Ideal va real gazlar.

**Tayanch so'z va iboralar:** termodinamika, bosim, hajim, harorat, ochiq tizim, yopiq tizim, izolyatsiyalangan tizim, ideal gaz, real gaz.

#### 1.1. Kirish

Termodinamika – energiyaning aylanish (o'zgarish) qonuniyatlari haqidagi fandır. Termodinamikaga XIX asrda asos solingan edi. Bu davrda issiqlik dvigatellarining taraqqiyoti tufayli issiqlikning ishga aylanish qonuniyatlarini o'rganish zaruriyati tug'ildi. Lekin shundan keyin termodinamika metodi issiqlik texnikasi chegarasidan o'tib, fizika, kimyo va boshqa fanlarning ko'pchilik sohalarida keng ko'lamda qo'llanila boshladi.

Termodinamika turli fizikaviy va kimyoviy jarayonlarning u yoki bu sistemalarda qaysi yo'nalishda sodir bo'lishini aniqlashga imkon beradi. Termodinamika moddaning turli xossalari orasidagi chuqur bog'lanishlarni ochib beradiki, biz buni keyinchalik ko'ramiz; aslini olganda bu narsa moddaning bironta xossasi, masalan, issiqlik sig'imi haqidagi ma'lumotlarga ega bo'lingan holda uning issiqlik sig'imini hisoblab topishga imkon beradi.

Termodinamika fizika va ximiyaning ko'pchilik sohalaridan farqli o'laroq, moddalar tuzilishining biror modellari bilan ish ko'rmaydi va, umuman olganda, moddaning mikrostrukturasi to'g'risidagi tasavvur bilan bevosita bog'lanmagan<sup>1</sup>.

Termodinamikaning kuchi ham, zaifligi ham ana shundadir. Termodinamika o'zi modda xossalari haqida bironta ma'lumot bera olmaydi. Lekin moddalar sistemalar xossalari haqidagi ba'zi bir ma'lumotlar ma'lum bo'lsa, u holda termodinamikaviy metodlar qiziqarli va juda muhim xulosalar chiqarishga imkon beradi.

Termodinamikaning tuzilish printsipti juda sodda. Termodinamika asosiga tajriba yo'li bilan aniqlangan ikkita asosiy qonun (yoki ayrim hollarda boshlanishi ham deyiladi) qo'yilgan. Termodinamikaning birinchi qonuni energiya aylanish jarayonlarining miqdoriy tomonini xarakterlaydi, ikkinchi qonun esa fizikaviy sistemalarda sodir bo'ladigan jarayonlarning sifatiiy tomonini (yo'nalganligini) belgilaydi. Faqat shu ikkita qonundan foydalanib, qat'iy deduktsiya metodi yordamida termodinamikaning barcha asosiy xulosalarini chiqarish mumkin.

Termodinamikaning asosidagi qonunlarni tadbiiq qilish mumkin bo'lgan barcha sistemalar uchun termodinamikani qo'llash mumkin. Termodinamikaning birinchi

---

<sup>1</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (2)



qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunining miqdoriy ifodasidan iboratligi va umumiy xarakterga ega ekanligini quyida ko'ramiz. Ikkinchi qonunga kelsak, u bizning bevosita kuzatishimiz mumkin bo'lgan chegarada mikrosistemalarni kuzatishda to'plangan tajribaga asoslanadi.

## 1.2 Termodinamik o'lchamlar

Moddaning *solishtirma hajmi* moddaning zichlik birligi egallagan hajmdan iborat. Solishtirma hajm  $\nu$  jism massasi  $G$  va uning hajmi  $V$  bilan quyidagi nisbat bilan bog'langan:

$$\nu = \frac{V}{G} \quad (1-1)$$

Moddaning solishtirma hajmi, odatda,  $\text{m}^3/\text{kg}$  yoki  $\text{sm}^3/\text{g}$  hisobida o'lchanadi.

Zichlik  $\rho = \frac{G}{V} = \frac{1}{\nu}$  (1-2)

odatda  $\text{m}^3/\text{kg}$  yoki  $\text{sm}^3/\text{g}$  hisobida o'lchanadi.



Biz ba`zan moddaning solishtirma og'irligi tushunchasini ishlatamiz. Solishtirma og'irlik ( $\gamma$ ) deganda moddaning uning hajm birligidagi og'irligi tushuniladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq moddaning zichligi va solishtirma og'irligi o'zaro quyidagi nisbat bilan bog'langan

$$\gamma = \rho g = \frac{g}{\nu} \quad (1-3)$$

bu yerda  $g$  – erkin tushish tezlanishi.<sup>2</sup>

Sistemaga tashqi ta`sir bo'lmaganida agar ikkita intensiv parametr berilgan bo'lsa, toza moddaning holati bir qiymat bilan aniqlangan bo'ladi. Har qanday boshqa parametr berilgan ikkita parametrning bir qiymatli funksiyasi bo'ladi. Agar masalan, suv bug'i  $250^\circ\text{S}$  temperaturada va  $98 \text{ kPa}$  ( $10\text{kgk}/\text{sm}^2$ ) bosimda tekshirilayotgan bo'lsa, bunday bug'ning solishtirma hajmi faqat bitta qiymatga ( $\nu = 0,2375 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) ega bo'lishi mumkin. Shunday qilib, berilgan moddaning solishtirma hajmi bosim  $r$  va temperatura  $T$  kattaliklari orqali bir qiymat bilan aniqlanadi, ya`ni

$$\nu = f(p, T) \quad (1-4)$$

Barcha holat parametrlari modda holatini aniqlash nuqtai nazaridan «teng huquqli» bo'lganligidan modda temperaturasi quyidagi nisbat yordamida

$$T = \varphi(p, \nu) \quad (1-5)$$

bosim esa

$$p = \psi(T, \nu) \quad (1-6)$$

TABLE 1-3	
Specific gravities of some substances at 0°C	
Substance	SG
Water	1.0
Blood	1.05
Seawater	1.025
Gasoline	0.7
Ethyl alcohol	0.79
Mercury	13.6
Wood	0.3-0.9
Gold	19.2
Bones	1.7-2.0
Ice	0.92
Air (at 1 atm)	0.0013

<sup>2</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH (13-14)

nisbat yordamida bir qiymat bilan aniqlanadi.  
Bosim o'lchm birliklar orasidagi bog'liqliklar:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa}$$

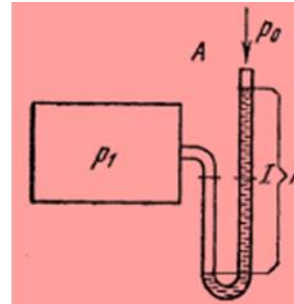
$$= 0.9807 \text{ bar}$$

$$= 0.9679 \text{ atm}$$

suyuqlik ustuni orqali bosim farqini aniqlash

$$p = \frac{F_n}{A}, \quad \frac{H}{m} = \rho g,$$

$$h = \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \right)$$

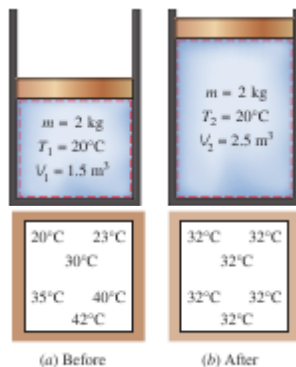


Shunday qilib, sof moddaning har qanday uchta holat parametri (masalan,  $p, v$  va  $T$ ) o'zaro bir qiymat bilan bog'langan. Bu moddalarni o'zaro bog'laydigan tenglama ayni moddaning holat tenglamasi deb ataladi. (1-4) va (1-6) nisbatlarni holat tenglamasi ko'rinishida ifodalash mumkin

$$F(p, v, T) = 0 \quad (1-7)$$

Jarayonning egri chiziqlari tekis holat diagrammalari tarzida ham tasvirlanishi mumkinligi tushunarlidir. 1-rasm, b, v, g larda  $p, v$  --,  $p, T$  - va  $v, T$  - diagrammalar tasvirlangan bo'lib, 1-rasm, a dagi holat sirtidan jarayon egri chizig'i 1-2 proyeksiyalangan.

Butun jarayon davomida sistemaning temperaturasi o'zgarmasdanqoladigan muvozanatdagi jarayon *izotermik* jarayon deb ataladi. Toza suvning ochiq idishda qaynash jarayoni izotermik jarayonga misol bo'la oladi: to idishdagi suv qaynab tugamaguncha suv temperaturasi amalda o'zgarmasdan qoladi (agar qaynash jarayonida atmosfera bosimi o'zgarmasa).



O'zgarmas bosimda sodir bo'ladigan muvozanatdagi jarayon *izobarik* jarayon deb ataladi. Ochiq idishdagi suvning isitilishini izobarik jarayonga misol qilib keltirish mumkin; bu holda suvning bosimi o'zgarmaydi va atmosfera bosimiga teng bo'lib qolaveradi, holbuki, suvning temperaturasi ortadi va uning solishtirma og'irligi o'zgaradi.

O'zgarmas hajmda sodir bo'ladigan muvozanatlashgan jarayon *izoxorik* jarayon deb ataladi. Suvning germetik yopiq idishda isitilishi izoxorik jarayonga misol bo'la oladi. Isitish jarayonida idishning hajmi amalda o'zgarmasdan qoladi (agar isitish natijasida idishning bir oz kengayishi

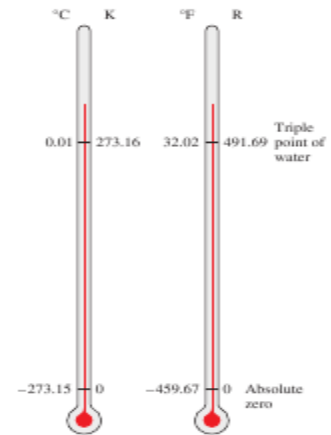
<sup>3</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (14)

hisobga olinmasa) holbuki, idishdagi suvning temperaturasi ortadi va suvning bosimi ko'zarila boshlaydi.

Termodinamikaviy sistemaga atrofdagi muhitdan issiqlik keltirilmaydigan (va atrofdagi muhitga issiqlik berilmaydigan) muvozanatdagi jarayon adibatik jarayon deb ataladi; bu jarayonda sistema bilan atrofdagi muhit orasidagi issiqlik almashinuvi bo'lmaydi. Sistema izolyatsiyasining issiqlik o'tkazuvchanligi qanchalik oz bo'lsa, jarayon adiabatik jarayonga shunchalik ko'p yaqinlashadi.

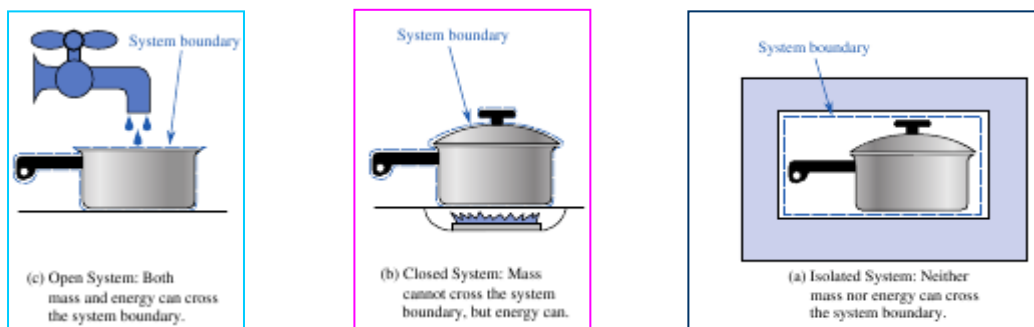
$$T = 273,15 + t, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (1-8)$$

$T$  kattalik temperatura<sup>4</sup> o'lchamligiga ega bo'lib, uni yuz gradusli TSelsiy shkalasidan farq qiladigan (shkalaning hisob yuritiladigan noli pastda  $-273,15^\circ\text{S}$  temperatura yonida joylashgan) shkala bo'yicha hisoblab olingan temperaturadek qarash lozim. Bu shkala bo'yicha hisoblab olingan temperatura *absolyut* temperatura deb ataladi va  $^\circ\text{K}$  (Kelvin gradusi) harfi bilan belgilanadi. Absolyut temperatura tushunchasi chuqur fizikaviy ma'noga ega ekanligini va termodinamikaning fundamental tushunchalaridan biri ekanligini keyinchalik ko'ramiz.



### 1.3 Termodinamik sistemalar

Termodinamik jarayon sodir bo'lishida bir nechta ishchi jism ishtirok etsa ular termodinamik sistemani taskil etadi. Termodinamik sistemalar ochiq, yopiq, adiabatik va izolatsiyalangan sistemalariga bo'linadi.



### 1.4 Ideal va real gazlar.

Ideal gazning holat tenglamasini keltirib chiqarish uchun Boyl Moriott va Gey-Lyussak qonunlaridan foydalanamiz.

Massasi 1 kg ga teng bo'lgan gaz oldin izotermik kengayib, so'ng izobarik kengayishi

$T = \text{const}$  bo'lganda

<sup>4</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (20-21)

$$P_1 V_1 = P_2 V^1 \text{ yoki } V^1 = \frac{V_1 P_1}{P_2} \quad (1.9)$$

Bundan, gazning absolyut bosimi bilan hajmi ko'paytmasining absolyut temperaturaga nisbati o'zgarmaydi degan xulosa kelib chiqadi. 1 kg gaz uchun bu o'zgarish kattalik gaz doimiysi deyiladi va R harfi bilan belgilanadi

$$\frac{PV}{T} = R \text{ yoki } PV = RT \quad (1.10)$$

Bu tenglama ideal gazning holat tenglamasi yoki Klapeyron-Mendeleev tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$\frac{PV}{T} = \frac{\mathcal{K}}{\kappa z, \text{grad}} \quad (1.11)$$

Gaz doimiysi R ning fizik ma'nosini 1 kg gazning 10 sitilganda bajargan ishi sifatida qarash mumkin. M kg gaz uchun klapeyron tenglamasi quyidagicha bo'ladi  $P V = MRT$  (1.9) 1 mol ideal gaz uchun holati tenglamasi yoki Klapeyron-Mendeleev tenglamasi quyidagicha bo'ladi<sup>5</sup>

$$P V = MRT \quad (1.12)$$

Bu tenglamaga  $MR = R_0$  ni qo'yib  $R_0$  ni aniqlasak universal gaz doimiysini hosil qilamiz

$$R_0 = \frac{PV_M}{T} \quad \begin{array}{l} \text{normal} \quad \text{sharoitda} \\ P = 1,01315 \cdot 10^5 \text{ n/m} \\ V_m = 22,4 \text{ m}^3/\text{mol} \\ T = 273 \text{ K bo'lganda} \end{array} \quad (1.13)$$

bo'ladi.

Bundan ayrim olingan gazning doimiysini aniklashimiz mumkin

$$R = \frac{8314}{\mu} \quad (1.14)$$

yoki uglerod II oksidi (SO) uchun

$$R_{CO} = \frac{8314}{28} = 296,5 \frac{\text{m}}{\kappa z, \text{grad}}$$

$$R_u = \begin{cases} 8.31447 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K} \\ 8.31447 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{K} \\ 0.0831447 \text{ bar}\cdot\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{K} \\ 1.98588 \text{ Btu/lbmol}\cdot\text{R} \\ 10.7316 \text{ psia}\cdot\text{ft}^3/\text{lbmol}\cdot\text{R} \\ 1545.37 \text{ ft}\cdot\text{lbf}/\text{lbmol}\cdot\text{R} \end{cases}$$

6  
N ENGINEERING APPROACH. 2015 (135)  
N ENGINEERING APPROACH. 2015 (135)

Real gazning molekulari ideal gaz molekularidan aniq hajmi va o'zaro ta'sir kuchlari borlig'i bilan farq qiladi.

Real gazlar uchun holat tenglamasini golland fizigi Van-der-Vaals<sup>7</sup> keltirib chiqargan

$$(P + a/v^2)(v - b) = RT \quad (1.15)$$

bu yerda

a,b -Klapeyron tenglamasi uchun tuzatish koeffitsientlari bo'lib, a/v<sup>2</sup> - real gaz molekularining o'zaro tortishish kuchini ifodalaydi, b - real gaz siqilishi mumkin bo'lgan minimal hajmni harakterlaydi

**TABLE 3-4**  
**Constants that appear in the Beattie-Bridgeman and the Benedict-Webb-Rubin equations of state**

(a) When  $P$  is in kPa,  $\bar{v}$  is in m<sup>3</sup>/kmol,  $T$  is in K, and  $R_0 = 8.314$  kPa·m<sup>3</sup>/kmol·K, the five constants in the Beattie-Bridgeman equation are as follows:

Gas	$A_0$	$a$	$B_0$	$b$	$c$
Air	131.8441	0.01931	0.04611	-0.001101	$4.34 \times 10^4$
Argon, Ar	130.7802	0.02328	0.03931	0.0	$5.99 \times 10^4$
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	507.2836	0.07132	0.10476	0.07235	$6.60 \times 10^5$
Helium, He	2.1886	0.05984	0.01400	0.0	40
Hydrogen, H <sub>2</sub>	20.0117	-0.00506	0.02096	-0.04359	504
Nitrogen, N <sub>2</sub>	136.2315	0.02617	0.05046	-0.00691	$4.20 \times 10^4$
Oxygen, O <sub>2</sub>	151.0857	0.02562	0.04624	0.004208	$4.80 \times 10^4$

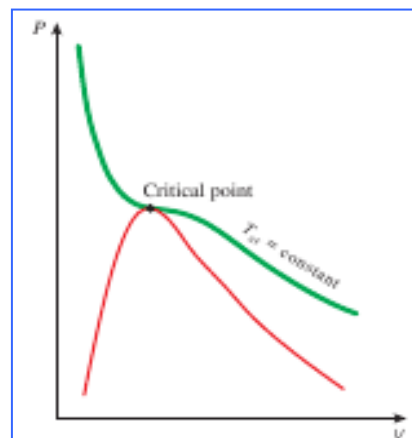
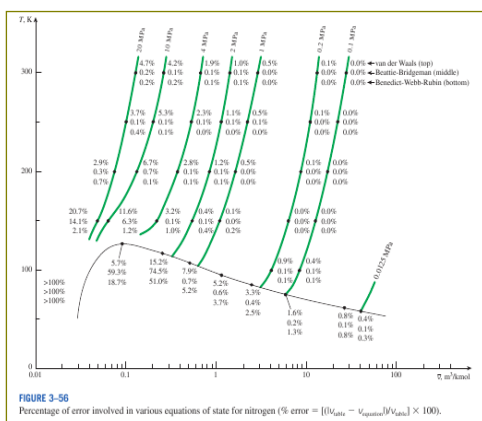
Source: Gordon J. Van Wylen and Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, English/SI Version, 3rd ed. (New York: John Wiley & Sons, 1986), p. 46, table 3.3.

(b) When  $P$  is in kPa,  $\bar{v}$  is in m<sup>3</sup>/kmol,  $T$  is in K, and  $R_0 = 8.314$  kPa·m<sup>3</sup>/kmol·K, the eight constants in the Benedict-Webb-Rubin equation are as follows:

Gas	$a$	$A_0$	$b$	$B_0$	$c$	$C_0$	$\alpha$	$\gamma$
n-Butane, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	190.68	1021.6	0.039998	0.12436	$3.205 \times 10^7$	$1.006 \times 10^8$	$1.101 \times 10^{-3}$	0.0340
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	13.86	277.30	0.007210	0.04991	$1.511 \times 10^6$	$1.404 \times 10^7$	$8.470 \times 10^{-5}$	0.00539
Carbon monoxide, CO	3.71	135.87	0.002632	0.05454	$1.054 \times 10^5$	$8.673 \times 10^5$	$1.350 \times 10^{-4}$	0.0060
Methane, CH <sub>4</sub>	5.00	187.91	0.003380	0.04260	$2.578 \times 10^5$	$2.286 \times 10^6$	$1.244 \times 10^{-4}$	0.0060
Nitrogen, N <sub>2</sub>	2.54	106.73	0.002328	0.04074	$7.379 \times 10^4$	$8.164 \times 10^5$	$1.272 \times 10^{-4}$	0.0053

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 815, table A-21M. Originally published in H. W. Cooper and J. C. Goldfrank, *Hydrocarbon Processing* 46, no. 12 (1967), p. 141.

$$P = \frac{R_0 T}{\bar{v}} + \left( B_0 R_0 T - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) \frac{1}{\bar{v}^2} + \frac{b R_0 T - a}{\bar{v}^3} + \frac{a \alpha}{\bar{v}^6} + \frac{c}{\bar{v}^3 T^2} \left( 1 + \frac{\gamma}{\bar{v}^2} \right) e^{-\gamma/\bar{v}^2}$$



<sup>7</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (142)

### **Nazorat savollari:**

1. Texnikaviy termodinamika qanday bog'liqliklarni o'rnatadi?
2. Termodinamika qaysi qonunlarga asoslanadi?
3. Sistemaning termodinamik holati qanday parametrlar bilan ifodalanadi va ularning tarkibini ayting?
4. Termodinamik tizim deb nimaga aytiladi (misollarni keltiring)?
5. Gomogen va geterogen tizimlarga tushuncha bering.
6. Termodinamik jarayon nimani anglatadi va qanday bo'ladi?
7. Absolyut va manometrik (ortiqcha) bosimlarning farqi nimada?
8. Bosimni aniqlash uchun suyuqlikning ustun balandligi qanday aniqlanadi?
9. O'zbekistonda qanday temperature shkalalari qabul qilingan?
10. Solishtirma xajim va zichlikni aniqlash.
11. Holatning intensiv parametrlar orasidagi bog'liqlik?
12. Termodinamik yuzasiga ko'ra jisimning holati qanday diagrammalar orqali ifodalanadi?
13. Nima uchun Texnikaviy termodinamikaga "ideal gaz" tushunchasi kiritiladi?

### **Foydalanadigan adabiyotlar:**

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

**2- mavzu: Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim larda issiqlik sig'imini aniqlash.**

#### **Reja:**

- 2.1. Umumiy tushunchalar
- 2.2. Solishtirma va o'rtacha issiqlik sig'implari
- 2.3. O'zgarmas bosim va xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash
- 2.4. Mayer tenglamasi.

**Tayanch iboralar:** harorat, bosim, hajim, solishtirma hajim, issiqlik sig'im, hajmiy issiqlik sig'imi, massaviy issiqlik sig'imi, molyar issiqlik sig'imi.

## 2.1 Umumiy tusunchalar

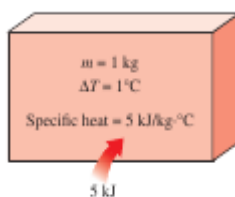
Massasi bir xil bo'lgan ikkita turli moddani bir xil temperaturagacha qizdirish uchun turli miqdorda issiqlik sarflash kerak bo'ladi. Masalan, suvni qizdirish uchun xuddi shu miqdordagi temirni o'sha temperaturaga qadar qizdirishga ketadigan issiqlikka qaraganda taxminan to'qqiz marta ko'p issiqlik sarflashga to'g'ri keladi.

Demak, har qanday jismning faqat shu jismga xos issiqlik sig'imi bo'ladi. Jismning temperaturasini bir gradusga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori jismning issiqlik sig'imi deyiladi.

Gazlar uchun issiqlik sig'imi deb  $1\text{ kg}, 1\text{ m}^3$ , yoki  $1\text{ kmol}$  gazni temperaturasini  $1$  grad.ga oshirish uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi.<sup>8</sup>

Ular orasidagi boglanish quyidagicha ifodalanadi

$$C = C^1 \rho = \frac{M C}{\mu}$$



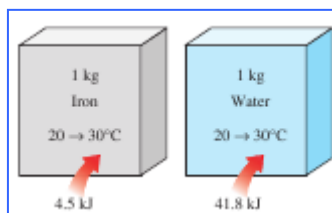
$$C^1 = \frac{\mu C}{22.4}$$

### (2.1) Issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq.

Bir atomli gazlar uchun  $C = a + bt$

Ikki va ko'p atomli gazlar uchun  $C = a + bt + \frac{1}{2}t^2$

Real gazlar termik xossalarining o'zgarish qonuniyatlari, asosan, bundan oldingi mavzuda ko'rib chiqilgan edi. Jumladan, bu qonuniyatlar rasmlarda keltirilgan  $r$ ,  $v$ ,  $T$ , va  $p$ -diagrammalardan ma'lum ko'rinishicha, gaz fazadagi kritikkacha bo'lgan izotermalar suyuq; fazadagiga qaraganda ancha qiya ketgan; bu narsa taajjublanarli emas—gaz suyuqlikka nisbatan ancha katta izotermik siqiluvchanlik  $(\partial v / \partial p)_T$  ga ega (absolyut qiymati bo'yicha). Kritikdan keyingi izotermalar ham shunga o'xshash xarakterga ega; xuddi shunday sabablarga ko'ra, izotermalar solishtirma hajm sohasida ( $v < v_{kp}$ ) solishtirma hajm ( $v > v_{kp}$ ) sohasiga qaraganda birmuncha tikrok, bo'ladi.



Gazning termik kengayish darajasi  $(\partial v / \partial T)_p$  suyuqlikning termik kengayish darajasiga qaraganda ancha yuqori bo'lganligidan kritikkacha bo'lgan izobaralar  $v, T$ -diagrammada gaz sohasida suyuqlik sohasiga qaraganda birmuncha tikroq, bo'ladi. Bosim qanchalik past

<sup>8</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (174)

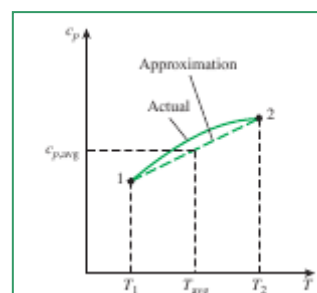
bo'lsa, kattalik  $(\partial v / \partial T)_p$  shunchalik katta bo'ladi (bir xil temperaturaning o'zida). Kritikdan keyingi izobaralarda ham xuddi shunday qonuniyat kuzatiladi -  $v$  ning qiymati kichkina bo'lgan sohadagi ozgina qiyalik  $v$  ning ortishi bilan tobora seziladigan qiyalikka almashinadi. Shuni eslatib o'tish kerakki, gaz faza sohasida temperatura ortishi bilan izobaraning qiyaligi  $(\partial v / \partial T)_p$  kamayadi.

Kritikdan keyingi izobaralar uchun bog'liqlik  $(\partial v / \partial T)_p = f(T)$  maksimum orqali o'tadigan egri chizik ko'rinishiga ega. Bunda berilgan izobara kritik izobaraga qanchalik yaqin bo'lsa, maksimum shunchalik o'tkir cho'qqili bo'ladi bundan ko'rinishicha, kritik nuqtada  $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p^{kp} = \infty$

## 2.2 Solishtirma va o'rtacha issiqlik sig'irlari

Kichik temperaturalar oralig'ida o'rtacha va haqiqiy issiqlik sig'imi tushunchalari mavjud. O'rtacha issiqlik sig'imi quyidagicha aniqlanadi

$$C_m = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (2.2)$$



Haqiqiy issiqlik sig'imi, jismga cheksiz kichik issiqlik miqdori  $dq$  va jismning temperaturasi  $dT$  qiymatga ortgan bo'lsa, quyidagicha aniqlanadi

$$C = dq/dT \quad (2.3)$$

Izobaralar  $(\partial v / \partial T)_p = f(T)$  dagi maksimumlarning nuqtalari izobaralarning  $v, T$ -diagrammadagi egik nuqtalariga mos keladi. Bu nuqtalarda

$v, T$ -diagrammadagi kritikdan keyingi izobaralarning egik sohalari moddaning solishtirma hajmi temperatura o'zgarishi bilan eng intensiv o'zgaradigan sohadan iborat bo'lishini aniqlash qiyin emas. Bu soha kritikdan keyingi izobaralar uchun ma'lum darajada to'yinish chizig'iga o'xshash: to'yinish chizig'idan o'tishda  $v$  ning ma'lum temperatura  $T_s$  da keskin o'zgarishi sakrashesimon tarzda sodir bo'ladi, kritikdan Ixtiyoriy qaytmas siklni cheksiz ko'p  $n$  sonli qaytmas Karno elementar sikllarining to'plamida ko'rib chiqib va bunda  $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = \oint \frac{dQ}{T}$

keyingi izobaralarda esa bunday keskin o'zgarish temperaturalarning biror intervalida cho'zilganroq bo'ladi.

Issiqlik sig'imi har xil jarayonlarda quyidagicha ifodalanadi:

$C_{pm}$ - P-const bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi;

$C_{vm}$ - V-sonst bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi;

$C_{pm}^1$ - R-const, bo'lganda o'rtacha hxajmiy issiqlik sig'imi;



$C_{vm}^1$  - V-sonst bo'lganda o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi;

$C_{pm}$  - r-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi;

$C_{vm}$  - V-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi.

### 2.3 O'zgarmas bosim va xajimlarda issiqlik sig'imini aniqlash

Entalpiyaning kritikdan keyingi izobara va izotermalari bu diagrammalarda egrilikka ega. bundan ko'rinishicha, kritik nuqtada

$$\left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)_p^{kp} = \infty \quad (2-4) \text{ yoki}$$

$$c_p^{kp} = \infty \quad (2-5) \text{ bo'ladi.}$$

Real gaz (suv bug'i) issiqlik sig'imi  $s_r$  ning kritikkacha bo'lgan bosimlarda temperaturaga bog'liqligi ko'rsatilgan (to'yinish temperaturasi shu izobaralardagi  $c_p$  ning qiymatiga mos kelgan turli izobaralardagi nuqtalar punktir chiziq bilan birlashtirilgan). Bu grafikdan ko'rinishicha, aynan bir xil temperaturada bosim o'sishi bilan issiqlik sig'imi  $c_p$  ortadi. Temperatura ortganda  $c_p$  kattaligi to'yinish chizig'i yaqinida izobara bo'ylab kamayadi, so'ngra (minimumdan o'tadi va temperatura yana orta borishi bilan  $c_p$  ham orta boshlaydi. Issiqlik sig'imi qiymatining to'yinish chizig'i yaqinida oshishiga sabab shuki, to'yinish chizig'idagi o'ta qizigan bug'da molekulalarning yirik assotsiatsiyalari bo'ladi.<sup>9</sup>

Real gazning issiqlik sig'imi  $c_p$  yo eksperimental yo'l bilan, yoki entalpiyaning ma'lum bo'lgan qiymatlari bo'yicha hisoblab yoxud moddaning  $p, \nu, T$ -bog'lanishi bo'yicha aniqlanadi.

Agar modda entalpiyasiga oid eksperimental ma'lumotlar mavjud bo'lsa, u holda issiqlik sig'imi  $c_p$  ni quyidagi munosabat yordamida hisoblab topish mumkin:

$$c_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)_p$$

Agar biz  $p, \nu, T$ -borlanishga oid malumotlarga ega bo'lsak, u holda bosim  $p$  va temperatura  $T$  dagi issiqlik sig'im  $c_p$  ni quyidagi

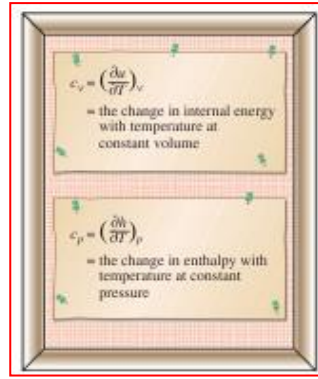
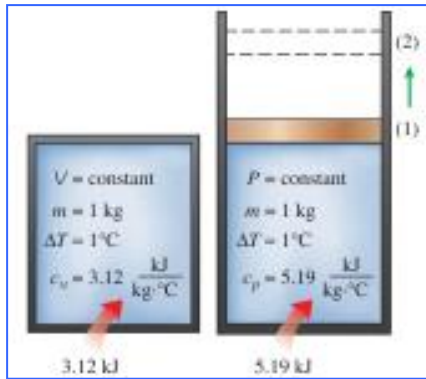
$$c_p(P, T) = c_{p_0}(T) + \int_0^p \left(\frac{\partial c_p}{\partial p}\right)_T dp \quad (2-6)$$

munosabat munosabat yordamida xisoblab topish mumkin, (2-2) ni hisobga olib, (2-3) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

<sup>9</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (175)

$$c_p(p, T) = c_{p_0}(T) - T \int_0^c \left( \frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p dp \quad (2-7)$$

Bu yerda  $c_{p_0}(T)$  bilan moddaning  $p \rightarrow 0$  quyidagi, ya'ni ideal gaz holatidagi issiqlik sig'imi belgilangan. Bu tenglamaning o'ng qismidagi birinchi qo'shiluvchi real gaz issiqlik sig'imi kattaligining faqat temperaturaga bog'liq bo'lgan (ideal gaz issiqlik sig'imi) va, binobarin, bosim o'zgarganda o'zgarmaydigan qismidan, ikkinchi ko'shiluvchi esa bosimga bog'liq bo'lgan qismidan iborat.  $p, v, T$  - bog'lanishga oid ma'lumotlar asosida (2-4) tenglama yordamida issiqlik sig'imining absolyut qiymati



$c_p(p, T)$  emas, balki ayirma  $[c_p(p, T) - c_{p_0}(T)]$  hisoblab topiladi.<sup>1</sup>

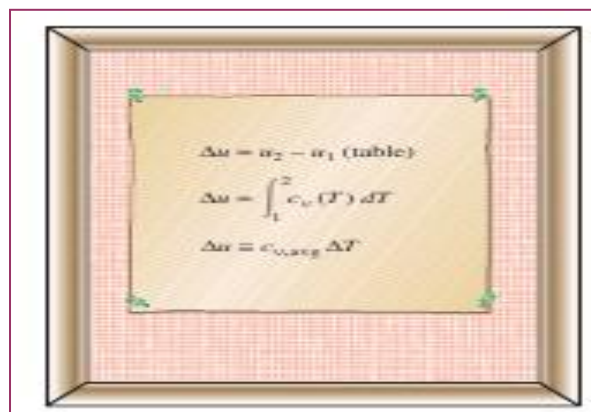
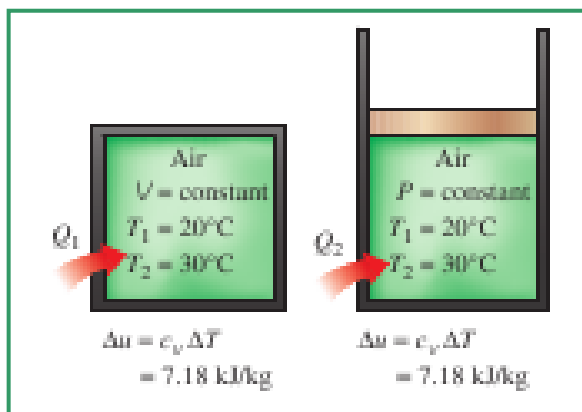
Avvalgi bobda ko'rsatilganidek, ideal gaz holatda issiqlik sig'imlari  $c_p$  va  $c_v$ : entalpiya  $i$  va ichki energiya  $u$  ning faqat temperaturagagina

bog'liqligi o'quvchining esida, albatta. Moddaning ideal gaz holatdagi (fakat  $p \rightarrow 0$  da I realizatsiya qilinadigan)  $i$ ,  $i$  va  $s_r$  ning qiymatiga bundan keyin 0 indeksga qo'shib yozishni (nol zichlik), ideal gaz holatda  $c_v$  ning qiymatiga  $\infty$  indeksi (cheksiz katta solishtirma hajm) qo'shib yozishni shartlashib olamiz. Kvantaviy statistikaning zamonaviy metodlari mazkur modda molekulalarining tuzilishi haqidagi ma'lumotlar asosida  $c_{p_0}$  va  $c_v$  qiymatlarini juda katta aniqlikda hisoblashga imkon beradi.

Issiqlik sig'imi  $c_v$  va ichki energiya  $u$  uchun o'xshash munosabatlarni xuddi shu tarzda hosil qilish qiyin emas:

$$c_v(v, T) = v_{\infty}(T) + T \int_{\infty}^v \left( \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v dv \quad (2-8) \quad u(v, T) = u(v, T_0) + \int_{T_0}^T c_v dT \quad (2-9) \quad \text{va}$$

$$u(v, T) = u_0(T) + \int_{\infty}^v \left[ T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right] dv \quad (2-10)$$



Moddalar termodinamikaviy xossalarning to'yinish chizig'ida o'zgarishining asosiy qonuniyatlarini ko'rib chiqamiz. Asosan «Suyuqlik—bug'» fazaviy o'tish chizig'ini ko'rib chiqamiz, lekin bunda hosil qilingan barcha munosabatlar boshqa fazaviy o'tishlar uchun ham to'g'ri bo'ladi.

Termodinamikaviy kattaliklarning chegaraviy egri chiziqlardagi qiymatlari faqat bitta o'zgaruvchining funktsiyasi bo'ladi: masalan, qaynayotgan suyuqlik solishtirma hajmi  $v$  ning qiymati temperatura yoki to'yinish bosimi qiymati bilan bitta qiymatda aniqlanadi.<sup>10</sup>

Birgalikda bo'lgan fazalar solishtirma hajmlari ayirmasi ( $v''-v'$ ) ning temperaturaga bog'liqligi suv va suv bug'i uchun rasmda, suvning bug' hosil qilish issiqligining temperaturaga bog'liqligi esa [1.2] rasmda ko'rsatilgan. Bu grafiklardan ko'rinishicha,  $r = f(T)$  va  $(v''-v') = f(T)$  kattaliklar temperaturaning ortishi bilan monoton kamayib, kritik nuqtada nolga aylanadi. Bu kattaliklarning temperaturaviy bog'liqligi boshqa moddalar uchun ham shunga o'xshash xarakterga ega.

## 2.4 Mayer tenglamasi.

Agar,  $P = \text{const}$  bo'lganda ekanligini e'tiborga olib va Klapeyron tenglamasidan foydalanib  $PV = RT$  differentsiallasak

$$PdV = RdT, \quad \text{bundan} \quad R = \frac{pdv}{dT} \quad (2.12)$$

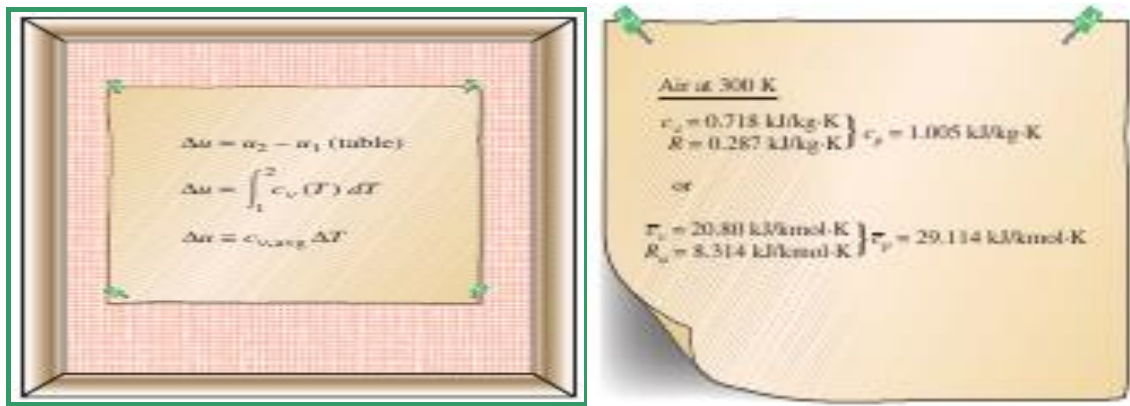
(2.10) va (2.11) tengliklardan foydalanib quyidagi, bosimi o'zgarmas jarayondagi issiqlik sig'imi bilan, hajmi o'zgarmas jarayondagi issiqlik sig'imi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz:

$$c_p = c_v + R \quad (2.13)$$

Bu formula Mayer formulasi deyiladi.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> .Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication. 2011 (77-80)

<sup>11</sup> Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons. 2015 (178)



### Nazorat savollari:

1. Solishtirma issiqlik sig'imi deganda nima tushuniladi?
2. Massaviy, xajmiy va molyar issiqlik sig'implarga izoh bering.
3. O'rtacha issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
4. Haqiqiy issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
5. O'zgarmas xajim va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi deganda nima tushunasiz?
6. Mayer tenglamasi va uning mazmuni?
7. Adiabata ko'rsatgichi k ning ma'nosi va aniqlanishi?
8. Nima uchun o'zgarmas xajimdagi solishtirma issiqlik sig'imi o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imidan kichik bo'ladi?
9. Real gazlarning xaqiqiy issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligi qaysi ifoda orqali o'rnatiladi?
10. O'rtacha issiqlik sig'imi qaysi tenglamalar orqali aniqlanadi?
11. Gaz aralashmaning issiqlik sig'imi va uning aniqlanishi?

### Foydalanadigan adabiyotlar:

1. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
2. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

### 3-mavzu: Asosiy termodinamik jarayonlar

#### Reja:

1. Umumiy tusunchalar
2. O'zgarmas bosim jarayonlar
3. O'zgarmas xajimlarda jarayonlar
4. O'zgarmas xarorat jarayonlar
5. Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

**Tayanch sozlar va iboralar:** izoxora, izohorik jarayon, izobara, izobarik jarayon, izoterma, izotermik jarayon, adiabata, adiabatic jarayon, pollitropa, pollitropik jarayon.

#### 3.1. Umumiy tusunchalar

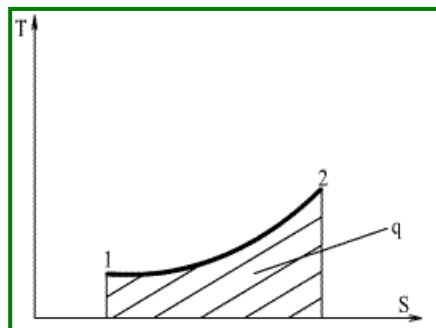
XVII – XIX asrlarda atmosfera bosimiga yaqin bosimlarda gazlar o'zini qanday tutishini tekshirgan tadqiqotchilar emperik yo'l bilan bir qancha muhim qonuniyatlarni ochdilar.

Gaz holatining o'zgarishi gazga issiqlik keltirish yoki issiqlikni olib ketish hamda gazga mexanikaviy ta'sir etish bilan bog'liq.

Termodinamik jarayonlarni tadqiqot qilishda quyidagi ketma-ketlik qabul qilingan.<sup>12</sup>

1. Termodinamik jarayon tenglamasini aniqlash.
2. Jarayonni PV diagrammada tasvirlash.
3. Shu jarayonda holat parametrlari orasidagi bog'lanish.
4. Gazning ichki energiyasining o'zgarishini ,kengayishda bajargan l ishini va jarayondagi issiqlik q ni aniqlash.
5. Jarayonda gazning entropiyasi bilan holat parametrlari orasidagi bog'lanishni aniqlash

Bundan, agar termodinamik jarayonni TS koordinatalarda tasvirlasak, jarayon egri chizig'i va entropiya o'qi bilan chegaralangan yuza chizma mashtabida jarayon issiqligi q ni beradi degan hulosa kelib chiqadi.



**3.1-rasm.**Jarayonni TS diagrammasi

<sup>12</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (164)

6. Termodinamik jarayonlarni TS koordinatalarda tasvirlash.

7. Issiqlikni transformatsiyalash koeffitsientini aniqlash.

8. Termodinamik jarayonlarni sifat kursatgichlarini aniqlash.

Bunda quyidagi shartli belgilanishlar qullaniladi:

q- issiqlik

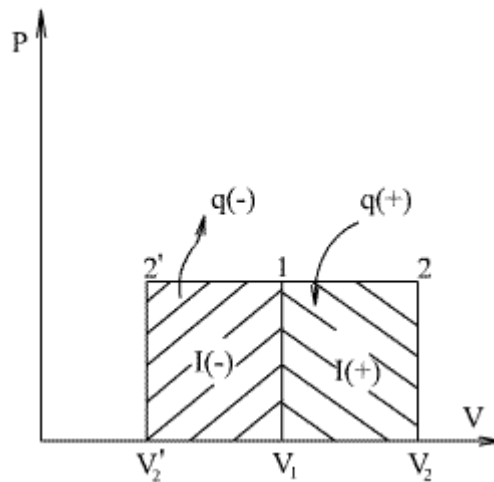
u- ichki energiyaning o'zgarishi

e- jarayonda bajarilgan ish.

Tadqiqot qilishda jarayonlar muvozanatda va qaytar jarayonlar deb qabul qilinadi. Ish jismining massasi 1kg deb qabul qilinadi.

### 3.2 O'zgarmas bosim jarayonlar

1. Termodinamik jarayonning tenglamasi  $P = \text{const}$



3.2-rasm. Izobarik jarayonni PV -diagrammasi

3. Izobarik jarayonni holat tenglamasi

$$PV_1 = RT_1 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$PV_2 = RT_2$$

4. Ichki energiyaning o'zgarishi

$$du = c_v dT, \quad u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1), \quad \text{kJ/kg} \quad (3.3)$$

5. Gazning bajargan ishi

$$dl = p dv, \quad l = p(v_2 - v_1) \quad (4.4)$$

$p v = RT$  dan  $PV_2 = RT_2$  va  $PV_1 = RT_1$  ekanligini e'tiborga olib quyidagini olamiz

$$l = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1) \quad \text{kJ/kg} \quad (3.4)$$

6. Izobarik jarayonda issiqlik

$$q = u_2 - u_1 + l = c_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) = c_p(T_2 - T_1) \quad (3.5)$$

Chunki  $c_p = c_v + R$

Mayer formulasi

Izobarik jarayonda issiqlik ishchi jismning ichki energiyasini o'zgarishiga va tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga sarflanadi.

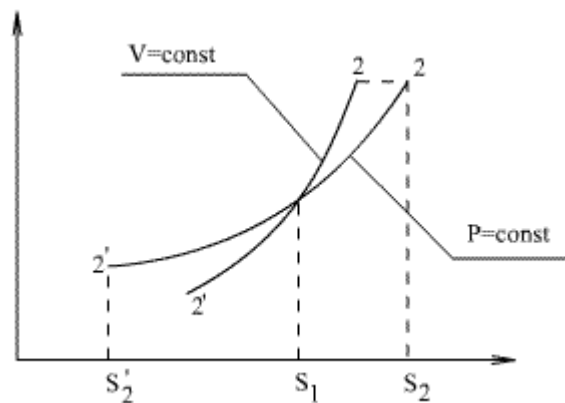
7. Entropiyaning o'zgarishi

$$ds = \frac{dq}{T} \text{ yoki } q = c_p(T_2 - T_1), \quad dq = c_p dT \quad (3.6)$$

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_p dT}{T} \quad \int_1^2 ds = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} \quad \text{bundan}$$

$$s_2 - s_1 = \Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad \kappa \partial \text{ж} / (\kappa \text{г.К}) \quad (3.7)$$

8.



3.3-rasm. TS-diagrammada izobara va izoxoralarni solishtirma tasvirlanishi.

Bosim o'zgarimas bo'lgandagi issiqlik sig'imi hajm o'zgarimas bo'lgandagi issiqlik sig'imi  $C_v$  dan katta bo'lgani uchun izobara izoxoradan qiyaroq joylashadi.

9. Transformatsiyalash koeffitsienti

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{1}{k} \quad (3.8)$$

10. Jarayonni sifat ko'rsatgichlari

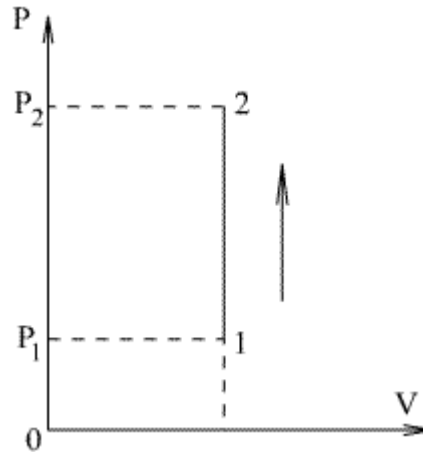
1662 yilda R.Boyl, 1676 yilda esa undan mustaqil holda E.Mariott o'zgarimas temperaturada gaz bosimining uning hajmiga ko'paytmasi o'zgarimas, ya'ni izotermik protsessda gazning kengayishi yoki siqilishi

$$pV = \text{const} \quad (3.9)$$

ekanligini ko'rsatgan edilar.

(3-1) munosabat *Boyl – Mariott qonuni* deb ataladi.<sup>13</sup>

### 3.3 O'zgaras xajimlarda jarayonlar



3.4-rasm. Izohorik jarayonni PV diagrammasi

1. Izoxorik jarayonining xolat tenglamasi

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= RT_1 & \frac{P_1}{P_2} &= \frac{T_1}{T_2} \\ P_2 V_2 &= RT_2 \end{aligned}$$

2. Gazning ichki energiyasining o'zgarishi

$$du = c_v dT \quad \text{yoki} \quad u_2 - u_1 = du = c_v (T_2 - T_1), \text{KdJ/kg}.$$

3. Gazning kengayishda bajargan ishi

$$dl = PdV \quad \text{yoki} \quad l = \int_1^2 p dv \quad (3.10)$$

$v = \text{const}$  bo'lgani uchun  $p dv = 0$  va  $l = 0$

Hulosa: Izohorik jarayonda ish jismiga keltirilgan issiqlik gazning ichki energiyasini o'zgarishiga sarf bo'ladi, ya'ni  $q = u_2 - u_1 + l = c_v(T_2 - T_1)$ , Kdj/kg

4. Entropiyaning o'zgarishi

$$ds = dq/T \text{ ekin } q = c_v(T_2 - T_1), dq = c_v dt$$

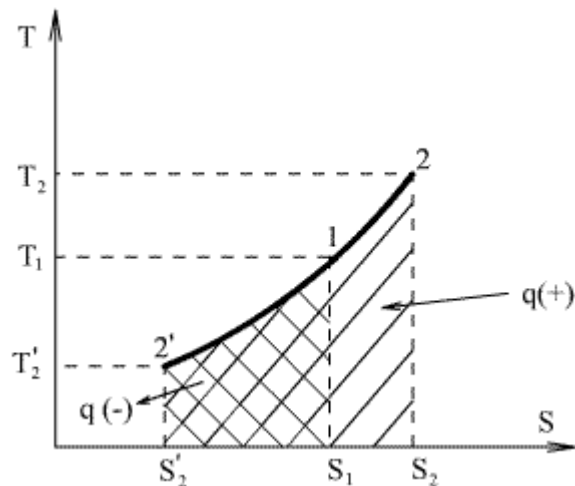
<sup>13</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (168)



$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_v dT}{T} \qquad \int_1^2 ds = \int_1^2 c_v \frac{dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = \Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}, \text{кДж/кг.К} \quad (3.12)$$

5.



3.5-rasm. bo'lgan jarayonni TS diagrammasi.

Izoxoraviy jarayonni TS diagrammasi lagorifmik egri chiziq shaklida bo'ladi.

6.

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_V(T_2 - T_1)} = 1$$

Bundan, hamma issiqlik gazning ichki energiyasini o'zgarishiga sarf bo'ladi degan xulosa kelib chiqadi.

7.

$$q = u_2 - u_1$$

Endi gazning hajmi o'zgarmaydigan idishda sodir bo'ladigan qizdirilish protsessini ko'rib chiqamiz (izoxorik protsess). Bu protsess ham Gey-Lyussak qonuni yordamida quyidagi ko'rinishda tavsiflanadi:<sup>14</sup>

$$p = p_0(1 + \alpha t), \quad (3.12)$$

bu yerda  $p_0$  va  $p$  - gazning tegishli 0 va  $t^\circ$  S temperaturadagi bosimi.

Agar  $p_1$  va  $p_2$  gazning tegishli  $t_1$  va  $t_2$  temperaturasidagi va aynan bir hil hajmdagi ( $V = const$ ) bosimi bo'lsa, tenglama (6-4) dan

<sup>14</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (165)

Agar  $p_1$  va  $p_2$  gazning tegishli  $t_1$  va  $t_2$  temperaturadagi va aynan bir hil hajmdagi ( $V = const$ ) bosimi bo'lsa, tenglama (3-4) dan

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_2}{\frac{1}{\alpha} + t_1} \quad (3.13)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Quyidagi belgilashni kiritamiz:

$$T = \frac{1}{\alpha} + t \quad (3.14)$$

Yuqorida qayd qilib o'tilganidek,  $\alpha = 1/273 = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{S}^{-1}$  bo'lganligidan

J. Gey-Lyussak 1802 yilda agar qizdirish protsessida gaz bosimi o'zgartirilmasdan saqlab turilsa (ya'ni izobarik protsess amalga oshirilsa), u holda qizdirishda temperaturaning ortishi bilan gaz hajmining ortga borishini aniqladi, bunda bu bog'lanish chizig'iy bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$V = V_0(1 + \alpha t). \quad (3.15)$$

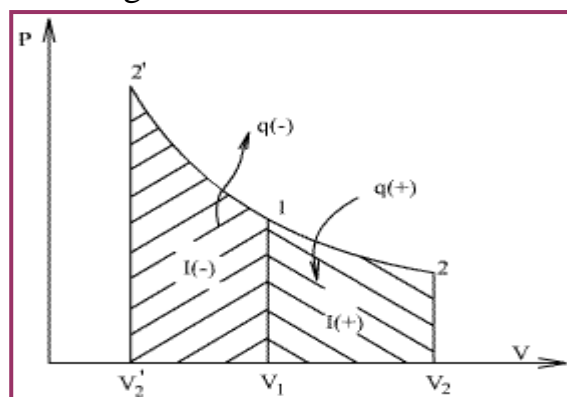
Bu munosabat *Gey – Lyussak qonuni* deb ataladi. Bu yerda  $V_0$  - gazning  $0^\circ\text{S}$  temperaturadagi hajmi,  $V$  - gazning  $t^\circ\text{S}$  temperaturadagi hajmi,  $\alpha$  - hajmiy kengayishining temperaturaviy koeffitsiyenti. Bosim yetarlicha kichik bo'lganda, turli gazlar uchun  $\alpha$  kattalik bir hil bo'lishi, ya'ni barcha gazlar bir hil hajmiy kengayish temperaturaviy koeffitsiyentga ega ekanligi ko'rsatilgan edi. Bu koeffitsiyent taxminan  $\alpha = 1/273 = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{S}^{-1}$  ga teng; zamonaviy aniq o'lchashlar bilan  $\alpha = 0,003661^\circ\text{C}^{-1}$  ga teng ekanligi aniqlanadi.

Agar  $V_1$  va  $V_2$  - gazning tegishli  $t_1$  va  $t_2$  temperaturalardagi aynan bir xil  $p = const$  dagi hajmi bo'lsa, (3-2) tenglamadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\alpha} + t_2}{\frac{1}{\alpha} + t_1}. \quad (3.16)$$

### 3.4 O'zgarmas xarorat jarayonlar

1. TDJning tenglamasi  $T = const$
2. Izotermik jarayonni PV –diagrammasi



3.6-rasm. Izotermik jarayonni PV –diagrammasi

3.

$$\begin{array}{ll}
 p_1 v_1 = RT & p_1 v_1 = p_2 v_2 \\
 p_2 v_2 = RT & p_1 / p_2 = v_2 / v_1
 \end{array}$$

4. Ichki energiyaning o'zgarishi

$$\begin{array}{ll}
 du = c_v dT, T = const & \text{bo'lgani uchun} \\
 dT = 0, du = 0 & \text{yoki } u_2 - u_1 = 0
 \end{array}$$

Xulosa: Izotermik jarayoenda gazga keltirilgan issiqlik tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga sarf bo'ladi.

$$dl = p dv \quad l = p(v_2 - v_1) \quad (3.19)$$

$$p v = RT \text{ bo'lgani uchun} \quad p = \frac{RT}{v}$$

$$l = \int_1^2 p dv = \int_1^2 \frac{RT}{v} dv = RT \ln \frac{v_2}{v_1}, \text{ kJ} / \text{kg} \quad (3.20)$$

Jarayon issiqligi

$$q = u_2 - u_1 + l = 0 + l = RT \ln \frac{v_2}{v_1}, \text{ kJ} / \text{kg} \quad (3.21)$$

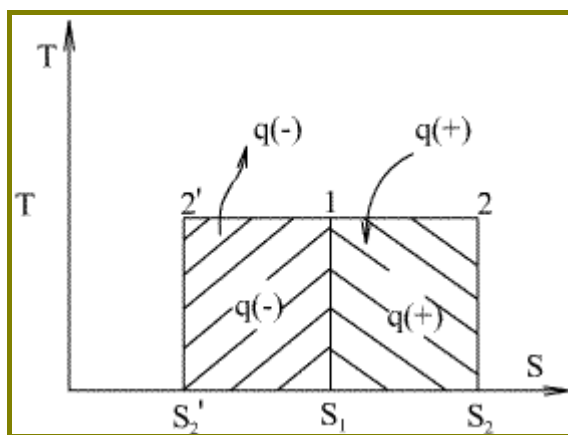
5. Entropiyaning o'zgarishi

$$\begin{array}{l}
 ds = \frac{dq}{T} = \frac{dl}{T} = \frac{p dv}{T} \\
 s_1 - s_2 = \Delta s = \int_1^2 \frac{p dv}{T} \quad (3.22)
 \end{array}$$

$p v = RT$  dan  $\frac{p}{T} = \frac{R}{v}$  ekanligini hisobga olib, ushuni hosil qilamiz:

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{R}{v} dv = R \ln \frac{v_2}{v_1}, \quad (3.33)$$

6.



3.7-rasm. Izotermik jarayonning TS –diagrammasi

7.

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{0}{q} = 0$$

8.

$$u_2 - u_1 = 0$$

Endi ikkita termodinamikaviy jarayon – izotermik jarayon  $1-m$  va izobarik jarayon  $2-m$  ning ketma –ketligini ko'rib chiqamiz (3-1-rasm). Gazning izotermik jarayon  $1-m$  da siqilishi Boyle-Mariott qonuni tenglamasi bilan tavsiflanadi.

$$p_1 v_1 = p_m v_m \quad (3.34)$$

(bu yerda  $v_1$  va  $v_m$  - solishtirma hajmlar), gazning izobarik jarayon  $2-m$  da keyinchalik qizishi esa Gey-Lyussak qonuniga bo'ysunadi

$$\frac{v_m}{v_2} = \frac{T_m}{T_2} \quad (3.35)$$

Jarayon  $1-m$  izotermik jarayon bo'lganligidan  $T_1 = T_m$  ekanligi muqarrar va, binobarin, 6-11 tenglamadan quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$v_m = v_2 \frac{T_1}{T_2} \quad (3.36)$$

Jarayon  $2-m$  izobarik jarayon bo'lishi uchun  $p_m = p_2$ . Bu sharoitni hisobga olib (3-10), (3-12) tenglamalardan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} \quad (3.37)$$

Shunga o'xshash, gazni biror tarzda parametrlari  $p_3, v_3$  va  $T_3$  bo'lgan istalgan uchinchi holatga o'tkazib

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \frac{p_3 v_3}{T_3} = const \quad (3.38)$$

ekanligini ko'rsatish mumkin.

### 3.5 Gaz harakati vaqtidagi holatning o'zgarishi.

Shunday qilib parametrlari  $p, v$  va  $T$  hamda yuqorida ko'rsatilgan ikkita qonunga bo'ysunadigan gazning istalgan holati uchun

$$\frac{p\nu}{T} = \text{const} \quad (3.39)$$

ekanligini aniqlash mumkin.

(3-15) tenglamadagi o'zgarish kattalik gaz holatiga bog'liq emas. U faqat gazning xossasiga bog'liq bo'ladi va har qaysi gaz uchun individualdir. Bu kattalik gaz konstantasi deb ataladi.<sup>15</sup> Gaz konstantasini  $R$  orqali belgilab (3-15) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$p\nu = RT. \quad (3.40)$$

Shunday qilib, biz gaz parametrlari  $p, \nu$  va  $T$  ni o'zaro bir qiymatda bog'laydigan tenglamani, ya'ni ideal gazning holat tenglamasini hosil qildik. Bu tenglama *Klayperon tenglamasi* deb ataladi. 1811 yilda A. Avagadro endilikda Avagadro qonuni nomi bilan ma'lum bo'lgan qoidani taklif etdi: bir xil temperaturalar va bir xil bosimlarda bo'lgan turli ideal gazlarning teng hajmlarida molekular soni teng bo'ladi.

Avagadro qonunidan muhim xulosa kelib chiqadi. Birinchi hajmdagi  $I$  gaz massasini quyidagi tarzda aniqlash mumkin:

$$G_I = N_I m_I, \quad (3.41)$$

ikkinchi hajmdagi gaz  $II$  massasi

$$G_{II} = N_{II} m_{II}, \quad (3.42)$$

bundan

$$\frac{G_I}{G_{II}} = \frac{N_I m_I}{N_{II} m_{II}}. \quad (3.43)$$

Molekular massasining nisbati  $m_I/m_{II}$  shu gazlar molekular massalarining nisbati  $\mu_I/\mu_{II}$  ga tengligi tushunarli. Avagadro qonuniga muvofiq  $N_I = N_{II}$  va, shunday qilib, (3-19) tenglamadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\frac{G_I}{G_{II}} = \frac{\mu_I}{\mu_{II}}, \quad (3.44)$$

ya'ni teng hajmlarda joylashgan hamda bosimlari va temperaturalari bir xil bo'lgan turli ideal gazlar massaviy miqdorlarining nisbati shu gazlar molekulyar massalarining nisbatiga teng.

Endi (3-16) tenglamadagi gaz konstantasini aniqlash masalasiga o'tamiz. Har qanday gaz holatining parametrlarini bilgan holda  $R$  ning kattaligini hisoblab topish qiyin emas.

Normal sharoitdagi gaz holati ma'lum deb hisoblaylik. U holda  $p = 101325 \text{ Pa}$  va  $T = 273,15 \text{ K}$  qiymatlarni Klayperon tenglamasi (3-16) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$R = \frac{p\nu}{T} = \frac{101325}{273,15} \nu = 371\nu. \quad (3.45)$$

Solishtirma hajm qiymatini  $\mu\nu = 22,4 \text{ m}^3 / \text{kmol}$  tenglamadan olib, (3.46) tenglamaga qo'yganimizdan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

<sup>15</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (169)

$$R = \frac{8314}{\mu}. \quad (3.47)$$

Gaz konstantasining topilgan qiymatini (6-16) tenglamaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$p\nu = \frac{8314}{\mu}T \text{ yoki } p\mu\nu = 8314T. \quad (3.48)$$

(3-23) tenglama bitta kilomol uchun ideal gazning holat tenglamasi, 8314 soni esa gazning bir kilomoliga keltirilgan gaz konstantasidir. Bu kattalik barcha gazlar uchun bir xil: *u universal gaz konstantasi* deb ataladi va  $\mu R$  bilan belgilanadi. Universal gaz konstantasining o'lchov birligi J (kmol·K).

(3-16) tenglamadan ayrim gazlarning gaz konstantalari  $R$  ularning molekulyar massasi qiymatiga ko'ra aniqlanishi kelib chiqadi. Masalan, azot uchun ( $\mu_{N_2} = 28$ ) gaz konstantasi

$$R_{N_2} = \frac{8314}{28} = 297 \text{ J/(kmol.K)}.$$

Klayperon tenglamasida berilgan har qaysi ideal gazning individual xossalari uning gaz konstantasi qiymati bilan aniqlanadi.

Yuqorida aytib o'tilganlardan ko'rinib turibdiki, ideal gazning holat tenglamasi (Klayperon tenglamasi) quyidagi ko'rinishlarda ifoalanishi mumkin:

1kg gaz uchun (3-16)

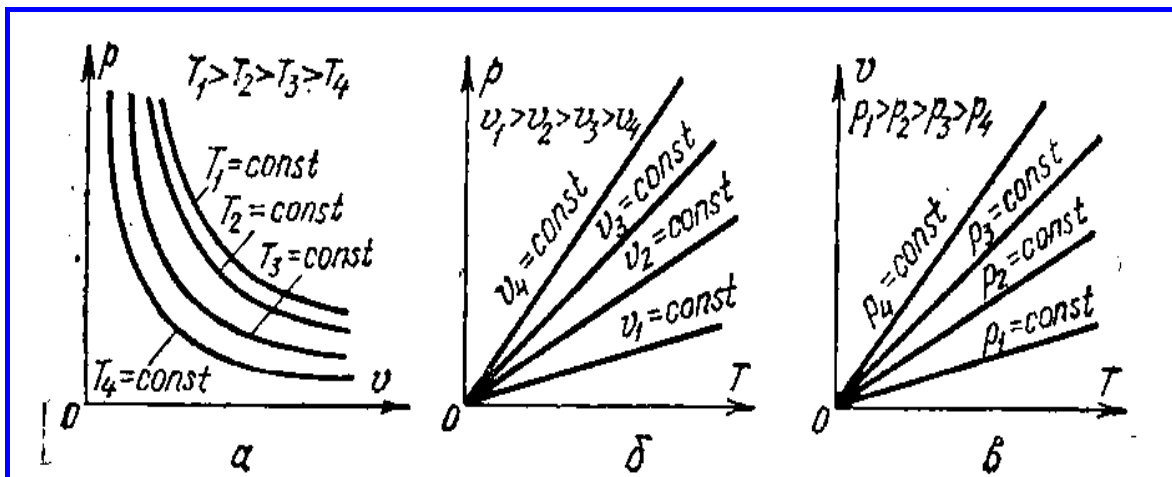
$$p\nu = RT;$$

$G\nu = V$  ekanligini hisobga olib,  $G$  kg gaz uchun

$$pV = GRT;$$

gazning bitta moli uchun  $p\mu\nu = \mu RT$ .

Endi  $p, \nu, p, T$  - va  $\nu, T$  - diagrammalarda ideal gazning izotermalari, izobaralari va izoxoralari qanday ko'rinishlarda bo'lishini ko'rib chiqamiz (3-8-rasm).



3-8-rasm.

$T = const$  bo'lganda ideal gaz uchun  $p\nu = const$  bo'lganligidan  $p, \nu$  - diagrammada izoterma teng yonli giperbola ko'rinishida (3-8-rasm, a) bo'ladi. Bunda temperatura qanchalik yuqori bo'lsa,  $p, \nu$  - diagrammada izoterma shunchalik baland joylashadi.

Ideal gazlar uchun izoxoralar  $p, T$ -diagrammada va  $v, T$ - diagrammada koordinatalar boshidan chiqadigan to'g'ri chiziqlar ko'rinishida (3-8-rasm b va v) bo'lishi 3-16 tenglamadan kelib chiqadi. (3-16) tenglamaga ko'ra

$$p = \frac{R}{v}T,$$

ya'ni,  $p, T$ - diagrammada izoxoraning burchagiy koeffitsiyenti  $R/v$  ga teng, va binobarin,  $v$  ning qiymati qanchalik katta bo'lsa, izoxora chiziqlarining qiyaligi shunchalik kichik bo'ladi.

Shunga o'xshash  $v = \frac{R}{p}T$

dan  $v, T$ - diagrammada izobaraning burchagiy koeffitsiyenti  $R/p$  ga tengligi, va demak,  $p$  qanchalik yuqori bo'lsa, izobaraning qiyaligi shunchalik kichik bo'lishi ko'rinib turibdi.<sup>16</sup>

### Ideal gazlar aralashmasi

Toza modda va aralashmalar. Termodinamika, ko'pincha, toza modda va aralashma –eritmalar tushunchasidan foydalaniladi. *Toza modda* deb barcha molekulalari bir hil bo'lgan moddaga aytiladi. Bir necha toza moddadan iborat bo'lgan aralashma *eritma* deb ataladi. Toza moddalar jumlasiga, masalan, suv, etil spirt, azot, ammiak, natriy xlorid, temir kiradi. Azot, kislorod va bir qancha boshqa gazlardan iborat bo'lgan havo, suv –ammiak eritmaları, etil spirtining suvdagi eritmasi, metallarning turli qotishmalari aralashmalarga misol bo'la oladi. Aralashmani tashkil qilgan toza moddalar *komponentlar* deb ataladi.

Aralashma tarkibini aniqlash. Aralashmaning eng muhim xarakteristikalaridan biri uning tarkibidir. Aralashma tarkibi, ko'pchilik hollarda, aralashmaga kiradigan ayrim komponentlarning massaviy va mol ulushlari vositasida aniqlanadi.

$G_1$  kg birinchi komponent,  $G_2$  kg ikkinchi komponent,  $G_3$  kg uchinchi komponent va hokazolardan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz.  $n$  komponentlardan iborat aralashmaning umumiy massaviy miqdori:

$$G = \sum_{i=1}^n G_i \quad (3-24)$$

Ayni komponentning butun aralashmaning massasiga bo'lgan nisbati har qaysi komponentning massaviy ulushi deb ataladi:

$$c_i = \frac{G_i}{G} \quad (3-25)$$

(3-24) va (3-25) tenglamalardan quyidagi kelib chiqadi:

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad (3-26)$$

Binobarin, massaviy ulush ayni komponentning 1 kg aralashma tarkibidagi kilogrammning ulushi bilan aniqlanishi mumkin.

<sup>16</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (165)

Ikkita komponentdan iborat bo'lgan aralashma uchun (bunday aralashma *binar aralashma* deb ataladi):

$$c_1 + c_2 = 1$$

va shuning uchun komponentlardan birining massaviy ulushi ma'lum bo'lsa, aralashma tarkibini to'la aniqlash mumkin. binar aralashmada ikkinchi komponentning massaviy ulushi, odatda,  $c$  orqali belgilanadi, u holda birinchi komponentning massaviy ulushi  $(1-c)$  ga teng bo'lishi muqarradir. Shunday qilib, binar aralashma uchun

$$(1-c) = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{G_1}{G}; \quad c = \frac{G_2}{G_1 + G_2} = \frac{G_2}{G} \quad (3-27)$$

Massaviy va mol ulushlar orasida zarur bo'lgan hollarda bitta ulushni boshqa ulush orqali ifodalashga imkon beruvchi bog'lanish bor. Bunday bog'lanishni topish uchun soni istalgancha bo'lgan komponentlardan iborat aralashmani ko'rib chiqamiz. Agar aralashma birinchi, ikkinchi, uchinchi va hokazo komponentlarning molekulyar massalarini tegishli  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$  orqali belgilasak, u holda aralashma  $i$ - komponentning massaviy ulushi  $c_i$  ni mol ulushlari orqali quyidagi tarzda ifodalash mumkin:<sup>17</sup>

$$c_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} = \frac{M_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n M_i \mu_i} = \frac{\frac{M_i}{M} \mu_i}{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{M} \mu_i} = \frac{N_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n N_i \mu_i} \quad (3-28)$$

Agar mazkur aralashma tarkibiga kiradigan komponentlarning massaviy ulushlari ma'lum bo'lsa, har qanday  $i$ - komponentning mol ulushi  $N_i$  aniqlanadigan ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{\frac{G_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{\mu_i}} = \frac{\frac{G_i}{G} \cdot \frac{1}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{G} \cdot \frac{1}{\mu_i}} = \frac{\frac{c_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-29)$$

Binar aralashma uchun (7-10) va (7-11) tenglamalardan: birinchi komponent uchun

$$(1-c) = \frac{(1-N)\mu_1}{(1-N)\mu_1 + N\mu_2}$$

va

$$(1-N) = \frac{\frac{1-c}{\mu_1}}{\frac{(1-c)}{\mu_1} + \frac{c}{\mu_2}} = \frac{(1-c)\mu_2}{(1-c)\mu_2 + c\mu_1} \quad (3-30)$$

ikkinchi komponent uchun

$$c = \frac{N\mu_2}{(1-N)\mu_1 + N\mu_2}$$

va

<sup>17</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (154)



$$N = \frac{\frac{c}{\mu_2}}{\frac{(1-c)}{\mu_1} + \frac{c}{\mu_2}} = \frac{c\mu_1}{(1-c)\mu_2 + c\mu_1} \quad (3-31)$$

*Ideal gaz aralashmasi. Dalton qonuni.*<sup>18</sup> Turli gazlarning aralashmasi, ya'ni gaz aralashmalari deb ataladigan aralashma aralashmalar (eritmalar) ning xususiy hollari hisoblanadi. Bunda komponentlarning har qaysisi ideal gaz sifatida ko'rib chiqilishi mumkin bo'ladigan gaz aralashmasini ko'rib chiqish diqqatga sazovordir. Aralashma komponentlari to'g'risida ideal gaz kabi tasavvur etish pastroq bosimlarda ko'pgina real gaz aralashmalariga yaqinlashishga imkon beradi: bunday gaz aralashmalarining ichida praktika uchun eng muhimi havodir.

Gaz aralashmasining xususiyatini belgilovchi asosiy qonun Dalton qonunidir; har qanday alohida gaz o'zini gaz aralashmasida shunday tutadiki, go'yo uning bir o'zi aralashma temperaturasida aralashmaning butun hajmini egallagandek bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, gaz aralashmasiga kiradigan har qaysi gaz shunday bosimga ega bo'ladiki, bu bosimga agar u aralashmaning butun hajmini egallaganda ega bo'lgan bo'lar edi. Bu bosim ayni gazning *partsiyal bosimi* deb ataladi va har qaysi gaz uchun  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  lar orqali belgilanadi. Birinchi qarashda bu narsa ajablanarli tuyulishi mumkin – ayni gazning xususiyati uchun bu hajmda yana qandaydir gazlarning bor – yo'qligi yoki bu hajmni uning bir o'zi to'ldirishi baribir. Lekin buning hech qanday ajablanarli joyi yo'q; axir gap ideal gazlar haqida ketmoqda, ideal gaz molekulalari esa, yuqorida aytib o'tilganidek, ta'rifga ko'ra, hajmi bo'lmagan va bir – biri bilan hech qanday usulda ta'sir qilmaydigan (urulishdan tashqari) material nuqtalardan iborat. Aralashma bosimi qanchalik yuqori, ya'ni gazlar ideal holatdan qanchalik uzoq bo'lsa, gaz aralashmalari xususiyatining Dalton qonunidan shunchalik ko'proq chetga chiqishi kuzatiladi.

Dalton qonunini boshqacha ta'riflash ham mumkin: gaz aralashmasi tarkibiga kiradigan ideal gazlar partsiyal bosimlarining yig'indisi gaz aralashmasining to'la bosimiga teng<sup>19</sup>

$$p_{aral} = \sum_{i=1}^n p_i \quad (3-32)$$

Turli gaz aralashmalarini tavsiflashda Dalton qonunidan keng foydalaniladi; biz bu qonundan keyinchalik ko'p marta foydalanamiz.

*Ideal gaz aralashmasining tarkibi. Hajmiy ulushlar.* Agar ideal –gaz aralashmasi komponenti aralashma temperaturasida o'zining partsiyal bosimi ostida emas, balki aralashmaning to'la bosimi ostida bo'lsa, u holda uning hajmi  $V_i$  kattalikka teng bo'ladi; bu kattalik  $i$ -gazning keltirilgan hajmning hajmi deb ataladi; keltirilgan hajmning aralashma hajmiga nisbati ayni komponentning hajmiy ulushi deb ataladi:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{aral}} \quad (3-33)$$

<sup>18</sup> Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons. 2015(111-190)

<sup>19</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (163)

Keltirilgan hajm Boyl –Mariott qonuni yordamida aniqlanadi:

$$p_{aral}V_i = p_iV_{aral}$$

$$\sum_{i=1}^n p_{aral}V_i = \sum_{i=1}^n p_iV_{aral}$$

bundan

$$p_{aral} \sum_{i=1}^n V_i = V_{aral} \sum_{i=1}^n p_i$$

bu yerda  $p_{aral}$  va  $V_{aral}$  - aralashmaning tegishlicha bosimi va hajmi.

Aralashma bosimi

$$p_{\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{e}} = \sum_{i=1}^n p_i$$

bo'lgani uchun

$$V_{apal} = \sum_{i=1}^n V_i \text{ yoki } \sum_{i=1}^n r_i = 1 \quad (3-34)$$

Shunday qilib, gaz aralashmasining to'la hajmi uning komponentlarining keltirilgan hajmlari yig'indisiga teng.

Agar gaz turli gazlarning  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_i$  mollaridan iborat bo'lsa, u holda  $i$ -gazning hajmiy ulushi quyidagiga teng:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{apal}} = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{M_i \mu_i \nu_i}{\sum_{i=1}^n M_i \mu_i \nu_i} \quad (3-35)$$

gaz aralashmasi tarkibiga kiradigan va bir xil bosim  $p_{aral}$  hamda bir hil temperatura  $T_{\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{e}}$  ga keltirilgan barcha gazlar uchun mollar hajmi bir hil bo'lganligidan:

$$r_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = \frac{M_i}{M_{apal}} = N_i \quad (3-36)$$

Shunday qilib, ideal – gaz aralashmasi uchun komponentning hajmiy ulushi uning mol ulushiga teng.

Shu sababli (3-28) va (3-29) tenglamalar quyidagi tarzda yozilishi mumkin:

$$c_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i} \quad (3-37)$$

$$r_i = \frac{\frac{c_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-38)$$

Aralashmaning tuyulma molekulyar massasi. Ideal-gaz aralashmalari bilan hisoblash ishlarini bajarishda aralashmaning tuyulma molekulyar massasi tushunchasidan foydalanish ancha qulay, bu molekulyar massa aralashma massasining komponentlari mollarining yig'indisi miqdoriga nisbatidan iborat:

$$\mu_{\text{aral}} = \frac{G_{\text{aral}}}{M_{\text{aral}}} \quad (3-39)$$

(3-20), (3-28) va (3-29) tenglamalarni hisobga olsak

$$\mu_{\text{aral}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i}} \quad (3-40)$$

va

$$\mu_{\text{aral}} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i$$

(3-41)

Aralashmaning gazaviy konstantasi.  $V_{\text{ad}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}$  hajmini egallagan ideal-gaz aralashmaning  $i$  – komponenti uchun Klayperon tenglamasi quyidagi tarzda yoziladi:

$$p_i V_{\text{ad}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}} = G_i R_i T_{\text{ad}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}$$

Bu tenglamani aralashmaning barcha  $i$  – komponentlari uchun yozib va ularning chap hamda o'ng qismlarini qo'shib quyidagini hosil qilamiz:

$$V_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n p_i = T_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n G_i R_i \quad (3-42)$$

Dalton qonuniga muvofiq  $\sum_{i=1}^n p_i = p_{\text{ad}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}\ddot{\alpha}}$ ; bundan:

$$p_{\text{aral}} \cdot V_{\text{aral}} = T_{\text{aral}} \sum_{i=1}^n G_i R_i \quad (3-43)$$

Boshqa tomondan olganda, ideal-gaz aralashmasi uchun Klayperon tenglamasi umuman quyidagi tarzda yozish mumkin:

$$p_{\text{aral}} V_{\text{aral}} = G_{\text{aral}} R_{\text{aral}} T_{\text{aral}} \quad (3-44)$$

bu yerda  $R_{\text{aral}}$  - aralashmasining gazaviy konstantasi.

(3-30) va (3-32) tenglamalardan

$$R_{\text{aral}} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i R_i}{G_{\text{aral}}} \quad (3-45)$$

kelib chiqadi.

Gazaviy konstanta

$$R_i = \frac{8314}{\mu_i}$$

bo'lganligi sababli (3-45) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$R_{\text{aral}} = 8134 \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\mu_i} \quad (3-46)$$

bundan (3-46) ni hisobga olsak, kutilganidek,

$$R_{\text{aral}} = \frac{8314}{\mu_{\text{aral}}} \quad (3-47)$$

bo'ladi.

### Nazorat savollari:

1. Asosiy termodinamik jarayonlarga izoh bering.
2.  $p$ ,  $v$  va  $T$ ,  $s$ - diagrammalarida izoxora, izobara, izoterma va adiabatarning grafik ko'rishini keltiring.
3. Asosiy jarayonlarning tenglamalarini yozing.
4. Xar bir jarayon uchun asosiy parametrlar orasidagi solishtirma tenglamalarini yozing.
5. Xar bir jarayon uchun xajm o'zgarishining solishtirma ishning formulalarini yozing.
6. Xar bir jarayon uchun foydali ishning formulalarini yozing.
7. Ideal gazning asosiy jarayonlari qanday sharoitda politropik bo'ladi?
8. Politropik tenglamasini yozing va undagi politropa ko'rsatgichi o'zgarish chegaralarini ko'rsating.
9. Asosiy jarayonlar uchun politropa ko'rsatgichining qiymatlarini ko'rsating.
10. Solishtirma entropiyaning o'zgarishini qaysi tenglamalar orqali xisoblash mumkin?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
3. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

---

## 4-ma`ruza: Termodinamikaning birinchi qonuni

### Reja:

- 4.1 Umumiy tusunchalar
- 4.2 O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun
- 4.3 O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun
- 4.4 Adiabatik jarayonlarda 1-qonun

**Tayanch so'zlar va iboralar:** xarorat, bosim, hajim, ichgi energiya, ish, issiqlik, to'g'ri va teskari jarayonlar.

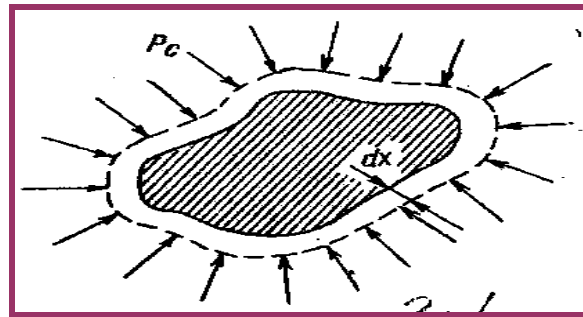
### 4.1 Umumiy tusunchalar

Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni tabiatning umumiy xarakterga ega bo'lgan fundamental qonundir. Bu qonun quyidagicha ta`riflanadi: *energiya yo'q bo'lmaydi va qaytadan paydo bo'lmaydi, u faqat turli fizikaviy hamda ximiyaviy*

jarayonlarda bir turdan boshqa turga o'tadi. Boshqacha qilib aytganda, izolyatsiyalangan har qanday sistemada (ya'ni atrofdagi muhit bilan issiqlik bilan ham, ish bilan ham, modda bilan ham, almashishmaydigan termodinamikaviy sistema) shu sistema ichidagi energiya o'zgarmasdan saqlanib turadi.

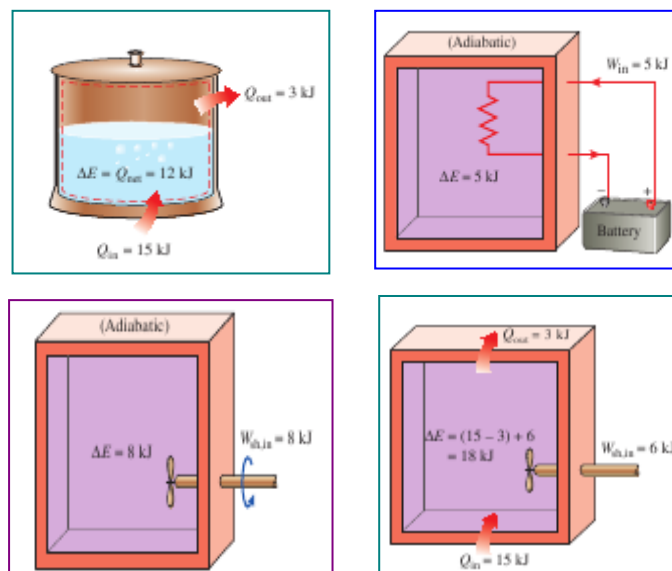
Termodinamikaning birinchi qonuni umumiy xarakterga ega ekanligini yana bir bor qayd qilib o'tish lozim.

### Ichki energiya va tashqi ish



4-1-rasm

Yuqorida jismga issiqlik berish jarayoni jismning hajmi o'zgarmasdan qoladigan holda ko'rib chiqildi. Ma'lumki, jismlar odatdagi sharoitda qizdirilganda ular kengayadi. Shuning uchun umumiy holda, jism qizdirilganda uning hajmi kattalashadi. Agar ko'rib chiqilayotgan jism bosimi  $p_m$  ga teng bo'lgan muhitga joylangan bo'lsa, jismning hajmi kattalashganda tashqi bosim  $p_i$  kuchlariga qarshi ish bajariladi. Haqiqatan ham,  $p_m$  bosimli muhit ichida bo'lgan ixtiyoriy shakldagi jism hajmi  $V$  ning kattalashish jarayonini ko'rib chiqamiz (4-1 rasm).



Jism sirtining yuzini  $F$  orqali belgilaymiz. Agar jism hajmining o'zgarishi cheksiz kichik  $dV$  deb hisoblasak, u holda hajmning kattalashishini bu jism sirtidagi har qaysi nuqtaning  $dx$  masofaga ko'chishidan iborat deb tasavvur etish mumkin.

Bosim jism sirtining birligiga normal bo'yicha ta'sir etadigan kuch bo'lganligidan jismning butun sirtiga ta'sir etuvchi kuchlarning yig'indisi  $P = p_m F$  ga teng bo'ladi.<sup>20</sup>

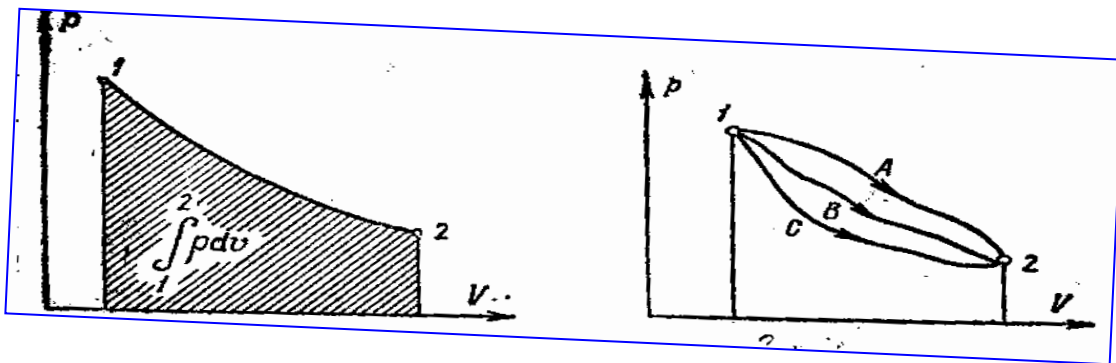
Bundan keyin biz, asosan muvozanatdagi jarayonlarni ko'rib chiqamiz. Ular uchun  $p_i = p$  tenglik to'g'ridir. Shu sababli bundan keyin alohida aytib o'tiladigan hollardan tashqari barcha hollarda kengayish ishi uchun quyidagi munosabatdan foydalanamiz:

$$dL = pdV \quad (4-1)$$

va

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} pdV, \quad (4-2)$$

bular  $p_i$  ni  $p$  ga almashtirish yo'li bilan (4-1) va (4-2) lardan hosil qilingan.



4-2-rasm,

4-3-rasm

Sistema kengayish ishining (4-2) tenglama bilan aniqlanadigan kattaligini  $p, V$  -diagramma yordamida hisoblash qulay. Sistema hajmi o'zgarish jarayonining shu diagrammada tasvirlanishini ko'rib chiqamiz (4-3-rasm). Sistema hajmi  $V_1$  dan  $V_2$  gacha o'zgaradi. Hajm o'zgaradigan jarayonda sistema o'tadigan holatlar nuqta 1 va 2 lar orasidagi jarayon egri chizig'ida joylashadi. Sistemaning kengayish ishi  $p, V$  -diagrammada jarayon egri chizig'i ostidagi yuza bilan (4-3-rasmda shtrixlangan) tasvirlanishi (4-1) tenglamadan ko'rinib turibdi.

Sistema  $V_1$  hajmga ega bo'lgan holatdan  $V_2$  xajmli holatgacha kengayganida sistema bajaradigan ishning kattaligi bu holatlarning parametrlarigagina emas, balki kengayish jarayonining qanday yo'l bilan amalga oshirilayotganligiga ham bog'liq. Haqiqatan ham 4-rasmda tasvirlangan  $p, V$  -diagrammadan ko'rinib turibdiki, kengayish jarayoni qaysi yo'ldan ( $A, B$  yoki  $C$  dan) borishiga qarab integral

$$L = \int_{V_1}^{V_2} pdV \quad (4-3)$$

ning kattaligi turlicha bo'ladi.

Shunday qilib, *kengayish ishi jarayonning funktsiyasidir.*

<sup>20</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (70)

## 4.2 O'zgarma xarorat jarayonlarda 1-qonun

Sistema faqat kengayish ishini bajaradigan xususiy holdagina  $n=1$  ga,  $y_i = p$  ga  $Y_i = V$  ekanligi muqarrardir. Agar, masalan, massasi  $G$  bo'lgan jism ko'tarilgan balandlik  $h$  o'zgarsa, ya'ni jismning potentsial energiyasi tortishish maydonida o'zgarsa, bu holda ish jismning og'irlik kuchi  $Gg$  ga qarshi bajarilishi mexanikadan ma'lum. Bu holda  $y_i = Gg$ ,  $V_i = h$  bo'ladi va (4-1) va (4-2) tenglamalarga muvofiq hamda  $G = const$  ekanligini hisobga olib, quyidagi tenglamalarga ega bo'lamiz:

$$dL = Ggdh \quad (4-4)$$

va

$$L_{1-2} = Gg(h_2 - h_1). \quad (4-5)$$

Biz bundan keyin, asosan, tashqi bosim kuchlariga qarshi faqat kengayish ishini bajaradigan sistemalarni ko'rib chiqishimiz tufayli, har qanday ish turini  $L$  simvoli bilan belgilaymiz, mustasno tariqasida kengayish ishidan boshqa har qanday ish turini esa  $L^*$  simvoli bilan belgilaymiz. U holda

$$dL = PdV + dL^* \quad (4-6)$$

va

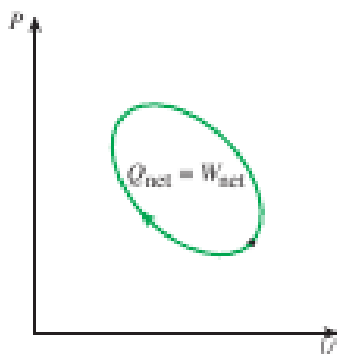
$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} PdV + L^*_{1-2} \quad (4-7)$$

(4-6) va (4-7) tenglamalar undagi moddasining massasi  $G$  ga teng bo'lgan sistema uchun yozilgan. Modda massasi birligi (1 kg, 1 g va hokazolar) uchun bajariladigan hisoblashda bu tenglamalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$dl = pdv + dl^*; \quad (4-8)$$

$$l_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} pdv + l^*_{1-2}; \quad (4-9)$$

bu yerda  $l$  - modda massasining birligiga to'g'ri keladigan ish.



Kengayish jarayonida gaz tashqi bosim kuchlariga qarshi ish 2-ma'ruzada keltirilgan edi. Gazning bosim  $p_1$  dan bosim  $p_2$  gacha kengayishida bajarilgan ishi (4-4) tenglamaga muvofiq quyidagiga teng:

$$L_{1-2}^{keng} = \int_{V_1}^{V_2} PdV, \quad (4-10)$$

bu yerda  $V_1$  va  $V_2$  - tegishli kengayish jarayonining boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi gaz hajmlari.

### 4.3 O'zgarimas bosim jarayonlarda1-qonun<sup>21</sup>

Ideal gaz uchun termodinamika birinchi qonunining tenglamasini yuqoridagi munosabatni hisobga olib quyidagicha yozish mumkin:

$$dq = c_v dT + p dv, \quad (4-11)$$

bundan izotermik jarayon uchun ( $T = const$ , ya'ni  $dT = 0$ ) quyidagini hosil qilamiz:

$$dq = p dv. \quad (4-12)$$

Klayperon tenglamasiga muvofiq ideal gaz uchun

$$p = \frac{RT}{v}$$

Bo'lganligidan (4-15) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$dq = \frac{RT}{v} dv, \quad (4-13)$$

bundan

$$q_{I-II} = RT \ln \frac{v_{II}}{v_I}; \quad (4-14)$$

bu yerda I va II indekslar tegishli boshlang'ich hamda oxirgi nuqtalariga taaluqlidir. Agar ideal gaz izotermik jarayonda kengaysa, ya'ni  $v_{II} > v_I$  bo'lsa, u holda (4-17) dan  $q_{I-II} > 0$  bo'lishi, ya'ni kengayish jarayonida gaz temperaturasi o'zgarimasdan qolishi uchun unga issiqlik berilishi kerakligi ko'rinib turibdi. Agar gaz siqilsa, ya'ni  $v_{II} < v_I$  bo'lsa, u holda  $q_{I-II} < 0$  bo'ladi.

### 4.4 Adiabatik jarayonlarda1-qonun<sup>22</sup>

Termodinamika birinchi qonunining ideal gaz uchun (4-14) tenglamasidan adiabatik jarayonda ( $dq = 0$ )

$$p dv = -c_v dT \quad (4-15)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Bu tenglamani hadma-had Klayperon tenglamasi

$$p v = RT$$

ga bo'lib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{c_v}{R} \cdot \frac{dT}{T}. \quad (4-16)$$

$$R = c_p - c_v$$

bo'lgani uchun [(4-14) tenglamaga qarang] quyidagini hosil qilamiz:

$$(k-1) \frac{dv}{v} = -\frac{dT}{T}, \quad (4-17)$$

bu yerda  $k$  bilan issiqlik sig'implari  $c_p$  va  $c_v$  ning nisbati belgilangan.

Biz issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lmaydigan ideal gazni ko'rib chiqayotganligimiz sababli kattalik  $k$  o'zgarimas bo'lib,

<sup>21</sup> Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer. 2011 (100-102)

<sup>22</sup> Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer. 2011 (103-105)



temperaturaga bog'liq bo'lmaydi. Bu holni hisobga olib (4-20) tenglamani integrallashda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\left(\frac{v_{II}}{v_I}\right)^{k-1} = \frac{T_I}{T_{II}}. \quad (4-18)$$

Hosil qilingan munosabatdan Karno siklining termik f.i.k. ini hisoblashda foydalanamiz.

Biz ko'rib chiqayotgan Karno siklida izotermik jarayonlarga tatbiqan  $q_1$  va  $q_2$  hisoblanadigan ifodalar (4-17) tenglamani hisobga olib quyidagicha yoziladi:

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}; \quad (4-19)$$

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}. \quad (4-20)$$

### Nazorat savollari:

1. Termodinamikaning birinchi qonunining asosiy tushunchalarini ayting?
2. Ideal gazning ichgi energiyasi deganda nima tushuniladi?
3. Ichki energiya holat yoki jarayon funksiyasimi?
4. Aylana jarayonda ichki energiyaning o'zgarishi nimaga teng?
5. Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini yozing.
6. Ihtiyoriy jarayonning ish tenglamasini keltirib bering.
7. Ish va issiqlik miqdori jarayonning xarakteriga bog'liqligini ko'rsating.
8. Entalpiya nima?
9. Solishtirma entalpiya yordamida termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini ko'rsating.

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

## 5-ma`ruza: Termodinamikaning ikkinchi qonuni

### Reja:

5.1. Umumiy tusunchalar

5.2. Termodinamikaning ikkinchi qonuni

**Tayanch so'zlar va iboralar:** xarorat, bosim, hajim, ichgi energiya, ish, issiqlik, to'g'ri va teskari jarayonlar, birinchi qonun, ikkinchi qonun.

### 5.1 Umumiy tusunchalar

Termodinamikaning ikkinchi qonuni umumiy ko'rinishda quyidagicha ta'riflash mumkin: o'z-o'zidan sodir bo'ladigan har qanday jarayon qaytmas jarayondir; yetarlicha aniq bo'lgan bu xulosani biz bundan oldingi ma'ruzada muhokama qilganmiz. Ikkinchi qonunning barcha boshqa ta'riflari bu umumiy ta'rifning xususiy hollaridan iborat.<sup>23</sup>

R.Klauzius (1850 yilda) termodinamikaning ikkinchi qonunini quyidagicha ta'rifladi: issiqlik ancha sovuq jismdan ancha issiq jisimga o'z-o'zidan o'ta olmaydi.

V.Tomson (lord Kelvin) 1851 yilda quyidagi ta'rifni taklif etdi: jonsiz material agent yordamida moddaning qandaydir massasidan uni atrofdagi predmetlarda eng sovuq'ining temperaturasidan past temperaturagacha sovutish yo'li bilan mexanikaviy ish olib bo'lmaydi.

M.Plank quyidagi ta'rifni taklif etdi: barcha ish bironta yukni ko'tarish va issiqlik manbaini sovutishdan iborat bo'lgan davriy ishlaydigan mashina qurib bo'lmaydi. Davriy ishlaydigan mashina deganda uzluksiz ravishda siklik jarayonda issiqlikni ishga aylantiruvchi mashinani tushunish kerak. Haqiqatan ham, agar bironata manbadan to'g'ridan-to'g'ri issiqlik olib, uni uzluksiz (siklik ravishda) ishga aylantiradigan issiqlik dvigateli qurish iloji bo'lganda edi, bu hol sistemada muvozanat holati bo'lmaganidagina (jumladan, issiqlik dvigateliga tatbiqan – sistemada issiq va sovuq manbalar temperaturasining ayirmasi bo'lganda) bu sistemaning ish bajarishi mumkinligi to'g'risida bundan oldin ta'riflangan qoidaga qarama-qarshi bo'lur edi.

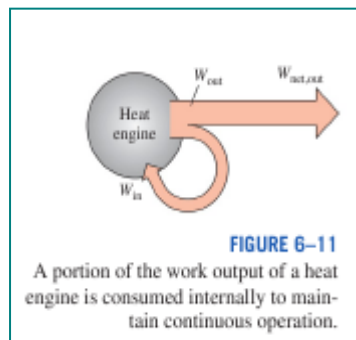
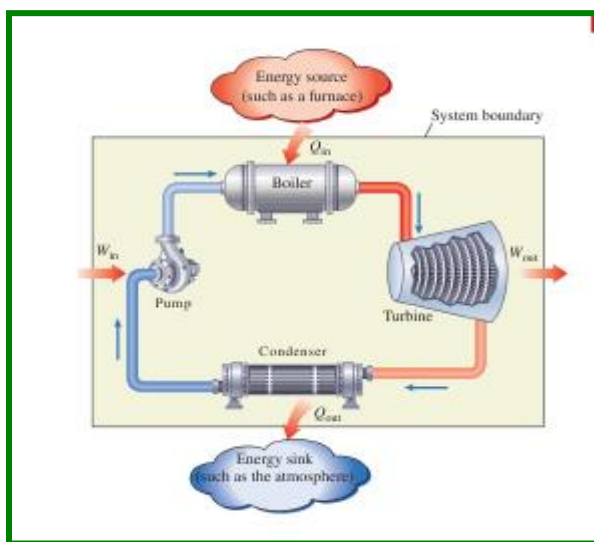
### 5.2 Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Termodinamikaning ikkinchi qonuni qo'yadigan cheklashlar mavjud bo'lmagan edi, bu hol loaqal bitta issiqlik manbai bo'lganda ham issiqlik dvigateli qurish mumkinligini bildirar edi. Bunday dvigatel, masalan, okeandagi suvning hisobiga ishlay olgan bo'lur edi. Okeanning barcha ichki energiyasi ishga aylanmagunicha bu jarayonning davom etishi mumkin bo'lardi. Shu tarzda ishlaydigan issiqlik mashinasini V.F.Osvald o'rinli qilib ikkinchi tur abadiy dvigatel (energiyaning saqlanish qonuniga qarama-qarshi o'laroq ishlaydigan birinchi tur abadiy dvigateldan farqli o'laroq) deb atadi. Aytib o'tilganlarga muvofiq termodinamika ikkinchi qonuniga Plank bergan ta'rifni quyidagicha o'zgartirib

<sup>23</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (276)

aytish mumkin: **ikkinchi tur abadiy dvigatel quriib bo'lmaydi**. Ikkinchi tur abadiy dvigatelning mavjud bo'lishi termodinamikaning birinchi qonuniga qarshi bo'lmazligini aytib o'tish kerak; haqiqatan ham, bu dvigatelda ish hech narsadan emas, balki issiqlik manbaining ichki eneriyasi hisobiga bajarilgan bo'lur edi.

Agar sistemada ixtiyoriy qaytmas<sup>24</sup> sikl amalga oshirilayotgan bo'lsa, sistemaning entropiyasi albatta o'zgaradi. Oldin ko'rsatilganidek, har qanday qaytmas siklning termik f.i.k. aynan shu issiqlik manbalarining orasida amalga oshiriladigan qaytar Karno siklining termik f.i.k.  $\eta^{K-P.K.U}$  dan har doim kichik bo'ladi.



Qaytar Karno sikli uchun

$$\eta_T^{K-P.K.U} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (5-1)$$

bo'lishi, har qanday qaytmas sikl uchun esa umumiy ta'rifga muvofiq

$$\eta_T^{K-C.U} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (5-2)$$

bo'lishini hisobga olib tengsizlik

$$\eta_T^{K-C.U} < \eta_T^{K-P.K.U} \quad (5-3)$$

ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin;

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (5-4)$$

bunday qaytmas sikl uchun

$$\frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1} \quad (5-5)$$

ekanligi kelib chiqadi (bu yerda temperaturalar ish jismiga emas, balki issiqlik manbalariga taaluqlidir). Binobarin, sistemada ikita issiqlik manbai orasida qaytmas sikl amalga oshirilsa, sistemaning entropiyasi ortadi:

$$\Delta S_{cum} > 0. \quad (5-6)$$

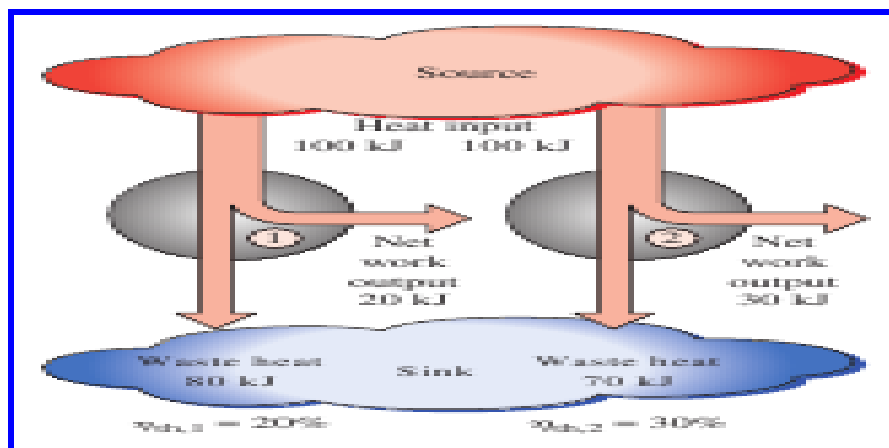
<sup>24</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (277)

Bu xulosa istalgan sondagi issiqlik manbalari orasida amalga oshiriladigan qaytmas sikllar uchun ham to'g'ridir.

Bu holatni umumiy ko'rinishda quyidagi tarzda isbotlash mumkin. Qaytmas Karno sikli uchun har qanday qaytmas sikl uchun bo'lganidek, quyidagi ravishda yozishimiz mumkin bo'lgan (5-5) tengsizlik to'g'ri bo'ladi:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} < 0,$$

yo, xuddi shuning o'zi.  $\sum \frac{Q}{T} < 0.$  (5-7)



### Nazorat savollari:

1. Aylana jarayondagi uzatilgan issiqlikning xammasini ishga aylantirish mumkinmi?
2. Termodinamikaning ikkinchi qonunining asosiy tushunchalari.
3. Issiqlikni ishga uzluksiz aylanish sharoitlarini yaratish uchun qanday shartlarga amal qilish lozim?
4. Qanday sikllar mavjud?
5. Termik F.I.K. deganda nimani tushunasiz?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

## 6- ma'ruza: Entropiya. Ekssergiya

### Reja:

- 6.1. Umumiy tusunchalar
- 6.2. O'zgarmas jarayonlarda entropiyasini aniqlash
- 6.3. Texnologik mashinalardagi jarayonlar entropiyasi
- 6.4. Ekssergiya

**Tayanch so'zlar va iboralar:** Entropiya, additivlik, ekstensiv issiqlik, to'g'ri va teskari jarayonlar, birinchi qonun, ikkinchi qonun.

### 6.1 Umumiy tusunchalar

Issiqlik jarayonlarining o'ziga xos muhim xususiyatini ta'kidlab o'tish zarur. Mexanikaviy ishni, elektrik ishni, magnitaviy kuchlarning ishi va hokozolarni qoldiqsiz, batamom to'la issiqlikka aylantirish mumkin. Issiqlikka kelsak davriy takrorlanadigan jarayonda uning bir qismigina mexanikaviy va boshqa turlardagi ishga aylanishi mumkin: uning boshqa qismi muqarrar ravishda sovuq manbaga berilishi kerak.<sup>25</sup>

#### Entropiya

Endi qaytar sikllarning ba'zi bir muhim xossalarini ko'rib chiqishga o'tamiz.

Qaytar Karno siklining f.i.k. quyidagi

$$\eta_T = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

munosabat yordamida aniqlanadi, umumiy ko'rinishda esa har qanday siklning termik f.i.k. ta'rifiga ko'ra  $\eta_T = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ .

Bunday qaytar Karno sikli uchun  $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ , (6-1)

yoki, xuddi shuning o'zi,  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$  (6-2)

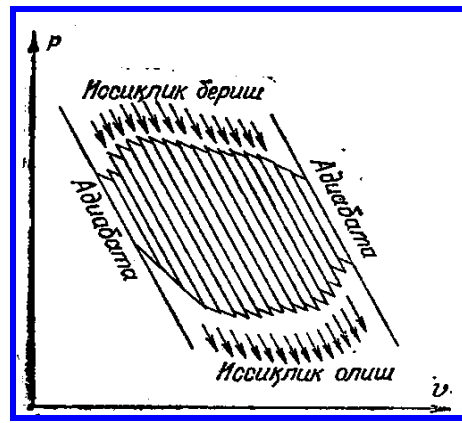
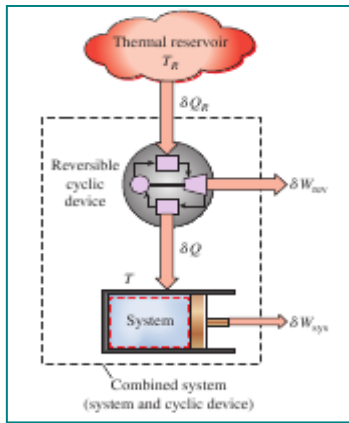
kelib chiqadi.

Bu munosabat umumiy ko'rinishda quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0. \quad (6-3)$$

Issiqlik uchun ishora tanlash shartli ekanligini eslatib o'tish lozim: masalan, to'g'ri siklda (bu siklning amalga oshirilish natijasi bajarilgan ish bo'ladi) issiqlik  $Q_2$  ish jismiga nisbatan minus ishora (issiqlik ish jismidan olinadi), issiqlikning sovuq manbaiga nisbatan esa plus ishoraga (issiqlik  $Q_2$  sovuq manbaga beriladi) ega bo'lishi kerak.

<sup>25</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (330)



6-1-rasm

Oxirgi munosabatni quyidagi ko'inishda yozish mumkin:

$$\sum \frac{Q}{T} = 0. \quad (6-4)$$

## 6.2 O'zgarmas jarayonlarda entropiyasini aniqlash

Ixtiyoriy qaytar siklni ko'rib chiqamiz. Ixtiyoriy qaytar siklni amalga oshirish uchun issiqlik manbaining soni cheksiz ko'p bo'lishi kerakligini eslatib o'tamiz. Avvalgi ma'ruzalarda ko'rsatilganidek, har qanday qaytar siklni har qaysisi o'zi  $\Delta Q_1$  issiqlik oladigan issiq manba va o'zi  $\Delta Q_2$  issiqlik beradigan sovuq manbaga bog'liq bo'lgan juda ko'p sonli elementar Karno siklidan<sup>26</sup> (6-1-rasmga qarang) iborat deb tasavvur etish mumkin. (6-3) tenglamani hisobga olib, bu elementar sikllarning har qaysisi uchun (ularning umumiy sonini  $n$  bilan belgilaymiz) quyidagini yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \text{1-sikl: } \frac{\Delta Q_1^{(1)}}{T_1^{(1)}} + \frac{\Delta Q_2^{(1)}}{T_2^{(1)}} &= 0; & \text{2-sikl: } \frac{\Delta Q_1^{(2)}}{T_1^{(2)}} + \frac{\Delta Q_2^{(2)}}{T_2^{(2)}} &= 0; \\ n\text{-sikl: } \frac{\Delta Q_1^{(n)}}{T_1^{(n)}} + \frac{\Delta Q_2^{(n)}}{T_2^{(n)}} &= 0. \end{aligned}$$

Bu munosabatlarni qo'shib quyidagini hosil qilamiz:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_1^{(i)}}{T_1^{(i)}} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_2^{(i)}}{T_2^{(i)}} = 0, \quad (6-5)$$

$$\text{yoki, (4-4) ga o'xshash } \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = 0. \quad (6-6)$$

Agar cheksiz kichik sikllar ko'riladigan bo'lsa, limitda

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q}{T} = \oint \frac{dQ}{T} \quad (6-7)$$

bo'ladi, bundan (4-6) ga muvofiq quyidagini hosil qilamiz:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (6-8)$$

<sup>26</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (331)

(6-8) tenglamaning integrali *Klauzius integrali* deb yuritiladi. (4-8) tenglama har qanday *qaytar* sikl uchun klauzius integrali nolga tengligini ko'rsatadi.

Integral ostidagi ifodaning xossasini aniqlaymiz. Integral ostidagi funktsiya uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:  $dS = \frac{dQ}{T}$ . (6-9)

U holda (6-8) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\oint dS = 0. \quad (6-10)$$

Ikkita ixtiyoriy xolat *A* va *B* orasida (6-2-rasm) qar qanday yo'l bo'yicha olingan egri chiziqli integral  $\int_{(l)} pS$  ning qiymati jarayon amalga oshirilgan yo'lga bog'liq

bo'lmasdan, faqat shu jarayon amalga oshiriladigan oxirgi holatlarga bog'liq, ya'ni

$$\int_{AaB} dS = \int_{AbB} dS = \dots = \int_A^B dS = S_B - S_A \quad (6-11)$$

bo'lishini ko'rsatish qiyin emas.

Shunday qilib, integral ostidagi *S* funktsiya ichki energiya va entalpiyaga o'xshab holat funktsiyasidan iborat ekan – uning qiymati holat parametrlari bilan bir qiymatda aniqlanadi. Avval qayd etib o'tilganidek, holat funktsiyasining diferentsiali to'la diferentsial ekanligini ham eslatib o'tamiz.

Klauzius kiritgan funktsiya *S* entropiya deb ataladi.<sup>27</sup>

### 6.3 Texnologik mashinalardagi jarayonlar entropiyasi

Entropiya ekstensiv xossa bo'lib, u ham boshqa ekstensiv kattaliklarga o'xshab additivlik xossasiga ega. Solishtirma entropiya deb ataladigan quyidagi

$$s = \frac{S}{G} \quad (6-12)$$

kattalik modda massasi birligining entropiyasidan iborat bo'ladi.

Holatning istalgan boshqa funktsiyasi kabi sistemaning solishtirma entropiyasi ham holatning istalgan ikkita parametri *x, y* uning funktsiyasi ko'rinishida tasavvur etilishi mumkin:

$$s = f(x, y), \quad (6-13)$$

bu yerda *x* va *y* sifatada *p* va *v, p* va *T* va hokazolar bo'lishi mumkin.

Modda entropiyasini boshqa termik kattaliklar yordamida hisoblab topish metodlarini keyingi ma'ruzalarda batafsil ko'rib chiqamiz.

Entropiya ta'rifidan ko'rinishicha [(6-9) tenglama], entropiya issiqlik birligining temperatura birligi bo'linmasiga teng o'lchamlikka ega. Entropiyaning o'lchov birliklaridan eng ko'p ishlatiladigani J/K, kkal/K.

Solishtirma entropiyaning o'lchov birliklari – J/(kg.K), kJ/kg.K). kkal/(kg.K) va hokazolar. Shunday qilib, entropiyaning o'lchamligi issiqlik sig'imi o'lchamligiga mos keladi. Toza modda uchun va moddalarning o'zaro ximiyaviy reaksiyaga

<sup>27</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (332)

kirmaydigan aralashmalari uchun, ichki energiyaning nol sanoq boshi ixtiyoriy tanlanganidek, entropiyaning nol sanoq boshi ham ixtiyoriy tanlanadi; turli termodinamikaviy jarayonlarni ko'rib chiqishda bizni bu jarayonlarda *entropiyaning o'zgarishi*, ya'ni jarayonning bosh va oxirgi nuqtalaridagi entropiyalar ayirmasi qiziqtiradi, tabiiyki, bu ayirma entropiyaning sanoq boshi tanlashga bog'liq bo'lmaydi.

Sistemaning entropiyasi turli qaytar jarayonlarda ortishi va kamayishi mumkinligi (6-9) munosabatda ko'rinib turibdi: temperatura kattaligi  $T$  har doim musbat bo'lganligidan, sistemaga issiqlik berilganda ( $dQ > 0$ ) uning entropiyasi ortishi, ( $dS > 0$ ) issiqlik olinganda esa ( $dQ < 0$ ) uning entropiyasini kamayishi ( $dS < 0$ ) munosabat (6-9) dan kelib chiqadi.

Qaytar jarayonda jism holati boshlang'ich holat  $I$  dan oxirgi holat  $2$  gacha o'zgarganda jism entropiyasining quyidagi

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (6-14)$$

kattalikka o'zgarishi ham (6-9) dan kelib chiqadi.

$$dQ = Gc_p dT$$

bo'lganligidan  $G$  va  $c_p$  larni integral belgisidan tashqariga chiqarib, (6-9) dan quyidagini hosil qilamiz:

$$S_2 - S_1 = Gc_p \ln \frac{T_2}{T_1},$$

yoki

$$S_2 - S_1 = 10 \cdot 4,19 \ln \frac{60 + 273,15}{20 + 273,15} = 5,40 \text{ kJ} / \text{K} (1,29 \text{ kcal} / \text{grad})$$

Bitta muhim holni alohida qayd qilib o'tish lozim. Entropiya haqidagi tushuncha qaytar sikllarni ko'rib chiqish asosida kiritilgan. Bu hol go'yo bizni qaytmas jarayonlarni analiz qilishda entropiya tushunchasidan foydalanish imkoniyatidan mahrum qiladi. Lekin entropiya holat funksiyasi ekanligini va, binobarin, uning biron-ta jarayonda o'zgarishi faqat dastlabki va oxirgi holatlar bilangina aniqlanishini esda tutish lozim.<sup>28</sup>

Entropiya tushunchasi issiqlik dvigatellarining sikllarini analiz qilish uchun juda qulay bo'lgan holat diagrammasini kiritishga imkon beradi. Holat diagrammasida abtsissa bo'yicha entropiya, ordinata bo'yicha esa absolyut temperatura qo'yiladi (6-3-rasm). Ixtiyoriy jarayon  $I - II$  ning egri chizig'ini  $T, S$  - diagrammada tasvirlaymiz.

(6-9) tenglamada qaytar jarayonda

$$dQ = TdS \quad (6-15)$$

ekanligi kelib chiqadi.

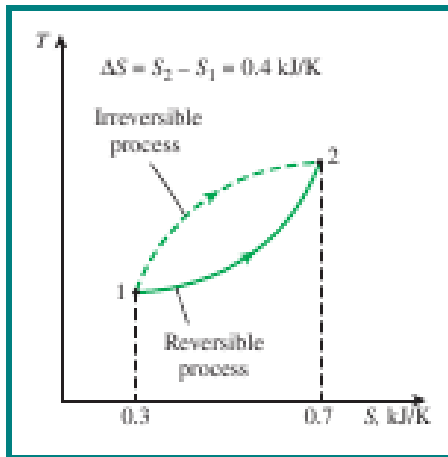
Holat  $I - II$  lar oralig'ida amalga oshiriladigan qaytar jarayonda sistemaga beriladigan (yoki undan olinadigan) issiqlik miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

<sup>28</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (333)

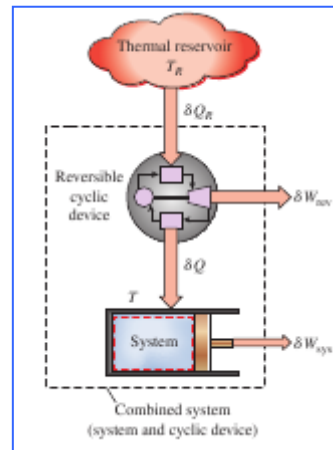


$$Q_{I-II} = \int_{S_I}^{S_{II}} T dS. \quad (6-16)$$

Ma'lumki qaytar jarayonda sistema olgan (yoki bergan) issiqlik miqdori  $T, S$  –diagrammada jarayon egri chizig'i ostidagi yuza bilan tasvirlanadi. 4-4-rasmda issiqlik dvigatelining qaytar sikli  $T, S$  – diagrammada tasvirlangan. Sikl ichida ish jismiga keltirilgan  $Q_1$  issiqlik



6-3-rasm



6-4-rasm

miqdori  $ABC$  egri chizig'i ostidagi yuza bilan, ish jismidan olingan  $Q_2$  issiqlik miqdori esa  $CDA$  egri chizig'i ostidagi yuza bilan tasvirlanadi. Siklda ish jismi bajargan  $L_v = Q_1 - Q_2$  ish berk egri chiziq  $ABCD$  bilan chegaralangan yuza bilan tasvirlanadi.

$T, S$  –diagrammaning qulayligi shundaki, siklda keltirilgan va olingan issilik miqdori ham, siklni amalga oshirish natijasida olingan ish (yoki agar sikl teskari bo'lsa, sarflangan ish) unda yaqqol tasvirlanadi.  $T, S$  – diagrammada siklning qaysi uchastkalarida ish jismiga issiqlik keltirilishi va qaysi uchastkalarda issiqlik olinishi ham ko'rinadi: issiqlikning qaytuvchan keltirish jarayoniga entropiyaning ortishi, issiqlik olish jarayoniga esa entropiyaning kamayishi mos keladi.

Izotermik jarayon  $T, S$  –diagrammada gorizontaal to'g'ri chiziq bilan ifodalanishi mumkin.

Izotermik jarayon  $I-II$  da

$$Q_{I-II} = T(S_{II} - S_I)$$

bo'lishi (6-16) dan kelib chiqadi.

Tenglama 
$$dS = \frac{dQ}{T}$$

dan qaytar adiabat jarayonda ( $dQ=0$ )  $dS=0$  (6-17)

va  $S = const$  bo'ladi. (6-18)

Shuning uchun qaytar adiabatik jarayonlar izoentropik jarayonlar deb, bu jarayon egri chizig'i esa izoentropa deb ham ataladi, izoentropa  $T, S$  – diagrammada vertikal to'g'ri chiziq bilan tasvirlanadi.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015(334)

### Qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi

Shu paytgacha biz entropiyaning faqat qaytar jarayonlardagina o'zgarishini ko'rib chiqdik. Endi qaytmas jarayonlarda sistemaning entropiyasi qanday o'zgarishi masalasiga o'tamiz.

Biz uchun eng qiziqarlisi izolyatsiyalangan sistemada sodir bo'ladigan qaytmas jarayonlarni ko'rib chiqishdir. Atrofdagi muhitdan juda yaxshi izolyatsiyalangan, qattiq (bikr) qobiqli sistema izolyatsiyalangan sistema deb ataladi. Ideal issiqlik izolyatsiyasi sistemani atrofdagi muhit bilan issiqlik almashishdan saqlaydi ( $dQ_{\text{nen}\delta} = 0$ ), qattiq qobiqli esa kengayish ishini atrofdagi muhit bilan almashishdan saqlaydi. ( $dQ_{\text{nen}\delta} = 0$ ), va  $p dV_{\text{nen}\delta} = 0$  bo'lganligidan [1] tenglamadan  $dU_{\text{nen}\delta} = 0$ , ya'ni  $U_{\text{nen}\delta} = \text{const}$  bo'lishi ko'rinib turibdi. Izolyatsiyalangan sistemada sodir bo'ladigan jarayonlarni analiz qilish yana shu narsasi bilan qiziqarlilik, izolyatsiya qilinmagan har qanday sistemani va uni o'rab olgan muhitni ma'lum bir chegarada izolyatsiyalangan bitta sistemadek fikran ko'rib chiqish mumkin.

Izolyatsiyalangan sistema uchun  $dQ_{\text{cucm}} = 0$

bo'lganligidan bunday sistemada sodir bo'ladigan har qanday jarayon butun sistema uchun adiabat jarayon hisoblanadi.

Turli  $T_1$  va  $T_2$  temperaturalarga ( $T > T_2$ ) ega bo'lgan ikkita qism (jism) dan iborat izolyatsiyalangan sistemani ko'rib chiqamiz. Sistemaning bu qismlari orasida issiqlik almashinish jarayoni sodir bo'ladi – issiqlik ancha yuqori temperatura  $T_1$  li jismdan ancha past temperatura  $T_2$  li jismga o'tadi. Agar birinchi jismdan ikkinchisiga issiqlik  $dQ$  miqdori o'tsa, u holda (6-9) ga muvofiq birinchi jismning entropiyasi  $dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$  (6-19)

kattalikka kamayadi, ikkinchi jismning entropiyasi esa  $dS_2 = \frac{dQ}{T_2}$  (6-20) kattalikka oshadi.

Butun sistema entropiyasining umumiy o'zgarishi quyidagicha bo'ladi:

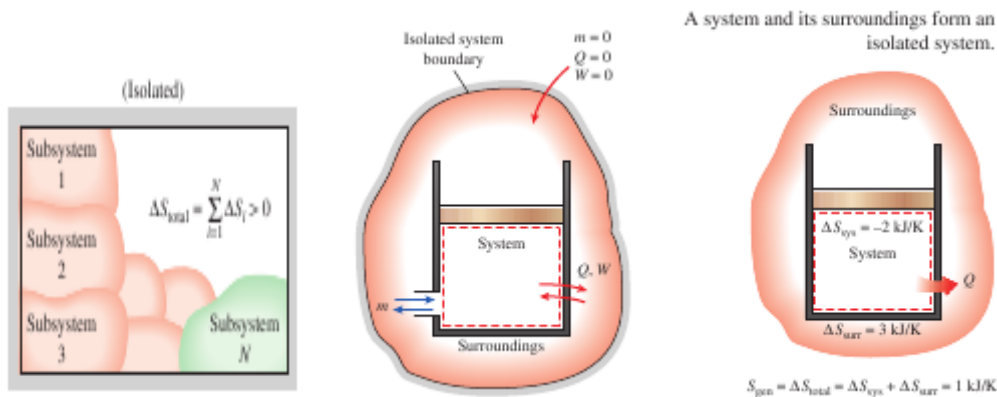
$$dS_{\text{cucm}} = dQ \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right). \quad (6-21)$$

Temperaturalar  $T_2 < T_1$  bo'lishi tufayli  $dS_{\text{cucm}} > 0$  (6-22)

bo'ladi, ya'ni qaytmas jarayon natijasida ko'rilayotgan izolyatsiyalangan sistemaning entropiyasi ortadi.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (335)



Agar sistemaning qismlari orasidagi issiqlik almashinish jarayoni qaytar o'tganda edi (bu jarayonning qaytar tarzda amalga oshirilish sharti jism temperaturalarining bir-biridan cheksiz kichik tafovut qilishi:  $T_1 - T_2 = dT$  bo'lishi ekanligini eslatamiz), u holda birinchi jism entropiyasi

$$dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$$

kattalikka kamaygan, ikkinchi jism entropiyasi esa

$$dS_2 = \frac{dQ}{T_1 - dT}$$

kattalikka ortgan bo'lur edi, umuman sistema uchun entropiyaning o'zgarishi

nazarga olinmaydigan darajada kichik bo'lardi:  $dS = dQ \left( \frac{1}{T_1 - dT} - \frac{1}{T_1} \right) \approx dQ \frac{dT}{T_1^2} \approx 0$ .

(6-23)

Ko'proq qizigan jismdan kamroq qizigan jismga o'tishni qaytar amalga oshirishning boshqa usuli, oldin eslatib o'tilganidek, qaytar Karno siklidan foydalanishdan iborat. Har qanday qaytmas siklni amalga oshirish uchun muvozanatda bo'lmagan uchta element: issiq manba, sovuq manba va ish jismidan iborat sistema bo'lishi zarur. Agar bir sikl ichida issiqlik manbadan (temperaturasi  $T_1$ ) issiqlik  $Q$  olinsa, sovuq manbaga (teiperaturasi  $T_2$ ) issiqlik  $Q_2$  berilsa, u holda

issiqlik manbaning entropiyasi  $\Delta S_{\text{исс.ман.}} = -\frac{Q_1}{T_1}$  (6-24)

kattalikka kamayadi, sovuq manbaning entropiyasi esa

$$\Delta S_{\text{сов.ман.}} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (6-25)$$

kattalikka ortdi; ish jismi entropiyasi esa siklning amalga oshirilishi natijasida ish jismi dastlabki holatiga qaytishi tufayli uning entropiyasi o'zgarmaydi, ya'ni

$$\Delta S_{\text{и.ж.}} = 0 \quad (6-26)$$

bo'ladi.

Binobarin, ko'rib chiqilayotgan butun sistema etropiyasining o'zgarishi siklning amalga oshirilishi natijasida quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta S_{\text{сист}} = \Delta S_{\text{исс.ман.}} + \Delta S_{\text{и.ж.}} + \Delta S_{\text{сов.ман.}} = \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1}. \quad (6-27)$$

Bu munosabat ikkita issiqlik manbai orasida amalga oshiriladigan har qanday qaytar va qaytmas sikllar uchun to'g'ridir.

Oldin ko'rsatib o'tilganidek, qaytar Karno sikli uchun  $\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$ .

Binobarin, agar sistemada qaytar Karno sikli (yo ikkita issiqlik manbai orasida har qanday istalgan boshqa qaytar sikl) amalga oshirilayotgan bo'lsa, u holda sistemaning entropiyasi o'zgarmaydi:  $\Delta S_{cum} = 0$ . (6-28)

Bunday xulosani istalgan sondagi issiqlik manbalari orasida amalga oshiriladigan qaytmas sikllar uchun ham chiqarish mumkin.<sup>31</sup>

### 6.4 Eksergiya<sup>32</sup>

Issiqlik ekserji

Issiqlik ekserji issiq buloqdan o'tkazilishi ish suyuqligi bilan bir harorat  $T_K$  issiqlik, maksimal bo'ladi. Bu issiqlik qachon tomonidan olinishi mumkin ish manba sovuq muhit, deb taqdim harorat  $T_{oc}$ .

Carnot davrlarini harorat oralig'i  $T$  yo'riq amalga oshirish uchun, agar maksimal ishlash olinishi mumkin Issiq manbaidir issiqlik ish suyuqligi idrok

$$q = T\Delta s = \text{misol. } s_1 - a - b - s_2 .$$

Issiqlik eksergiyasi quyidagicha xisoblanadi:

$$ex_q = l = q - T_{oc}\Delta s = \text{misol. } a - b - c - d ,$$

$$ex_q = q - T_{oc}\Delta s ,$$

Bu yerda  $T_{oc} \Delta s$ – ishga aylanib bo'lmaydigan issiqlikning qismi.

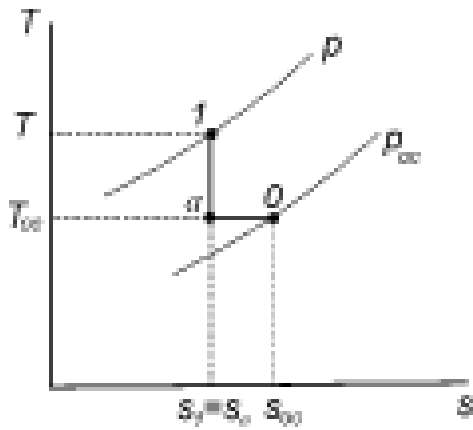
Karno sikilining termik FIK  $\eta_t = \frac{l}{q} = 1 - \frac{T_{oc}}{T}$  gat eng, bu yerdan

$$ex_q = q \left( 1 - \frac{T_{oc}}{T} \right) .$$

Issiqlik manbayi o'zgaruvchan xarorat qiymatiga ega bo'lgan holda yuqoridagi tenglamaga o'rtacha xaroratni qo'yish kerak  $T = q / \Delta s$  .

<sup>31</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (338)

<sup>32</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (421-444)



Ishchi jisim oqimining kengayish jarayoni

Demak ishchi jisimning oqim eksergiyasi<sup>33</sup>  $ex = l_{max} = l_{1-0} + l_{0-a}$ .

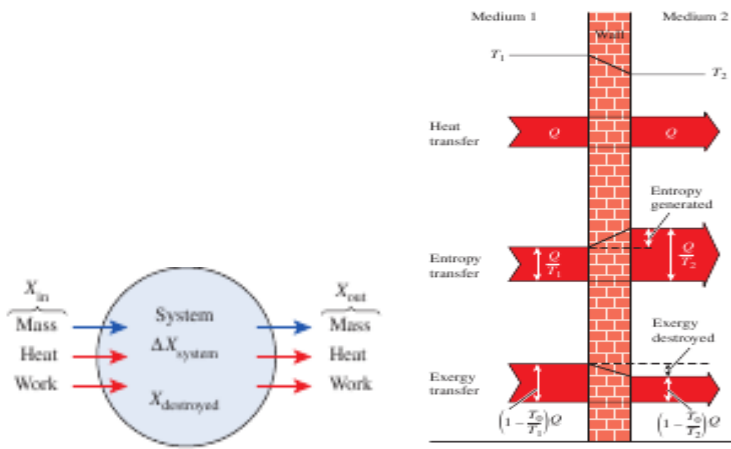
$$l_{1-0} = h_1 - h_0$$

Bu chegaralardagi ish qiymatlarini aniqlab

$$l_{0-a} = q - \Delta h = T_{0c}(s_{0c} - s_0) - (h_{0c} - h_0)$$

Shunda

$$ex = h_1 - h_{0c} - T_{0c}(s_1 - s_{0c})$$



### Nazorat savollari:

1. Entropiya so'zining manosini ayting.
2. Ekstensiv issiqlik deganda nimani tushunasiz?
3. Qaytmas jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi.
4. Qaytar jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi.
5. Eksergiya tushunchasi.
6. Eksergetik analizining sanoat rivojlanishidagi ahamiyati.

<sup>33</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (421-444)

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

3. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

4. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

### **7-mavzu: Gazli ishchi jism issiqlik dvigatellar tsikllari. Gazlarni siqish. Sovutish tsikllari.**

#### **Reja:**

1. Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni.
2. Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.
3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

**Tayanch so'zlar va iboralar:** Tsiklda bajarilgan ish . Issiqlik dvigatellari tsikli.Termodinamikaning II-qonuni. Termik F.I.K. termodinamikaviy protsess, egri chizig'i, aylanma tsikl, ish jism, issiqlik, bajarilgan ish.

#### **7.1 Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni<sup>34</sup>**

Termodinamikning birinchi qonuni gazga keltirilgan issiqlik qanday maqsadlarga sarf bo'lishini belgilaydi. Lekin u quyidagi savollarni hal qilmaydi: issiq jismdan yanada issiqroq jismga issiqlik uzatish imkoniyatini, va keltirilgan issiqlik miqdorini to'liq ishga aylantirish imkoniyatini hal qilmaydi. Bu masalalar bilan termodinamikaning ikkinchi qonuni shug'ullanadi.

Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma-ket qator jarayonlar aylanma jarayon, boshqacha aytganda tsikl deyiladi. Ideal tsikllarda jarayonlar qaytar bo'ladi va sistemaga issiqlik keltirish jarayonida ish jismining ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi deb qaraladi, hamda sistemadan issiqlik olib ketilishi jarayoni bu issiqlikni sovitgichga berish sifatida qaraladi.

Real tsikllarda esa sistemadan issiqlik olib ketilishi ishlab bo'lgan gaz yoki bug'ni chiqarib yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Ideal tsikllarda adlabatik siqilish va kengayish jarayonlarida ish jismi bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydi, real tsikllarda esa issiqlik almashinuvi bo'lishi mumkin.

---

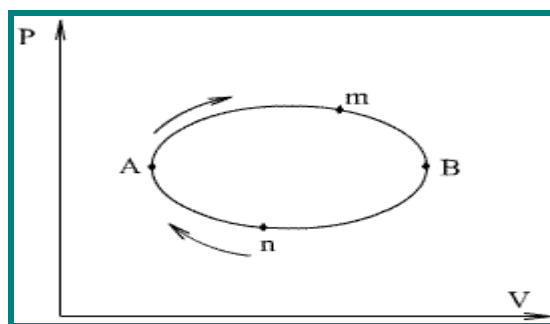
<sup>34</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (486)

7.1-rasmda tasvirlangan aylanma qaytar jarayonni ko'rib chiqamiz.

Ish jismi kengayganda ya'ni sistemaga  $Q$ , issiqlik keltirilganda  $A \rightarrow B$  va  $A$  yuzaga teng musbat ish bajarildi.

Ish jismi siqilganda tashki kuchlarning son jihatdan  $A \rightarrow B$  va  $A$  yuzaga teng manfiy ishi sarflangan.

Foydali ish olish uchun kengayish ishi siqilish ishidan katta bo'lishi kerak.



7.1-rasm. Aylanma jarayonni PV diagrammasi.

Foydali ish kengayish va siqilish ishlarining ayirmasiga teng  $L=L_1-L_2$

Termodinamikning birinchi qonuniga muvofiq  $Q_1-Q_2=U+L$  (7.1)

Aylanma jarayonda  $U = 0$  bo'ladi shuning uchun  $Q_1 - Q_2 = L$

Ishga aylangan issiqlikning aylanma tsiklni amalga oshirishga sarflangan issiqlik  $Q_1$  - ga nisbati termik f.i.k. deyiladi.

$$\eta_1 = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ yoki } \eta_1 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (7.2)$$

Agar  $A \rightarrow B$  va  $A$  egri chiziq bo'yicha yopiq tsikl olishning iloji bo'lsa, u holda bunday tsiklda issiqlik miqdori nolga teng va termik f.i.k. birga teng bo'lar edi. Lekin bunday tsiklni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki jarayon va chiziq bo'yicha absolyut nolga ( $-273 \text{ S}$ ) teng temperaturada borishi kerak edi, dvigatellarda haqiqatda buni amalga oshirib bo'lmaydi.

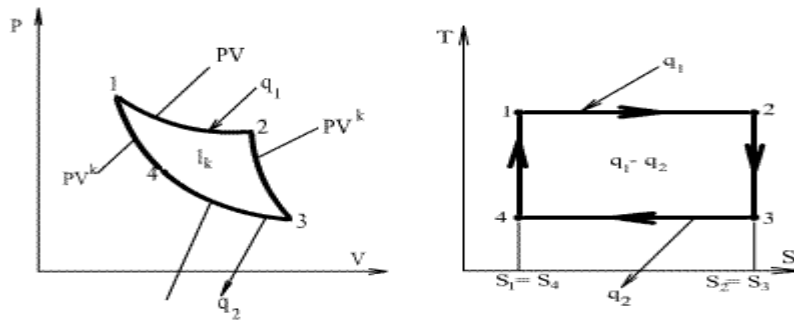
Barcha ideal tsikllar orasida 1824 yilda fransuz olimi Sadi Karno taklif etgan va uning nomi bilan atalgan tsikl - Karno tsikli eng mukammalidir.

## 7.2 Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.<sup>35</sup>

Bu tsikl 1924 yilda frantsuz dengiz ofitseri Sadi Karno tomonidan taklif qilingan Karno tsikli issiqlik dvigatellarining ideal tsikli bo'lib, 2 ta izotermik va 2 ta

<sup>35</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (488)

adiabatik jarayondan tashkil topgan. Karno tsiklining diagrammasini chizamiz:  $PV = \text{const}$ ;  $PV^k = \text{const}$



7.2-rasm Kar no tsiklining PV va TS diagrammalari

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ yoki } q_1 = T_1 (S_2 - S_1) \quad q_1 = l_{12}$$

2 нуда issiqlik manbai ajratilib, gaz adiabata bo'yicha kengayadi (7-3.  $PV^k = \text{const}$ )  $q = 0$

$$l_{23} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Adiabatik kengayishda gazning temperaturasi  $T_1$  dan  $T_2$  gacha pasayadi. 3 nuqta da sovuqlik manbai ulanadi va gaz 3 - 4 chiziq bo'yicha izotermik siqiladi  $PV = \text{const}, T_2 = \text{const}$ .

Bunda  $q_2$  issiqlik sovuqlik manbaiga beriladi

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} = -l_{34} \quad \text{yoki TS diagramma bo'yicha}$$

$$q_2 = T_2 (S_3 - S_4), \text{ КДЖ/КГ} \quad (7.3)$$

4 da sovuqlik manbai ajratiladi va gaz 4-1 adiabatik bo'yicha siqiladi bajarilgan ish

$$l_{41} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Gazning kengayishda bajarilgan ishi 2-3 va 4-1 adiabatik jarayonlarda son qiymatlari bir xil bo'lib, biri musbat ikkinchisi manfiy ya'ni ishoralari qarama-qarshi bo'lgani uchun tsiklni ishiga ta'sir qilmaydi.

Karno tsiklini termik foydali ish koeffitsientini hisoblaymiz. <sup>36</sup>

<sup>36</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (490)



$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \text{ bundan } \eta_t^k = \frac{T_2}{T_1} \quad (7.4)$$

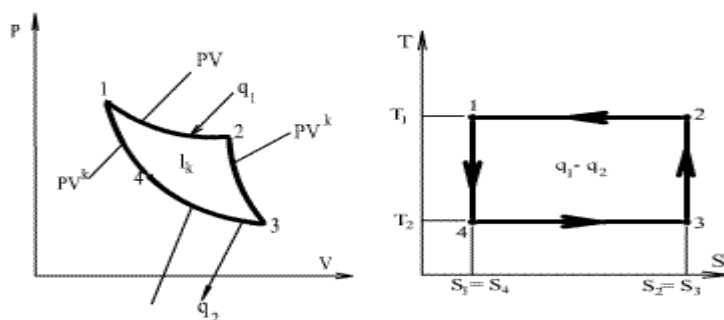
Xulosa: 1. To'g'ri qaytar Karno tsiklining termik f.i.k. gazning tabiatiga bog'liq emas.

2. Karno tsiklining f.i.k. T1 issiqlik manbai temperaturasi qancha katta bo'lsa, shunga katta bo'ladi va T2 qancha (sovuqlik manbai) kichik bo'lsa shuncha katta bo'ladi.

3. T1 va T2 - temperaturalar oralig'ida Karno tsiklining f.i.k. boshqa har qanday tsiklga nisbatan kattadir. Buni TS diagrammadan ko'rishimiz mumkin

### 7.3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

Bu tsikl sovitish mashinalarining ideal tsikli bo'lib soat strelkasiga teskari yo'nalishda kechadi. to'g'ri tsikl kabi ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan tashkil topgan.



7.3-rasm. Teskari qaytar Karpno tsiklining PV va TS diagrammalari.

Bu tsiklda 4-3 jarayon chizig'i bo'yicha issiqlik manбайдan  $q_2 = T_2(s_3 - s_4)$  issiqlik beriladi.

2-1 jarayon chizig'i bo'yicha esa manbaga issiqlik beriladi  $q_1 = T_1(s_2 - s_1)$

Karno tsiklining sovitish koeffitsientini aniqlaymiz.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(S_3 - S_4)}{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_3 - S_4)}$$

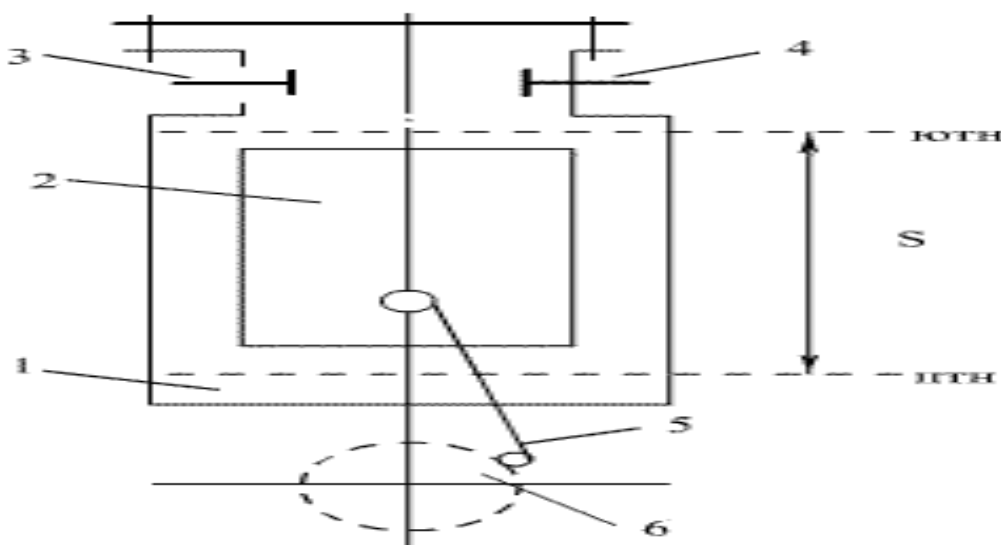
$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \varepsilon > 0 \quad (7.5)$$

Temperaturalar farqiga qarab e birdan katta, kichik va teng bo'lishi mumkin. Ko'pchilik real holda  $e > 1$ .

## Ichki yonuv dvigatellari (IYoD).

### Asosiy tushuncha va ta'riflar.<sup>37</sup>

Ichki yonuv dvigatellariga (IYoD) barcha ish jarayonlari (yoqilg'ining yonishi, issiqlik chiqishi va uning mexanikaviy ishga aylanishi) dvigatel ish tsilindrining ichida sodir bo'ladigan issiqlik dvigatellari kiradi. Bu dvigatellarda yoqilg'ining yonish mag'sulotlari ish jismi hisob lanadi. 6.1 - rasmda ichki yonuv dvigatelining sxemasi tasvirlangan. Tsilindr 1 ning kallagida kirish 3 va chiqish 4 klapanlari hamdm dvigatelning tipiga qarab, yondirish svechasi yoki yoqilg'i purkash forsunkasi joylashadi. Porshen 2 ning ilgari lanma harakati krivoship -shatunli mexanizm 5 yordamida aylanma harakatga aylanadi.



7.5 -rasm Ichki yonuv dvigatelining sxemasi.

Porshenni bir chekka holatdan ikkinchi chekka holatga siljishi takt deyiladi. Tsilindrning yuqori turish nuqta (TYuN) bilan pastki turish nuqta (PTN) orasidagi hajmni tsilindrning ish hajmi deyiladi va  $V_n$  bilan belgilanadi. Tsilindrning kalpigi bilan YuTN da turgan porshen orasidagi hajm yonish kamerasining hajmi yoki sikish kamerasi deyiladi va  $V_c$  bilan belgilanadi. Ish hajmi  $V_n$  bilan, yonish kamerasi  $V_c$  ning yig'indisi tsilindrning to'la hajmi deyiladi.

$$V_a = V_n + V_c$$

To'la hajmning yonish kamerasining hajmiga nisbatan siqish darajasi deyiladi va  $\epsilon$  bilan belgilanadi:

$$\epsilon = V_a / V_c$$

Dvigatelning tsilindrda yonilg'i eng to'liq yonishi uchun u yonish uchun zaruriy miqdordagi havo bilan yaxshi aralashgan bo'lishi lozim.

<sup>37</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (491)

Dvigatelda yondirish uchun tayyorlangan havo bilan yonilg'i aralashmasi ish aralashmasi deyiladi. Aralashma tayyorlashning ikki: tashqi va ichki usuli bor. Aralashma tashqarida tayyorlanadigan dvigatellarda yangi aralashma aralashtirgichda tayyorlanadi va siqilish darajasi past bo'ladi. Ularga karbyuratorli va gaz dvigatellari kiradi.

Aralashma ichkarida tayyorlanadigan dvigatellarda yonilg'i va havo ish tsilindriga alohida beriladi. Ular tsilindr ichida aralashib, ish aralashmasini hosil qiladi.

### **7.2.1 Aralashma tashqarida hosil bo'ladigan dvigatellar.**

Karbyuratorli dvigatellar.<sup>38</sup> To'rt taktli karbyuratorli dvigatellarning ish tsiklini ko'rib chiqamiz Birinchi takt- ish aralashmasining tsilindrga kirishi (surilishi). (12.1-rasm) Porshen 2 YuTN dan PTN ga yuqoridan pastga tomon siljiydi, bunda kirish klapani 3 ochiq, chiqish klapani 4 esa berk bo'ladi.

Porshen pastga tomon harakatlanganda tsilindr 1 da siyraklanish vujudga keladi va unga ish aralashmasi suriladi. Porshen yo'lining oxirida tsilindr ish aralashmasi bilan to'ladi va kirish klapani berqiladi.

Ikkinchi takt -ish aralashmasining siqilishi. Ikkinchi taktning oxirida aralashma elektr uchquni ta'sirida o't oladi, temperatura bosimi ko'tariladi.

Uchinchi takt- yonish mag'sulotlarining kengayishi. Ikkala klapan berk bo'ladi. Yonish mag'sulotlari kengayib, porshenni bosadi va mexanikaviy ish bajaradi, bu ish shatun 5 orqali dvigatel valiga uzatiladi.

Turtinchi takt- yonish mag'sulotlarini siqib chiqarish. Uchinchi taktning oxirida porshen PTN ga kelganda chiqarish klapani ochiladi va tsilindrning ish bo'shlig'i atmosfera bilan tutashadi. Gazning asosiy qismi ochiq klapan orqali tsilindrdan atmosferaga chiqarib yuboriladi. Porshen PTN dan YuTN ga tomon harakatlanganda qolgan yonish mag'sulotlari ham tsilindrdan atmosfera siqib chiqariladi.

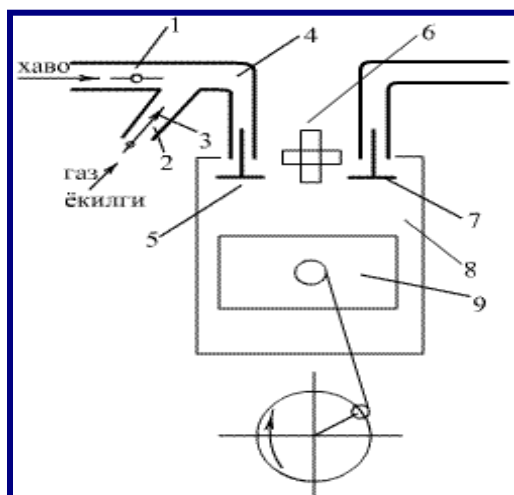
SHundan keyin yana surish boshlanadi va tsikl takrorlanadi.

Karbyuratorli dvigatellar yengil suyuq yoqilg'ida ishlaydi. Ish aralashmasi maxsus qurilmada - karbyuratorda tayyorlanadi; uning ishlash printsiipi yonilg'ining dvigatelga suriladigan va karbyurator orqali katta tezlikda o'tadigan havo oqimi ta'sirida tuzatilishiga asoslangan.

Gaz dvigatellari. Gaz dvigatellda gaz yonilg'i bilan havo trubopropaod 1 va 2 lar bo'ylab aralashtirgich 4 ga kiradi.

---

<sup>38</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (492-495)



7.6 -rasm. Gaz dvigateling sxemasi.

Ularning miqdoriy nisbati droselli zaslonkalar 3 yordamida rostlanadi. Porshen 9 pastga tomon harakatlenganda tsilindr 8 ga kirish klapani 5 orqali aralashtirgichdan ish aralashmasi suriladi. Porshen yuqoriga harakatlenganda ish aralashmasi siqiladi. YuTN yaqinida svechalar (sham) ning elektrodlari orasida paydo bo'ladigan elektr uchquni ta'sirida aralashma alanganadi. Ish yo'li o'tilgandan keyin ishlab bo'lgan gazlar klapan Z orqali atmosferaga chiqariladi.

### 7.2.2 Aralashma tsilindr ichida tayyorlanadigan dvigatellar.

Siqish darajasi yuqori bo'lgan dvigatellar, Siqish darajasi yuqori bo'lgan dvigatel tsilindriga atmosferadan toza havo beriladi. Porshen tsilindrning qopqog'i tomon harakatlenganda havoni yuqori bosimgacha siqadi. Bunda temperatura ko'tariladi.

Nasos va forsunka yordamida siqish kamerasiga tuzatilgan suyuq yoqilg'i purkaladi. U siqish kamerasidagi qizigan havo bilan aralashadi va uz - o'zidan alanganib ketadi.

### Ichki yonuv dvigatellarining ideal tsikllari<sup>39</sup>

Ichki yonuv dvigateli - issiqlik mashinasi bo'lib, unda issiqlikenergiyasini mexanik ishga aylantirish dvigatelning ishchi tsilindrda amalga oshiriladi. Ichki yonuv dvigatellarini tadqiqot qilishda mavjud dvigatellarga nisbatan quyidagi chetlanishlar qullaniladi:

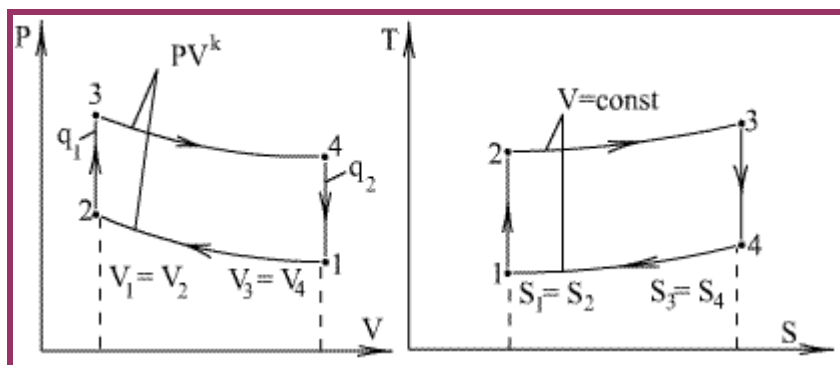
1. Ish jismi sifatida 1 kg. ideal gaz olinadi;
2. Yoqilg'ining yonish jarayoni va yonishdan hosil bo'lgan gazlarni chiqarib tashlash sistemaga issiqlik keltirish ( $q_1$ ) va sistemadan issiqlik olib ketish ( $q_2$ ) bilan

<sup>39</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (496)

almashtiriladi. Ichki yonuv dvigatellarida ish jarayonini tashqil qilish bo'yicha uchga bo'linadi.

Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiriladigan Otto tsikli. Bu qism karbyuratorli dvigatellarning ideal tsikli bo'lib, bunda siqish darajasi kam bo'lib, yoqilg'i va havo aralashmasi tsilindrdan tashqarida, karbyuratorda tayyorlanib ish tsilindrida siqiladi.

Bu tsikl 2 ta izoxoraviy ( $V = \text{const}$ ) va 2 ta adiabatik jarayondan tashqil topgan. Otto tsiklini PV va TS koordinatlarda tasvirlaymiz.



7.7- rasm. Otto tsiklini PV va TS diagrammalari tsiklni tushuntirilishi.

Porshen pastki o'lik nuqtadan yuqorigi o'lik nuqtaga qarab harakat o'zgarganda gaz 1-2 adiabatik jarayon bo'yicha siqiladi ( $PV^k = \text{const}$ )

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

siqish darajasi deyiladi. siqish darajasi bu porshen pastki o'lik nuqtada bo'lganda tsilindirning to'liq hajmini porshen yuqori o'lik nuqtada bo'lganda siqish kamerasini hajmiga nisbatiga aytiladi. Karbyuratorli ichki yonuv dvigetellari uchun  $\varepsilon < 10$ .

2-3 - izoxoraviy ( $V = \text{Const}$ )  $q_1$  issiqlik keltirish, bunda  $q_1 = c_v(T_3 - T_2)$

3-4 -- adiabatik ( $Pv^k = \text{Const}$ ,  $q = 0$ ) qismining kengayish jarayoni, bunda gaz kengayib porshenni yuqori o'lik nuqtadan pastki o'lik nuqtaga siljitib foydali ish bajaradi.

4-1 — izoxoraviy ( $V = \text{Const}$ )  $q_2$  issiqlik olib ketish jarayoni  $q_2 = c_v(T_4 - T_1)$

Tsiklni foydali ish koeffitsentini aniqlaymiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (12.1)$$

chunki  $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}$       ёки  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$

Kasrni surat maxraji tahlil qilinganda

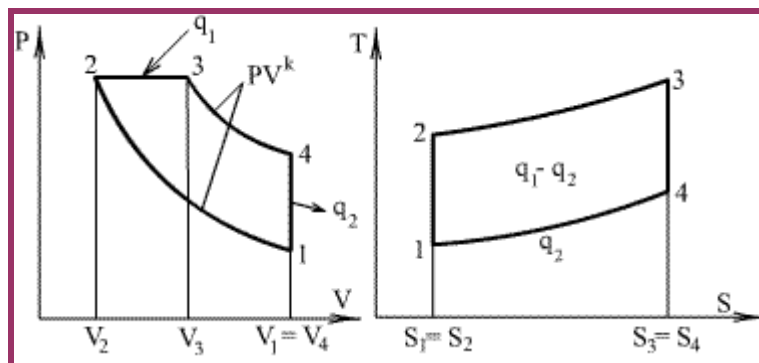
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad \text{yoki} \quad \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \eta_t^{V=\text{const}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (7.6)$$

Xulosa: 1) Ichki yonuv dvigitelining  $V = \text{const}$  bo'lganda issiqlik keltiriladigan ideal yiklining termik F I K siqish darajasi  $\varepsilon$  oshishi bilan oshadi

2) Tsiklning termik FIK gazning tabiatiga bog'liq (formulaga oqibati ko'rsatkichi  $k$  kiradi)

### 7.2.3 Bosim o'zgarmas bo'lganda issiqlik keltiriladigan Dizel tsikli.<sup>40</sup>

Bu tsikl kompressorni dizellarning, ya'ni I.yo.d. ning ideal tsikli bo'lib, unda siqish vaqtida ish tsilindrida yoqilg'i bilan havo aralashmasi emas havoning uzi siqiladi. Ish tsilindriga berilayotgan yoqilg'i maxsus kompressor yordamida changlashtirilib turiladi. Kompressor harakatni tirsakli valdan oladi. Tsikl nemets injeneri Dizel tomonidan 1896 yilda taklif qilingan.



7.7 rasm Dizel tsiklining PV va TS diagrammalari

Tsiklni tushuntirilishi:

1-2. Ish jismni adiabatik ( $PV^k = \text{const}$ ,  $q=0$ ) siqish jarayoni.

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{siqish darajasi, } \varepsilon = 14 - 21$$

2-3- izobariy ( $r=\text{const}$ ) ish jismiga  $q_1$  issiqlik keltirilishi.

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2),$$

<sup>40</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (499)

$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = \rho$  Bu nisbat ish jismning oldindan kengayish darajasi deyiladi.

S=1,35: 1,45,

3-4 ish jismining adiabatik kengayishi

4-1 izoxoraviy ( $V = \text{const}$ ) q2 issiqlik olib ketilishi

$q_2 = \nu(T_4 - T_1)$

Dizel tsiklining termik F.I.K.ni hisoblash formulasini keltirib chiqaramiz. <sup>41</sup>

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_1}{T_2} \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \quad (7.9)$$

$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho$  va  $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} = \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$  ekanligini e'tiborga olib

1 - 2 va 3 - 4 adiabatik jarayonlardan

$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$

$P_4 V_4^k = P_3 V_3^k$

$P_3 = P_2$ , va  $V_4 = V_1$  ekanligini hisobga olib, quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^k \quad \text{Bunda} \quad \frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^k = \rho^k$$

4-1 izoxoraviy jarayondan bizga ma'lum

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{P_4}{P_1} = \rho^K$$

Tengliklarni termik F.I.K.ni formulasiga qo'yib quyidagini olamiz,

$$\eta_1^{\text{dizel}} = 1 - \frac{1}{k} \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \quad (7.10)$$

Xulosa: 1. Dizel tsiklining termik F.I.K. qt gazning tabiatiga bog'liq chunki formulada K katnashyapti.

<sup>41</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (499)

2. Siqish darajasini oshishi bilan nt oshadi ( $Ye = 14- 21$ ) porshen tsilindr gruppasining ishonchliligi orqali cheklanadi.

3. Oldinda kengayish darajasi q tsiklning termik F.I.K.ga teskari ta'sir qiladi.

Hajm va bosim o'zgarmas bo'lganda aralash issiqlik keltiriladigan Trinkler tsikli

Bu tsikl 1901 yilda rus muxandisi Trinkler<sup>42</sup> tomonidan taklif qilingan va hozirgi zamon transport dizellarining ideal tsikli bo'lib, unda Dizel tsiklining energiya va metall sarfi katta bo'lgan kompressori iqtisodiy jihatdan ancha samarali bo'lgan yoqilg'i nasosi va forsunka bilan almashtiriladi. Bo'lar yoqilg'ini haydash va purkash uchun xizmat qiladi. Trinkler tsiklida ham siqish darajasi  $Ye$  Dizel tsiklidagiga taqriban tengdir ya'ni  $Ye=14-21$

Tsiklni tushuntirilishi:

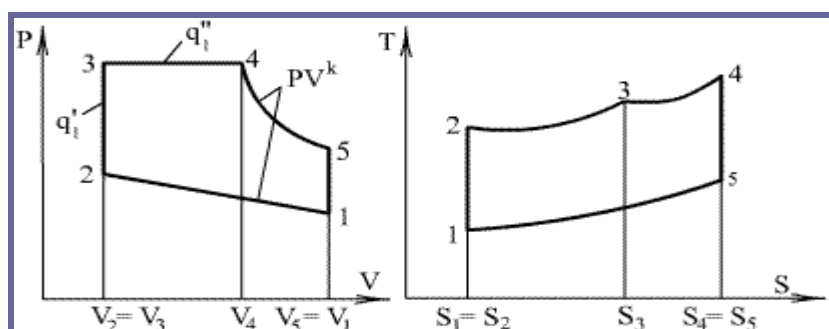
1-2 Ish jismning adiabatik siqilishi ( $Pv^k=const, q=0$ )

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 14 \dots 21 \quad \text{-siqish darajasi}$$

2-3-izoxoroviy m-n ( $V=const$ )  $q_1$ , -issiqlik keltiriladi.

$$q_1 = C_v(T_3 - T_2) \quad \lambda = \frac{P_3}{P_2} \quad \text{- bosim oshish darajasi}$$

$$\lambda = 1.35 - 1.55$$



7.8 rasm Trinkler tsiklining PV va TS diagrammasi.

3-4 izobaroviy m-n ( $r=const$ ).  $q_1$ -issiqlik keltiriladi

$$q_1 = C_p (T_4 - T_2) V_4$$

$$\rho = \frac{V_4}{V_3}$$

<sup>42</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (502)



P - dastlabki kengayish darajasi  $R= 1,3:1,4$

4-5 Ish jismining adiabatik kengayishi ( $P_{vn}=\text{const. } q=0$ )

5-1-izoxoroviy j-n, ( $V=\text{const}$ )  $q_2$ -issiqlik olib ketiladi.

$$q_2 = \nu(T_5 - T_1) \quad (7.10)$$

Tsiklning termik F.I.K. ni aniqlash formulasi quyidagicha bo'ladi.

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1^1 + q_1^2} = 1 - \frac{C_V(T_5 - T_1)}{C_V(T_3 - T_4) + C_P(T_4 - T_3)} \quad (7.11)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + K\lambda(\rho - 1)} \quad (7.12)$$

Xulosa: - bosimni oshish darajasi termik F.I.K.ga foydali ta'sir ko'rsatadi. Trinkler tsiklining termik F.I.K.ni aniqlash formulasi uchala tsikl uchun umulashtiruvchi hisoblanadi. ya'ni  $L=1$  bo'lsa,

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \text{ yoki } p=1 \text{ bo'lsa, } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \text{ bo'ladi} \quad (7.13)$$

I.yo.d.ining ideal tsikllarini iqtisodiy ko'rsatkichlarini solishtirish I.yo.dvigatellarining iqtisodiy samaradorligi siqilish darajasi hisob ga olgan holda baholanadi. Otto tsikliga nisbatan Dizel tsiklida Ye ancha katta. Keltirilgan va olib ketilgan issiqlik miqdori teng deb hisob lanadi. Shunga ko'ra Otto tsiklining termik foydali ish.K. Dizel tsiklinikidan kichik. Trinkler va Dizel tsikllarining F.I.K.lari taxminiy teng. kompressorga ketadigan harajatlarni hisob ga olganda Trinkler tsikli 2% ga samarali.

#### 7.2.4 Dvigatelning quvvati va f.i.k.

Dvigatelning bir marta to'liq tsiklida tsilindr ichida gaz bajaradigan sekundiy ish indikatoriy quvvat  $N_i$  deyiladi.<sup>43</sup>

Dvigatelning har kaysi tsilindrda hosil qilinadigan quvvati quyidagi formuladan topiladi:

$$N_i^k = \frac{\rho_i V_h 2n}{6.10^4 \pi} \quad (7.13)$$

bu yerda

$P_{Tvn}$  - dvigatelning indikatoriy ishi,

<sup>43</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH.2015 (555-577)

n - dvigatel valining aylanishlar soni

Ko'p tsilindrli oddiy dvigatelning indikatoriyl quvvati quyidagiga teng,

$$N_i = \frac{P_i V_h n z}{3.10^4 \pi} \quad (7.14)$$

bu yerda

t - dvigatel tsilindrlarining soni.

Effektiv quvvat quyidagicha aniqlanadi.

$$N_e = N_i - N_{\text{ншк}}$$

bu yerda

Nishq - ishqalanishni yengishga sarflangan quvvat

Dvigatelning indikatoriyl f.i.k. quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_i = \frac{N_i}{BQ_k^H} \quad (7.15)$$

bu yerda

V- yonilg'ining o'rtacha sarfi, kg\sek yoki m<sup>3</sup>\sek

Q<sub>k</sub>- tsiklga sarflanadigan issiqlik miqdori

Effektiv f.i.k. effektiv ishga aylantirilgan issiqlikning sarflanishi barcha issiqlikka nisbatan foydalanish darajasini ko'rsatadi:

$$\eta_e = \frac{N_e}{BQ_k^H} \quad (7.16)$$

bu yerda

N<sub>e</sub>- effektiv quvvat Effektivva indikatoriyl f.i.k. o'zaro quyidagi nisbat orqali bog'langan

$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

bu yerda

η<sub>m</sub>- mexaniqaviyl isroflarni hisobga oluvchi mexaniqaviyl f.i.k., u effektiv quvvatning indikatoriyl quvvatga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Sovo'tish qurilmasini ish unumdorligi sovo'tiladigan binoda temperatura rejimini ta'minlash uchun yetarli bo'lishi kerak. Sovo'tish kamerasi sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4 \quad (7.17)$$

bu yerda:  $Q_1$ - tashqi tushiq orqali issiqlikni oqib kirishi.

$Q_2$ - mag'sulotlarda sovo'tish vaqtida issiqlikning ajralishi,

$Q_3$ - binoni shamollatish mobaynida tashqi havo bilan issiqlikni kirishi,

$Q_4$ - har xil foydalaniladigan manbalarda issiqlikning chiqishi.

Tashqi tushiq orqali issiqlikni oqib kirishi yoki sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n k_i F_i (t_H - t_k) + Q_p \quad (7.18)$$

bu yerda:  $k_i$ - devor, pol va patalokning issiqlik uzatish koeffitsienti

$F_i$ -devor, pol va patalokning yuzasini maydoni,

$n$ -tashqi tushiq soni,

$t_H$ - tashqi havoning yoki tuprokning hisob lash temperaturalari,

$t_k$  -kamera havosining belgilangan temperaturasi.

Quyosh radiatsiyasi natijasida isiqlikni kirishi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_p = k_p F_p \Delta t_p \quad (7.19)$$

Bu yerda:  $k_p$ - quyosh nurlari ta'sirida bo'ladigan tashqi yuzani issiqlik uzatish koeffitsenti,

$F_p$ - quyosh nurlari ta'sir qiladigan polning va devorlarning maydoni,

$\Delta t_p$ - yoz paytida quyosh radiatsiyasini hisob ga oladigan ortiqcha temperatura.

Mag'sulotni sovitishga sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_2 = 0,278(Gc + GTcT)(t_1 - t_2) \quad (7.20)$$

Bu yerda:  $G$  va  $GT$ -sovuqxonaga kirayotgan mag'sulotni va idishni massasi,

$s$  va  $cT$ -mag'sulotni va idish materialining issiqlik sigimi,

$t_1$  va  $t_2$ -mag'sulotni va idishni sovitishdan oldingi va keyingi temperaturasi.

Binoni shamollatish mobaynida kiradigan tashqi havoni sovitishga sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_3 = 0,278aVpk(t_H - t_k) \quad (7.21)$$

Bu yerda:  $a$ -shamollatish karraligi,  $a=0,04 \dots 0,16$ ,

V-sovitish kamerasing hajmi, m<sup>3</sup>,

pk-kameradagi havoni zichligi,

IH-Ik-tashqi havoning va kamera havosining entalpiyasi.

**Har xil foydalaniladigan manbalardan chiqarilgan issiqlik uchun ketadigan sovuq sarfi quyidagicha aniqlanadi:**

$$Q_4 = (0,1 \dots 0,2) Q_1 \quad (7.22)$$

Sovitish qurilmasini ish sovuq ishlab chiqarish unumdorligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_p = \xi \sum Q/b \quad (7.23)$$

$\sum Q$  - umumiy suyuq sarfi,

-trubalarni ishlatishga ketadigan sovuq sarfini hisobga oladigan koeffitsenti,  $=1,05+1,07$ ;

b-sovitish mashinasining ish vaqti koeffitsenti,  $b=0,75-0,8$ .

#### **Nazorat savollari:**

1. Issiqlik mashinalarning ideal va haqiqiy termodinamik sikllar farqi nimada?
2. Ichki yonuv dvigatellarning tasniflanishi?
3. IYoD ning izoxorik issiqlik uzatilishida haqiqiy sikli p-V, T-s diagrammalarida qanday o'tadi va qanday ko'rinishga ega?

#### **Foydalangan adabiyotlar:**

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

3. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

4. Mahmoud Massoud. Engineering Thermofluids Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

## IV. AMALIY MASHG'ULOTLAR MATERIALLARI

### 1- mashg'ulot:

#### Issiqlik sig'imi. O'zgarmas bosim va o'zgarmas xajim dagi issiqlik sig'implarni aniqlash usullari.

**Ishdan maqsad:** Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi aniqlash. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi aniqlash.

**Vazifa:** Issiqlik sig'imi. Asosiy tushunchalar. Izoxor va Izobar issiqlik sig'imi aniqlash. Mayer formulasi. Aralashmalarning issiqlik sig'imi aniqlash. Solishtirma issiqlik sig'imi.

#### 1.1 Gazlarning issiqlik sig'imi

Massasi bir xil bo'lgan ikkita turli moddani bir xil temperaturagacha qizdirish uchun turli miqdorda issiqlik sarflash kerak bo'ladi. Masalan, suvni qizdirish uchun xuddi shu miqdordagi temirni o'sha temperaturaga qadar qizdirishga ketadigan issiqlikka qaraganda taxminan to'qqiz marta ko'p issiqlik sarflashga to'g'ri keladi.

Demak, har qanday jismning faqat shu jismga xos issiqlik sig'imi bo'ladi. Jismning temperaturasini bir gradusga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori jismning issiqlik sig'imi deyiladi.

Gazlar uchun issiqlik sig'imi deb  $1\text{kg}, 1\text{m}^3$ , yoki  $1\text{ kmol}$  gazni temperaturasini  $1$  grad.ga oshirish uchun sarf bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi.

Ular orasidagi boglanish quyidagicha ifodalanadi

$$C = C^1_{\rho} = \frac{M}{\mu} C^1_{\mu} \quad C^1_{\mu} = \frac{\mu}{22.4} C^1_{22.4} \quad (1.1)$$

Issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq.

Bir atomli gazlar uchun  $C = a + bt$

Ikki va ko'p atomli gazlar uchun  $C = a + bt + \frac{1}{2}t^2$

Kichik temperaturalar oralig'ida o'rtacha va haqiqiy issiqlik sig'imi tushunchalari mavjud.

O'rtacha issiqlik sig'imi quyidagicha aniqlanadi

$$C_m = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (1.2)$$

Haqiqiy issiqlik sig'imi jismga cheksiz kichik issiqlik miqdori  $dq$  va jismning temperaturasi  $dT$  qiymatga ortgan bo'lsa, quyidagicha aniqlanadi

$$C = dq/dT \quad (1.3)$$

Gazlarning issiqlik sig'imi<sup>44</sup> termodinamik jarayonlarning kechish shart sharoitlariga bog'liq. Issiqlik texnikasida o'zgarmas hajmda ( $v=\text{const}$ ) va o'zgarmas bosimda ( $p=\text{const}$ ) ,boradigan jarayonlar katta ahamiyatga ega.

Jarayon o'zgarmas hajmda borganda issiqlik sig'imi izoxoroviy deyiladi va bilan belgilanadi, o'zgarmas bosimda borganda esa izobaraviy deyiladi va bilan belgilanadi.

Gaz izoxoroviy isitilganda uning hajmi kengaymaydi. Binobarin, u tashki kuchlarga qarshi ish bajarmaydi. Gaz izobaraviy isitilganda kengayib, porshenga ta'sir etuvchi tashqi kuchni yengib o'tadi, ya'ni ish bajaradi. Demak bir gazning o'zini bir xil sharoitda bir xil temperaturagacha qizdirilganda izobaraviy jarayonda izoxoroviy jarayondagiga qaraganda ko'p issiqlik sarflash kerak bo'ladi.

Issiqlik sig'imi har xil jarayonlarda quyidagicha ifodalanadi:

$C_{pm}$ - P-const bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi, -

$C_{vm}$ - V-sonst bo'lganda o'rtacha massaviy issiqlik sig'imi,

$C^1_{pm}$ - R-const , bo'lganda o'rtacha hxajmiy issiqlik sig'imi,

$C^1_{vm}$ - V-sonst bo'lganda o'rtacha hajmiy issiqlik sig'imi,

$C_{pm}$  -r-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi

$C_{vm}$  -V-const bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi

Molyar issiqlik sig'imi gazning atomlar soniga qarab quyidagicha o'zgaradi(2.1 - jadval)

Gazning atomlar soni	$\mu C_v$	$\mu C_p$
Bir atomli gazlar uchun	12,6	20,9
Ikkiatomli gazlar uchun	20,9	29,2
Uch va undan ortiq atomligazlar uchun	29,2	37,5

Bosim o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imini hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imiga nisbati adiabata ko'rsatgichi deyiladi va quyidagicha aniqlanadi

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (1.4)$$

<sup>44</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (200-235)

O'rtacha issiqlik sig'imini hisoblash uchun, temperaturalar intervali berilganda, shu temperaturadagi moddaning issiqlik sig'imi maxsus jadvallardan olinganda, quyidagi formuladan foydalaniladi

$$C \left|_{t_2}^{t_1} = \frac{C \left|_0^{t_2} t_2 - C \left|_0^{t_1} t_1}{t_2 - t_1}; \left[ \frac{\kappa \partial \mu}{\kappa \partial \rho \partial \theta} \right]. \quad (1.5)$$

## 1.2 Gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi.

Issiqlik texnikasidagi hisoblashlarda gazlar aralashmasining issiqlik sig'imini aniqlashga to'g'ri keladi .1kg gazlar aralashmasini qizdirishga ketadigan issiqlik aralashmadagi ayrim komponentlarni qizdirishga sarflanganligi sababli aralashmaning issiqlik sig'imi aralashmani tashkil qiluvchi komponentlarning issiqlik sig'implari bilan ularning massaviy yoki hajmiy ulushlari ko'paytmasining yig'indisiga teng.

Agar aralashmaning tarkibi gazning massasi bo'yicha berilgan bo'lsa, u holda aralashmaning issiqlik sig'imi ushbu tenglikdan aniqlanadi.

$$C_{cm} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n. \quad (1.6)$$

bu yerda

$c_1, c_2, c_n$  -aralashma komponentlarining massaviy issiqlik sig'imi,

$g_1, g_2, g_n$  -aralashma komponentlarining massaviy ulushi.

Agar aralashmaning tarkibi hajmiy ulushlarda berilgan bo'lsa, u holda aralashmaning hajmiy issiqlik sig'imini quyidagi formuladan hisoblab topiladi

$$c_{cm}^1 = r_1 c_1^1 + r_2 c_2^1 + \dots + r_n c_n^1 \quad (1.7)$$

bu yerda

$r$  - aralashma komponentining hajmiy ulushi.

### Misollar.

Boshlang'ich parametrlari  $P_1=6,8\text{Mpa}$  va  $t_1=12\text{ }^\circ\text{C}$  bo'lgan  $V_1=300\text{ l}$ , hajmdagi karbonat angidrid ( $\text{CO}_2$ )  $t_2=85\text{ }^\circ\text{C}$  gacha qizdirilgan. Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdorini izoxorik va izobarik jarayonlar uchun aniqlangq

$C = \text{const}$  deb qabul qiling.

### Yechish:

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55 \text{ MPa}$$

Karbonot anhidridning massasini ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = M R T_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q_v = M C_v (t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66 (85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

b) Izobarik jarayon uchun. Bu jarayonda  $P = \text{const}$  bo'lgani uchun

$$P_2 = P_1 = 6,8 \text{ MPa}$$

Gazning miqdori ham o'zgarmaydi.

$$M = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori.

$$Q_p = M C_p (t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,86 (85 - 12) = 2380 \text{ kJ}$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{37,68}{44} = 0,86$$

### Masala № 2

Gazning temperaturasi  $t_1$  va bosimi  $R_1$  xajmi  $V$  ballonda joylashgan. Gazni sovitgandan so'ng uning xarorati  $t_2$  gacha pasaydi. Gazning massasi, sovitgandan so'ng bosimi va ajralgan issiqlik miqdorini aniqlang

1 – s = const;      2 – c=f(t) – tog'ri;      3 – s=f(t) – egri.



Parametr	Variant									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V, m^3$	0,11	0,15	0,2	0,35	0,45	0,7	0,3	0,25	0,55	0,45
$R, MPa$	1,0	0,5	0,8	1,5	2,0	0,05	0,9	1,2	2,5	2,1
$T_1, ^\circ S$	100	90	60	120	150	200	80	75	40	250
$T_2, ^\circ S$	27	20	7	17	27	25	20	15	19	10
Gaz	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	Xavo	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	H <sub>2</sub>

### Nazorat savollari:

1. Solishtirma issiqlik sig'imi deganda nima tushuniladi?
2. Massaviy, xajmiy va molyar issiqlik sig'implarga izoh bering.
3. O'rtacha issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
4. Haqiqiy issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi?
5. O'zgarmas xajim va o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi deganda nima tushunasiz?
6. Mayer tenglamasi va uning mazmuni?
7. Adiabata ko'rsatgichi k ning ma'nosi va aniqlanishi?
8. Nima uchun o'zgarmas xajimdagi solishtirma issiqlik sig'imi o'zgarmas bosimdagi solishtirma issiqlik sig'imidan kichik bo'ladi?
9. Real gazlarning haqiqiy issiqlik sig'imining temperaturaga bog'liqligi qaysi ifoda orqali o'rnatiladi?
10. O'rtacha issiqlik sig'imi qaysi tenglamalar orqali aniqlanadi?
11. Gaz aralashmaning issiqlik sig'imi va uning aniqlanishi?

### Foydalanadigan adabiyotlar:

1. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
2. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

## 2 -amaliy mashg'ulot:

### Termodinamikaning birinchi qonuni<sup>45</sup>

**Ishdan maqsad:** O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun; Entalpiya. O'rganish.

**Vazifa.** O'zgarmas xarorat jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas bosim jarayonlarda 1-qonun; O'zgarmas xajimlarda jarayonlarda 1-qonun; Entalpiya. O'rganish

#### 2.1 Sistemaning ichki energiyasi

Molekulalarning mikroskopik issiqlik harakatining kinetik energiyasi bilan ularning o'zaro ta'sir etish potentsial energiyasi jismning ichki energiyasi deyiladi.

Molekulalar harakatining kinetik energiyasi temperatura  $T$  ga bog'liq. Molekulalarning o'zaro ta'sir potentsial energiyasi hajm  $V$  ga bog'liq.

Shunga asosan

$$U = f_1(p, V) = f_2(p, T) = f_3(v, T) \quad (2.1)$$

ekanligini aniqlaymiz.

1kg gazning ichki energiyasi solishtirma ichki energiya deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$u = U/m, \text{ Дж/кг} \quad (2.2)$$

Gazning 1-2 holatlari uchun

$$\Delta u = \int_1^2 du = u_2 - u_1 \quad (2.3)$$

Aylanma qaytar jarayon uchun  $\oint du = 0$  bo'ladi.

$U = f_3(v, T)$  tenglamani differentsiallasak

$$du = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left( \frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \quad (2.4)$$

Faqat mavjud (real) gazning ichki energiyasi temperatura va hajmga bog'liq. Ideal gaz uchun esa, molekulalar orasidagi tortishish kuchi bo'lmagani uchun, gazning ichki energiyasi faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi, hajmga esa bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun

<sup>45</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (150-200)

$$\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_T = 0 \quad (2.5)$$

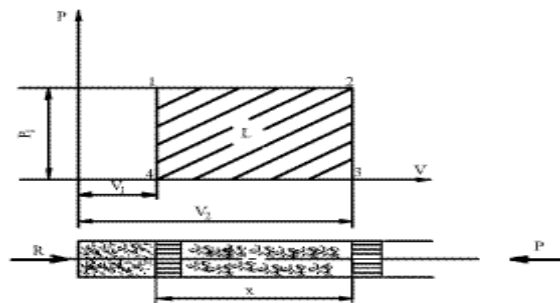
$$\text{Bundan kelib chiqadi } \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V = \frac{du}{dT} \quad (2.6)$$

$$\text{Yoki } u = \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.7)$$

bu yerda  $u_i$ - sistemaning alohida qismlarini ichki energiyasi.

Agar tsilindrda porshen ostida turgan gaz kengaysa, uning hajmi kattalashadi ( $dv$ ). Bunda gaz porshenni siljitib, mexanikaviy ish bajaradi. Bunday ish musbat hisoblanadi. Gaz siqilganda ( $dv$ ) ish gaz ustida tashqi muhit tomonidan bajariladi. Bu ish manfiy hisoblanadi.

Termodinamikaviy sistema bajargan mexanikaviy ishni hisoblab topish uchun  **$P = \text{const}$**  bo'lganda boshlang'ich holati  **$P, V, T$**  bo'lgan muvozanatda bo'lgan sistemani qarab chiqamiz. Sistemaga  $Q$  issiqlik keltiramiz (2.2-rasm), u gazning muvozanat holatini buzadi. Gaz issiqlik ta'sirida kengayib,  $P$  kuchni yengib o'tadi va porshenga  $R$  kuch bilan bosim berib uni o'ngga  $x$ -masofaga siljitadi, bunda gaz ish bajaradi.



2.2-rasm. Gazni izobaraviy kengayish ishi

Gazning nuqta 2 dagi holati  $P_2, V_2$ , va  $T$  parametrlar bilan aniqlanadi. Mexanikadan ma'lumki, ish kuchning yulga ko'paytmasiga teng. Bizning misolimizda gazning  $R$  kuch ta'sirida bajargan ishi  $L$  shu kuchning yul  $x$ -ga ko'paytmasiga teng:

$$L = R \cdot x \quad (2.8)$$

Gaz porshenni chapdan o'ngga siljitishi uchun ketgan kuch  $R$  gaz bosimi  $P$  ning porshenning yuzasi  $F$  ga ko'paytmasiga teng:

$$R = P \cdot F \quad (2.9)$$

bu yerda  $P = P_1 = P_2 = \text{const}$

(2,14) formulaga (2,15) formuladan  $R$  ning qiymatini qo'ysak

$$L = P \cdot F \cdot x \quad (2.10)$$

Lekin porshen yuzasi  $F$  ning yul  $x$  ga ko'paytmasi tsilindrning porshen boshlang'ich va oxirgi holatlari orasidagi hajmidir:

$$F \cdot x = V_2 - V_1 = \delta V \quad (2.11)$$

(2.11) formulaga tsilindrning hajmi'ni qo'yib, gazning kengayganda bajarigan ishining qiymatini aniqlaymiz:

$$L = P(V_2 - V_1) \text{ yoki } L = P\delta V \quad (2.12)$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, gazning hajmi o'zgarganida ish bajariladi, bu ish gaz bosimining uning hajmi o'zgarishiga ko'aytmasiga teng.

PV diagrammada  $P = \text{const}$  bo'lganda jarayonni borish chizig'i 1-2 abstsissalar o'qga parallel bo'ladi. To'g'ri to'rtburchak 1234 ning yuzi PV-diagrammada gazning kengayish ishini ko'rsatadi.

Hajm o'zgarishi bilan bosim ham o'zgaradigan termodinamik jarayonda (3.3-rasm) gazning kengayishida bajarigan ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$dL = PdV \quad (2.13)$$

$m$  kg gazning 1-2 jaraenda bajarigan to'la ishi elementar ishlarning yig'indisi bilan aniqlanadi. Bu yig'indi boshlang'ich hajm dan oxirgi hajm gacha chegarada olingan muayyan integralga teng:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.14)$$

kengayish ishini 1kg gazga taalluqli desak,

$$dl = p dv \quad (2.15)$$

$$\text{yoki } l = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (2.16)$$

Termodinamikaviy jarayonda issiqlik miqdori sistemaga keltirilgan yoki sistemadan olib ketilgan issiqlik energiyasining o'lchovi hisblanadi.

## 2.2 Entalpiya va entropiya

Entalpiya texnikaviy termodinamikaning eng muhim funktsiyalaridan biri hisoblanadi. Termodinamikada va issiqlik texnikasida hisoblashlarda ko'pincha sistemaning ichki energiyasi va bosimni hajmga ko'paytmasini yig'indisi ishlatiladi va bu kattalik entalpiya deb ataladi .

$$h = u + pv \quad (2.17)$$

jaormulaga kiruvchi kattaliklar gaz holatini xarakterlovchi kattaliklar bo'lgani uchun entalpiya ham gaz holatini xarakterlovchi kattalikdir. Bundan entalpiyani o'zgarishi jarayonning kechish xarakteriga bog'liq emas va faqat jarayonning boshlang'ich va oxirgi holatlarining o'zgarishi bilan xarakterlanadi degan xulosa kelib chiqadi, ya'ni

$$\Delta h = \int_1^2 dh = h_2 - h_1 \quad (2.18)$$

Agar entalpiyani aniqlovchi (2.10) formulani differentsiallasak

$$dh = d(u + pv) = du + pdv + vdp = dq = vdp \quad (2.19)$$

bu formula termodinamikaning birinchi qonunini formulasini boshqacha ko'rinishidir.

Agar ish jismining holatini o'zgarish jarayoni  $p = \text{const}$  bo'lganda kechsa, () tenglikdan  $dh = dq$  hosil bo'ladi.

Ushbu jarayon uchun ekanligini hisobga olib  $dh = cdT$  ni hosil qilamiz.

Bu tenglik har qanday termodinamik jarayon uchun o'rinalidir. Agar  $t=0$  bo'lsa entalpiyaning qiymati ham nolga teng bo'ladi.

Entropiya. Termodinamik hisoblashlarni osonlashtirish maqsadida entropiya tushunchasi kiritilgan va quyidagicha aniqlanadi

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \quad (2.20)$$

bu yerda

T - termodinamik temperatura,

S - entropiya.

Ish jismi 1kg bo'lganda

$$ds = \frac{\delta q}{T} \quad (2.21)$$

bo'ladi

va bu solishtirma entropiya deb ataladi.

Entropiyaning o'zgarishi

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = c_v dT + PdV \quad (2.22)$$

Bu tenglamani ikkala qismini T ga bo'lsak

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dv$$

$$\frac{Klapeyron \text{ tenglamasiga ko'ra } PV}{RT} = \frac{P}{T} = \frac{R}{v} \quad (2.23)$$

(2.22)ni (2.23) ga qo'yib

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \quad (2.24)$$

hosil qilamiz.

$dq/t=ds$  ekanlini e'tiborga olib, integrallasak,

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.25)$$

Entropiya ham solishtirma issiqlik sig'imi kabi J.(kg.grad) lprda o'lchanadi.

### 2.3 Termodinamikaning birinchi qonuni

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish qonunining xususiy holdir.

Sistemaga keltirilgan barcha issiqlik sistema ichki energiyasining o'zgarishiga va tashqi ish bajarishga sarflanadi:

$$Q = U_2 - U_1 + L \quad (2.24)$$

bu yerda

Q- sistemaga keltirilgan issiqlik

U1- jarayonning boshlanishidagi sistemaning ichki energiyasi,

U2- jarayonning oxiridagi sistemaning ichki energiyasi,

L- sistema bajargan ish.

Agar birinchi qonunni formulasini differentsial shaklda ifodalasak va gaz bajargan ishni 1kg gaz uchun taalluqli desak,u holda (3.15) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$dq = du + dl \quad (2.25)$$

(2.22) va (2.25) tengliklardan

$$dq = du + PdV \quad (2.26)$$

hosil bo'ladi.

Agar  $PV = RT$ , va  $s = dq/dT$  dan foydalansak

$$c = \frac{du}{dT} + \frac{pdv}{dt} \quad (2.27)$$

bundan  $V = \text{const}$  bo'lganda  $pdq/dT = 0$  ekanligini e'tiborga olsak,

$$c = du/dt \quad \text{ёки} \quad du = c dT \quad (2.28)$$

ekanligini aniqlaymiz.

Agar  $P = \text{const}$  bo'lganda ekanligini e'tiborga olib va Klapeyron tenglamasidan foydalanib  $PV = RT$  differentsiallasak

$$PdV = RdT, \quad \text{bundan} \quad R = \frac{pdv}{dT} \quad (2.29)$$

(2.20) va (2.21) tengliklardan foydalanib quyidagi, bosimi o'zgarish jarayondagi issiqlik sig'imi bilan, hajmi o'zgarish jarayondagi issiqlik sig'imi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz:

$$c_p = c_v + R \quad (2.30)$$

Bu formula Mayer formulasi deyiladi.

2.5. Entropiyaning o'zgarishi.

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = c dT + PdV \quad (2.39)$$

Bu tenglamani ikkala qismini  $T$  ga bo'lsak

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} dv \quad (2.40)$$

$$\text{Klapeyron tenglamasiga ko'ra } \frac{p}{T} = \frac{R}{v} \quad (2.41)$$

$$PV = RT$$

(2.19) ni (2.18) ga qo'yib

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} \quad \text{hosil qilamiz.} \quad (2.42)$$

$dq/T = d$ sekanligini e'tiborga olib, integrallasak,

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.43)$$

Entropiya ham solishtirma issiqlik sig'imi kabi J/(kg.grad) larda o'lchanadi.

2.4. Entalpiyaning o'zgarishi.

Termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasidan

$$dq = du + PdV \quad (2.44)$$

(2.40) ni integrallasak

$$q = u_2 - u_1 + \int_1^2 p dv \quad pdv = d(pv) - vdp \quad (2.45)$$

bo'lgani uchun  $dq = du + d(pv) - vdp \quad (2.46)$

yoki  $dq = d(u + pv) - vdp$

$i = u + PV$  bo'lgani uchun

$$dq = di - VdP \quad (2.47)$$

Bu ifoda termodinamikaning birinchi qonunini boshqacha ko'rinishidir.

$P = \text{const}$  bo'lganda  $VdP = 0$  bo'ladi.

SHunda  $dq = di$  yoki  $dq = i_2 - i_1$

ya'ni  $dq_{p=\text{const}} = i_2 - i_1 \quad (2.48)$

Bundan o'zgarmas bosimdagi jarayonda beriladigan issiqlik miqdorini entalpiyalarini ayirmasi sifatida topish mumkin degan xulosa kelib chiqadi

Misollar.

## 2.1 Masala

$P_1 = 1$  MPa bosimdagi va  $t_1 = 30$  °C haroratdagi gaz doimiy hajimda va  $t_2 = 300$  °C gacha qizdiriladi. Gazning oxirgi bosimini toping.



Izoxor jarayoni bo'lgani uchun P va T orasidagi bog'lanish:  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ;

$$\frac{1}{P_2} = \frac{303}{573};$$

$$p_2 = \frac{573}{303} = 1,891 \text{MPa}$$

## 2.2 Masala

$V = 0,6 \text{ m}^3$  hajmli yopiq idishda 4,75 kg havo bor, uning bosimi  $P_1 = 0,8$  va harorati  $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  teng.

Havo  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  gacha sovutilgandan so'ng uning bosimini va solishtirma hajmini aniqlang.  $V = \text{const}$  bo'lgani uchun

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$T_1 = 273 + 15 = 298 \text{K};$$

$$T_2 = 273 \text{K}.$$

$$\text{Bundan: } P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,8 \cdot 273}{298} = 0,73 \text{MPa}$$

$$P_2 V_2 = mRT_2$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = \frac{4,75 \cdot 287 \cdot 273}{0,73 \cdot 10^6} = 0,51 \text{ m}^3$$

$$R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

## 2.3 Masala

Boshlang'ich parametrlari  $P_1 = 6,8 \text{MPa}$  va  $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$  bo'lgan  $V_1 = 300 \text{ l}$ , hajmdagi karbonat anhidrid ( $\text{CO}_2$ )  $t_2 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$  gacha qizdirilgan. Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdorini izoxorik va izobarik jarayonlar uchun aniqlang.

$C = \text{const}$  deb qabul qiling.

### Yechish:

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55 \text{MPa}$$

Karbonot anhidridning massasini ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = MRT_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38 \text{kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q_v = MC_v(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66(85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

b) Izobarik jarayon uchun. Bu jarayonda  $P = \text{const}$  bo'lgani uchun

$$P_2 = P_1 = 6,8 \text{ MPa}$$

Gazning miqdori ham o'zgarmaydi.

$$M = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori.

$$Q_p = MC_p(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,86(85 - 12) = 2380 \text{ kJ}$$

$$C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{37,68}{44} = 0,86$$

## 2.4 Masala

Massasi  $M = 115 \text{ kg}$ , boshlang'ich parametrlari  $P_1 = 3,7 \text{ MPa}$  va  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  bo'lgan vodorod  $P_2 = 0,25 \text{ MPa}$  gacha kengaygan.

Izotermik va adiabatik kengayish jarayonlari uchun vodorodning oxirgi parametrlarini, issiqlik miqdorini, bajarilgan ishni va ichki energiyaning o'zgarishini aniqlang.

### Yechish

a) Izotermik jarayon uchun. Bu jarayonda  $T = \text{const}$  bo'lgani uchun

$$t_2 = t_1 = 50^\circ\text{C}$$

Ideal gazlarning tenglamasidan vodorodning keyingi hajmini aniqlaymiz.

$$V_2 = \frac{MPT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 323}{0,25 \cdot 10^6} = 617 \text{ m}^3$$

Vodorodni qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdori

$$Q = MRT_2 \ln \frac{P_1}{P_2} = 115 \cdot 4157 \cdot 323 \ln \frac{3,7}{0,25} = 42,7 \cdot 10^7 = 427 \text{ MJ}$$

Bajarilgan ish:  $R = Q = 427 \text{ MJ}$

Izotermik jarayonda  $T_1 = T_2$  bo'lgani uchun ichki energiyaning o'zgarishi

$$\Delta U = C_v(T_2 - T_1) = 0$$

b) Adiabatik jarayon uchun

Vodorodning keyingi harorati.

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 323 \left( \frac{0,25}{3,7} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 150K$$

Hajmi  $V_2 = \frac{MPT_2}{P_2} = \frac{115 \cdot 4157 \cdot 150}{0,25 \cdot 10^6} = 287m^3$

Adiabatik jarayonda  $Q=0$

Ichki energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta U = -l = -\frac{MR}{K-1}(T_1 - T_2) = \frac{115 \cdot 4157}{1,4-1}(323 - 150) = -20,8 \cdot 10^7 = 208mj$$

## 2.5 Masala

Harorati  $t_1=24$  °C massasi  $M=1$ kg havo poletropik jarayonda holat o'zgarishi natijasida bosimi  $P_2=2,4$ MPa va ichki energiyasining o'zgarishi  $\Delta U = 30$ kJ/kg ga teng bo'ladi. Bunda  $l=-52$  kJ/kg miqdorida ish sarflanadi.

SHu jarayon uchun politropik ko'rsatkichini havoning avvalgi va keyingi parametrlarini entropiya va entalpiyalarini aniqlang.

### Yechish:

Ichki energiya o'zgarish tenglamasidan.

$$\Delta U = C_v(T_2 - T_1)$$

Jarayon oxiridagi havoning haroratini topamiz.

$$T_2 = \frac{\Delta U}{C_v} + T_1 = \frac{30}{0,72} + 297 = 339K$$

Bu yerda  $C_v = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{20,93}{29} = 0,72$ kJ/kg °C

$\mu C_v = 20,93$  (ilova jadval)

Ish tenglamasidan  $L = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$

Politropik ko'rsatkichini aniqlaymiz.

$$n = \frac{R}{l}(T_1 - T_2) + 1 = \frac{0,287}{-52}(297 - 339) + 1 = 1,23$$

Bu yerda  $R = \frac{8314}{\mu} = \frac{8314}{29} = 287$  j/kg · ε

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} = \frac{P_2}{P_1}; \quad P_1 = \frac{P_2}{\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}} = \frac{2,4}{\left(\frac{339}{297}\right)^{\frac{1,23}{1,23-1}}} = 1,2 \text{ MPa}$$

Havoning avvalgi solishtirma hajmi:

$$U_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 297}{1,2 \cdot 10^6} = 0,081 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Keyingi solishtirma hajmi:

$$\Delta S = C_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1} = 0,72 \frac{1,23-1,4}{1,23-1} \ln \frac{339}{297} = -0,07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Politropik jarayonida entropiyaning o'zgarishi.

$$U_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 339}{2,4 \cdot 10^6} = 0,041 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Entalpiyaning o'zgarishi

$$\Delta h = C_p (T_2 - T_1) = 1,01 \cdot (339 - 297) = 42,5 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Bu yerda  $C_p = \frac{\mu C_p}{\mu} = \frac{29,31}{29} = 1,01 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\mu C_p = 29,31 \text{ (ilova jadvali)}$$

Topshiriqlar.

Massasi  $M$  va boshlang'ich parametrlari  $t_1$  i  $P_1$  v politropik jarayonida kengayish (siqilish) natijasida  $P_2$  bosimigacha kengaydi (siqildi). Jarayonning politropa ko'rsatgichi  $n$ . Xavo  $P_2 = \text{const}$   $Q$  issiqlik miqdori bilan isitiluyapti (sovitiluyapti). Xavoning politropik va izobarik jarayonlarida oxirgi xolat parametrlarini, xar bir jarayondagi issiqlik miqdorini, bajarilgan (sarflangan) ish va ichgi energiyaning o'zgarishini aniqlang.

Variant	$P_1$ , MPa	$P_2$ , MPa	$n$	$M$ , kg	$T_1$ , °S	$Q$ , kJ
1	25	0,2	1,28	20	27	7500
2	1,05	4,0	1,25	30	150	-4000
3	0,2	5,0	1,24	35	100	-5000
4	3,0	0,5	1,32	45	120	2000
5	0,3	0,1	1,2	50	110	6000

6	0,8	0,1	1,25	25	12	-7000
7	1,2	1,3	1,3	10	10	4500
8	0,15	3,0	1,25	25	37	3000
9	1,5	0,2	1,2	15	57	2500
10	0,1	5,0	1,3	10	17	4000

### **Nazorat savollari:**

1. Termodinamikaning birinchi qonunining asosiy tushunchalarini ayting?
2. Ideal gazning ichgi energiyasi deganda nima tushuniladi?
3. Ichki energiya holat yoki jarayon funksiyasimi?
4. Aylana jarayonda ichki energiyaning o'zgarishi nimaga teng?
5. Termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini yozing.
6. Ihtiyoriy jarayonning ish tenglamasini keltirib bering.
7. Ish va issiqlik miqdori jarayonning xarakteriga bog'liqligini ko'rsating.
8. Entalpiya nima?
9. Solishtirma entalpiya yordamida termodinamikaning birinchi qonunining analitik ifodasini ko'rsating.

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:.. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

### 3-amaliy mashg'ulot:

#### Termodinamikaning ikkinchi qonuni.

**Ishdan maqsad:** Termodinamik jarayonlarida ikkinchi qonuni qo'llash.

##### 3.1. Issiqlik dvigatelining aylanma jarayoni.<sup>46</sup>

Termodinamikaning birinchi qonuni gazga keltirilgan issiqlik qanday maqsadlarga sarf bo'lishini belgilaydi. Lekin u quyidagi savollarni hal qilmaydi: issiq jismdan yanada issiqroq jismga issiqlik uzatish imkoniyatini, va keltirilgan issiqlik miqdorini to'liq ishga aylantirish imkoniyatini hal qilmaydi. Bu masalalar bilan termodinamikaning ikkinchi qonuni shug'ullanadi.

Jism bir qancha o'zgarishlarga uchrab, yana boshlang'ich holatiga qaytib keladigan ketma-ket qator jarayonlar aylanma jarayon, boshqacha aytganda tsikl deyiladi. Ideal tsikllarda jarayonlar qaytar bo'ladi va sistemaga issiqlik keltirish jarayonida ish jismining ximiyaviy tarkibi o'zgarmaydi deb qaraladi, hamda sistemadan issiqlik olib ketilishi jarayoni bu issiqlikni sovitgichga berish sifatida qaraladi.

Real tsikllarda esa sistemadan issiqlik olib ketilishi ishlab bo'lgan gaz yoki bug'ni chiqarib yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

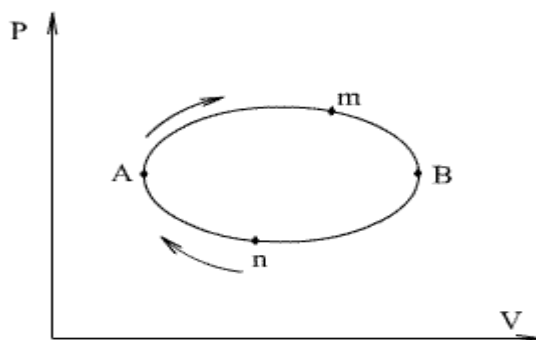
Ideal tsikllarda adlabatik siqilish va kengayish jarayonlarida ish jismi bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashinuvi bo'lmaydi, real tsikllarda esa issiqlik almashinuvi bo'lishi mumkin.

3.1-rasmda tasvirlangan aylanma qaytar jarayonni ko'rib chiqamiz.

Ish jismi kengayganda ya'ni sistemaga  $Q$ , issiqlik keltirilganda  $A_{mB}$  va  $A$  yuzaga teng musbat ish bajarildi.

Ish jismi siqilganda tashki kuchlarning son jihatdan  $A_{nB}$  va  $A$  yuza teng manfiy ishi sarflangan.

Foydali ish olish uchun kengayish ishi siqilish ishidan katta bo'lishi kerak.



3.1-rasm. Aylanma jarayonni PV diagrammasi.

Foydali ish kengayish va siqilish ishlarining ayirmasiga teng  $L=L_1-L_2$

<sup>46</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (276-329)

Termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq  $Q_1 - Q_2 = U + L$  (3.1)

Aylanma jarayonda  $U = 0$  bo'ladi shuning uchun  $Q_1 - Q_2 = L$

Ishga aylangan issiqlikning aylanma tsiklni amalga oshirishga sarflangan issiqlik  $Q_1$  - ga nisbati termik f.i.k. deyiladi.

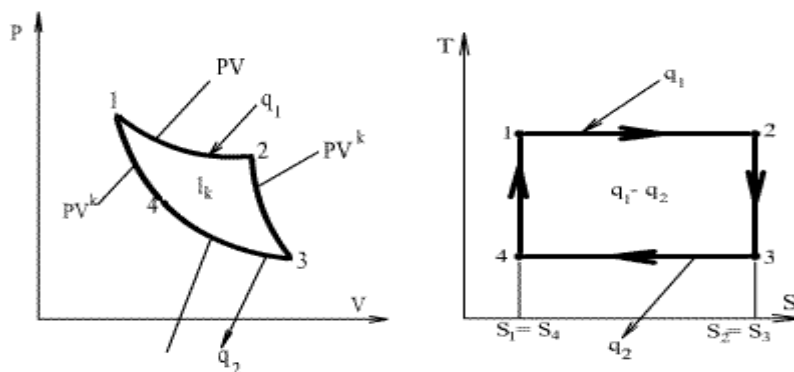
$$\eta_1 = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \text{ yoki } \eta_1 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (3.2)$$

Agar  $A \rightarrow B$  va  $B \rightarrow A$  egri chiziq bo'yicha yopiq tsikl olishning iloji bo'lsa, u holda bunday tsiklda issiqlik miqdori nolga teng va termik f.i.k. birga teng bo'lar edi. Lekin bunday tsiklni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki jarayon va chiziq bo'yicha absolyut nolga ( $-273 \text{ S}$ ) teng temperaturada borishi kerak edi, dvigatellarda haqiqatda buni amalga oshirib bo'lmaydi.

Barcha ideal tsikllar orasida 1824 yilda fransuz olimi Sadi Karno taklif etgan va uning nomi bilan atalgan tsikl - Karno tsikli eng mukammalidir.

### 3.2. Karnoning to'g'ri qaytar tsikli.

Bu tsikl 1924 yilda frantsuz dengiz ofitseri Sadi Karno tomonidan taklif qilingan Karno tsikli issiqlik dvigatellarining ideal tsikli bo'lib, 2 ta izotermik va 2 ta adiabatik jarayondan tashkil topgan. Karno tsiklining diagrammasini chizamiz:  $PV = \text{const}$ ;  $PV^k = \text{const}$



3.2-rasm Kar no tsiklining PV va TS diagrammalari

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ yoki } q_1 = T_1 (S_2 - S_1) \quad q_1 = l_{12}$$

2 нуда issiqlik manbai ajratilib, gaz adiabatada bo'yicha kengayadi (2-3.  $PV^k = \text{const}$ )  $q = 0$

$$l_{23} = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)$$

Adiabatik kengayishda gazning temperaturasi  $T_1$  dan  $T_2$  gacha pasayadi. 3 nuqta da sovuqlik manbai ulanadi va gaz 3 - 4 chiziq bo'yicha izotermik siqiladi  $PV=const, T_2=const$ . Bunda  $q_2$  issiqlik sovuqlik manbaiga beriladi

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} = -l_{34} \quad \text{yoki TS diagramma bo'yicha}$$

$$q_2 = T_2(s_3 - s_4), \text{кДж/кг} \quad (3.3)$$

4 da sovuqlik manbai ajratiladi va gaz 4-1 adiabatik bo'yicha siqiladi bajarilgan ish

$$l_{41} = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2)$$

Gazning kengayishda bajargan ishi 2-3 va 4-1 adiabatik jarayonlarda son qiymatlari bir xil bo'lib, biri musbat ikkinchisi manfiy ya'ni ishoralari qarama-qarshi bo'lgani uchun tsiklni ishiga ta'sir qilmaydi.

Karno tsiklini termik foydali ish koeffitsientini hisoblaymiz.

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \quad \text{bundan } \eta_t^k = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.4)$$

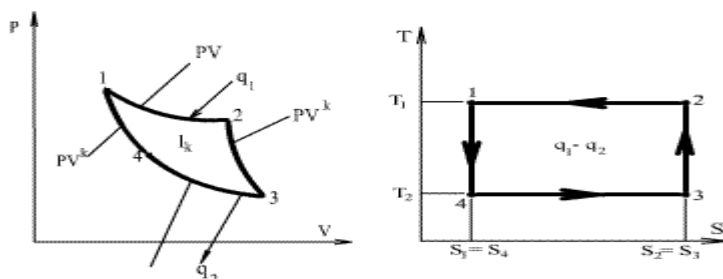
Xulosa: 1. To'g'ri qaytar Karno tsiklining termik f.i.k. gazning tabiatiga bog'liq emas.

2. Karno tsiklining f.i.k.  $T_1$  issiqlik manbai temperaturasi qancha katta bo'lsa, shunga katta bo'ladi va  $T_2$  qancha (sovuqlik manbai) kichik bo'lsa shuncha katta bo'ladi.

3.  $T_1$  va  $T_2$  - temperaturalar oralig'ida Karno tsiklining f.i.k. boshqa har qanday tsiklga nisbatan kattadir. Buni TS diagrammadan ko'rishimiz mumkin.

### 3.3. Karnoning teskari qaytar tsikli.

Bu tsikl sovitish mashinalarining ideal tsikli bo'lib soat strelkasiga teskari yo'nalishda kechadi. to'g'ri tsikl kabi ikkita izotermik va ikkita adiabatik jarayonlardan tashkil topgan.





3.3-rasm. Teskari qaytar Karpo tsiklining PV va TS diagrammalari.

Bu tsiklda 4-3 jarayon chizig'i bo'yicha issiqlik manбайдan  $q_2=T_2(s_3-s_4)$  issiqlik beriladi.

2-1 jarayon chizig'i bo'yicha esa manbaga issiqlik beriladi  $q_1=T_1(s_2-s_1)$

Karno tsiklining sovitish koeffitsientini aniqlaymiz.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{T_2(s_3 - s_4)}{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_3 - s_4)}$$
$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \varepsilon > 0 \quad (3.5)$$

Temperaturalar farqiga qarab  $\varepsilon$  birdan katta, kichik va teng bo'lishi mumkin. Ko'pchilik real holda  $\varepsilon > 1$

3.4. Termodinamikaning ikkinchi qonunining mohiyati.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni energiyaning bir turdan boshqa turga aylanadigan shart-sharoitlarni issiqlikning o'z-o'ziga tarqalish jarayonlari uchun muayyan miqdoriy nisbatlarni belgilab beradi.

Termodinamikaning ikkinchi qonunining juda ko'p ta'riflari bor, lekin uning mohiyati, asosan quyidagilardan iborat.

#### **Tomson ta'rifi**

I. Issiqlikni mexanikaviy ishga aylantirish uchun issiqlik manbai va temperaturasi shu manba temperaturasidan pastroq bo'lgan sovitgich bo'lishi ya'ni temperaturalar farqi bo'lishi zarur.

II. Dvigatelga keltirilgan issiqlikning hammasini butunlay ishga aylantirib bo'lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi temperaturasi pastroq bo'lgan tashqi jismlarga o'tadi.

Boltsman ta'rifi.

III. Issiqlik kamroq qizigan jismdan ko'proq qizigan jismga tashqi ish sarflamay turib o'z-o'ziga o'tkaza olmaydi.

Uchinchi ta'rif bevosita sovitish qurilmalariga taalluqlidir. Sovitgich ichida tevarak muhit temperaturasiga nisbatan past temperatura hosil qilish uchun muayyan miqdorda energiya sarflash lozim.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni R. Plauzis quyidagicha ta'rifladi. Issiqlik energiyasi ishga aylanish jarayonida to'laligicha ishga aylanmaydi va issiqlik sovuq sistemadan issiq sistemaga o'z - o'zidan o'ta olmaydi.

$$S \frac{dQ}{T} < 0$$

## Masalalar va topshiriqlar

### 3.1 Masala

Bosimi  $R=8$  bar va  $t=250$  °C bo'lgan 1 kg kislorodning entropiyasini aniqlang.

Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb hisoblang.  $S = C_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{P}{P_n}$  ifodadan

entropiyani aniqlaymiz.

Ikki atomli gazlar uchun  $\mu C_p = 29,3 \text{ kJ} / \text{k} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$  va  $R=8,314 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$  bo'lgani uchun unda

$$S = \frac{29,3}{32} \ln \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} 2,303 \ln \frac{8}{1,013}$$
$$S = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

### 3.2 Masala

1 kg kislorodni bosimi  $R=8$  bar va harorati  $t=250$  °C bo'lganda entropiyasini aniqlang  $C = \text{const}$  deb qabul qilamiz.

#### Yechish

Kislorodning entropiyasini quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$S = C_p \ln \frac{T}{273} - E \ln \frac{P}{P_n}$$

Ikki atomli gazlar uchun  $\mu C_p = 29,3 \text{ kJ} / (\text{kmol} \cdot \text{grad})$ ,  $R = 8,314 / \text{kJkmol} \cdot \text{grad}$  teng bo'lgani uchun

$$S = \frac{29,3}{32} 2,303 \lg \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} 2,303 \lg \frac{8}{1,013};$$
$$S = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ kJ} (\text{kg} \cdot \text{grad})$$

### 3.3. masala

1 kg kislorodning  $t_1=127$  °C haroratda hajmi besh barobar kengayadi kengayish jarayonida uning harorati  $t_2=27$  °C gacha pasayadi.

Entropiyaning o'zgarishini toping. Issiqlik sig'imini o'zgarmas deb qabul qiling.  $C = \text{const}$ .

#### Yechish

#### Quyidagi tenglamadan

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} = 2,303 \left( \frac{20,93}{32} \lg \frac{300}{400} + 0,260 \lg 5 \right) \\ = 2,303(-0,0818 + 0,1827) = 0,2324 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{grad}) = 0,005 \text{ kkal}/\text{kg} \cdot \text{grad}$$

### Topshiriqlar

**3.1.** 1 kg xavo  $t_1 = 10$  dan  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Gacha izoxorik qizdirilmoqda. Jarayonda uzatilgan issiqlikni va entropiya o'zgarishini aniqlang.

**3.2.** Agar issiqlik dvigateli tsikliga uzatilayotgan issiqlik  $Q_1 = 280 \text{ kJ}$  va foydali ish qiymati  $L = 120 \text{ kJ}$  bo'lsa, issiqlik dvigatel tsiklining F.I.K. ni va ajralgan issiqlik miqdori  $Q_2$  ni aniqlang.

**3.3.** Цикл Карно совершается с 1 kg havo ustidan Karno tsikli  $927$  va  $27^\circ\text{C}$  oralig'ida bajarilmoqda. Tsikldagi uzatilayotgan issiqlik  $Q_1 = 30 \text{ kJ}$ . Agar tsikldagi minimal bosim 1 atmosfer bo'lsa, undagi maksimal bosim, termik f.i.k. va foydali ish  $L$  larni aniqlang.

**3.4.** Bosim 10 dan 1 atm. va harorati  $100^\circ\text{C}$  dan  $0^\circ\text{C}$  gacha amalga oshirilayotgan Karno tsikli uchun termik f.i.k., 1 kg ishchi jisim (azot) uchun berilayotgan va uzatilayotgan issiqlik aniqlang.

### Nazorat savollari:

1. Aylana jarayondagi uzatilgan issiqlikning xammasini ishga aylantirish mumkinmi?
2. Termodinamikaning ikkinchi qonunining asosiy tushunchalari.
3. Issiqlikni ishga uzluksiz aylanish sharoitlarini yaratish uchun qanday shartlarga amal qilish lozim?
4. Qanday sikllar mavjud?
5. Termik F.I.K. deganda nimani tushunasiz?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION: . Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

### 4-amaliy mashg'ulot:

**Gazsimon ishchi jisimli issiqlik dvigatellarning tsikllari. Gazlarni siqish. Sovutish tsikllari.**<sup>47</sup>

**Ishdan maqsad:** issiqlik dvigatellarning ish sikllarini o'rganish va tahlil qilish. Gazlarni siqish mashinalari; Sovutish qurilmalarining sikllari o'rganish.

<sup>47</sup> Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH. 2015 (486-600)

Vazifa: issiqlik dvigatellarning ish sikllarini o'rganish va tahlil qilish. Gazlarni siqish mashinalari; Sovutish qurilmalarining sikllari o'rganish.

Ichki yonuv dvigatelning tsikli termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^{k-1}}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}; \quad (4.1)$$

Bu yerda  $\varepsilon = v_1/v_2$  – siqish darajasi, undagi  $v_1$  va  $v_2$  – siqishdan oldin va siqish yakunidagi hajmla;

$\lambda = p_3/p_2$  – issiqlikni uzatish izohorik jarayondagi bosimning oshish darajasi;  $\rho = v_4/v_3$  – dastlabgi kengayish darajasi.

agar  $\rho = 1$  – issiqlik uzatish faqat izoxorik bo'ladi:

$$\eta_{t_v} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}; \quad (4.2)$$

$\lambda = 1$  bo'lganda– issiqlik uzatish faqat izobarik bo'ladi:

$$\eta_{t_p} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho - 1)}. \quad (4.3)$$

Issiqlik uzatish faqat izobarik va adiabatic siqish Gaz-turbinali qurilmaning termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}, \quad (4.4)$$

Bu eyrda  $\beta = \frac{p_2}{p_1}$  – kompressordagi bosimning oshish darajasi.

Siklda chegaraviy regeneratsiya sharti bilan

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\rho} = 1 - \frac{T_1}{T_4}, \quad (4.5)$$

Bu yerda  $\rho = T_3/T_2$  – issiqlik uzatish jarayonidagi xarorat oshish darajasi. Regeneratorda uzatilayotgan issiqlik

$$q_p = \delta c_p (T_4 - T_2), \quad \kappa J/kg, \quad (4.6)$$

bu yerda  $\delta$  - regeneratsiya darajasi ( $\delta < 1$ ),

$$\delta = \frac{T_4 - T'_6}{T_4 - T_2} = \frac{T'_5 - T_2}{T_4 - T_2}. \quad (4.7)$$

### Nazorat savollari:

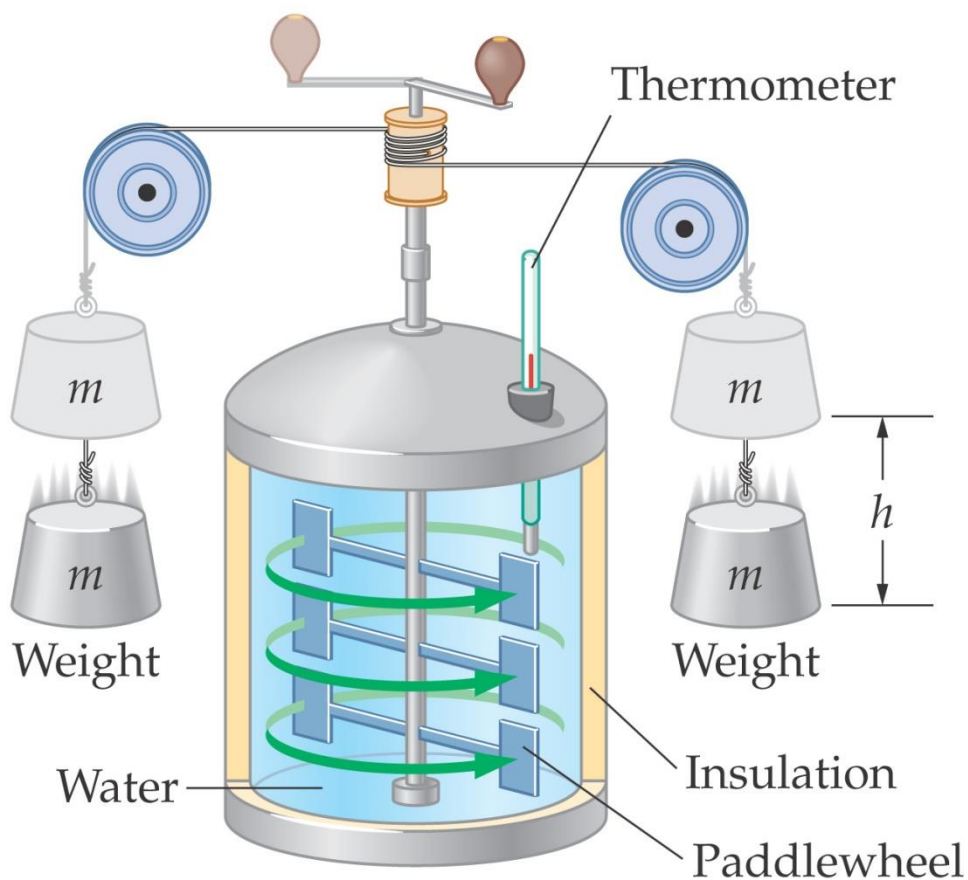
1. Issiqlik mashinalarning ideal va haqiqiy termodinamik sikllar farqi nimada?
2. Ichki yonuv dvigatellarning tasniflanishi?

3. IYoD ning izoxorik issiqlik uzatilishida haqiqiy sikli p-V, T-s diagrammalarida qanday o'tadi va qanday ko'rinishga ega?

**Foydalangan adabiyotlar:**

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.
2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.
3. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.
4. Mahmoud Massoud. EngineeringThermofluids Thermodynamics,Fluid Mechanics,and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

**V. KEYSLAR BANKI**  
**Tehnikaviy termodinamika keyslar**

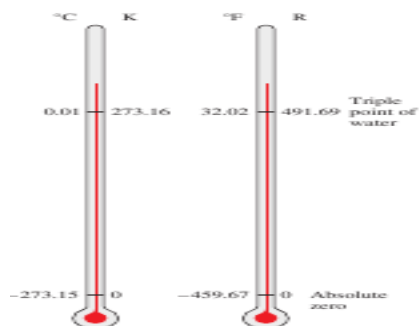


**Muammoli masalalar!**

1. Toshkent davlat texnika universitetining iqtidorli talabalar o'rtasida xarorat o'lchash asbobi ixtiro qilish mumnosi tug'ildi. Yangi termometr o'lcham birligi aniqlashtirilsin.



**Ushbu o'rinda talaba bilan olimlar o'rtasida qanday munosabatlar vujudga keladi? Ushbu masalani xal qiling?**

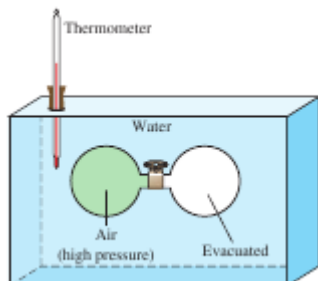


2. Talaba Saidovga auditoriyaning absolyut haroratini aniqlashni buyurishdi. Lekin unda faqat Farengeyt shkalasida o'lchaydigan termometr berildi.



**Ushbu muammoni hal qiling?**

3. Mashxur olim Joule o'z eksperimentlarida bir muammoga duch kelgan.



Bir idishdan ikkinchi idishga o'tayotgan gaz harorati pasaymaydi, lekin birinchi idishdagi gaz tashqi muhitga chiqarilsa harorati keskin pasayadi. Ushbu hodisani olim tushunaolmagan.



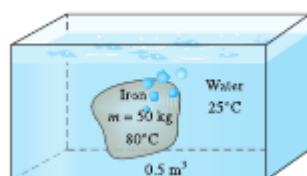
**Olimning hatosini toping? Sizing fikringiz qanday?**

**Keysni bajarish bosqchilari va topshiriqlar:**

Keysdagi muammoni keltirib chiqargan asosiy sabablar va hal etish yo'llarini jadval asosida izohlang (individual va kichik guruhda).

Muammo turi	Kelib chiqish sabablari	Hal etish yo'llari

4. 80 °C dagi metalni sovutishimiz zarur. Qo'l ostida faqat suv bilan to'ldirilgan idish bor. Idishdagi suvning harorati 25°C. Metal ni suvga solganimizdan so'ng uning harorati pasayib ketdi?

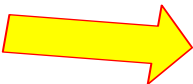


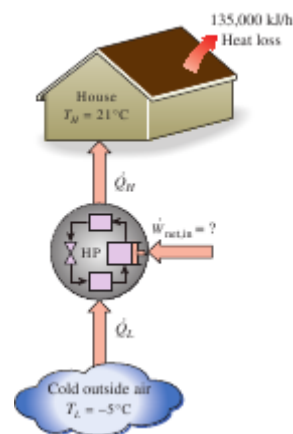
### Keysni bajarish bosqchilari va topshiriqlar:

Keysdagi muammoni keltirib chiqargan asosiy sabablar va hal etish yo‘llarini jadval asosida izohlang (individual va kichik guruhda).

Muammo turi	Kelib chiqish sabablari	Hal etish yo‘llari

10. Qish mavsumida ma’lum bir qishloqda gazdan foydalanish yoki boshqa bir isitish usullaridan foydalanish imkoniyati yo‘q. uy ro‘zg‘or anjomlaridan faqat sovutgich bor. Uyni qish vaqtida isitish usulini toping.

 **termodinamikaning ikkinchi qonunini ishga sologan holda muammoning yechimini toping?**





## VI. MUSTAQIL TA'LIM MAVZULARI

### Mustaqil ishni tashkil etishning shakli va mazmuni

Mustaqil ishni tayyorlashda muayyan fanning xususiyatlarini hisobga olgan holda quyidagi shakllardan foydalanishi tavsiya etiladi:

- Darslik va o'quv qo'llanmalar bo'yicha fan boblari va mavzularini o'rganish;
- Tarqatma materiallar bo'yicha ma'ruzalar qismini o'zlashtirish;
- Maxsus adabiyotlar bo'yicha fanlar bo'limlari yoki mavzulari ustida ishlash;
- Yangi texnikalarni, apparaturalarni, jarayonlar va texnologiyalarni o'rganish;

Mustaqil ish bajariladigan mavzular bo'yicha savolnomalar tuzish, savollarga foydalanishga tavsiya etilgan adabiyotlardan foydalangan holda yozma tarzda javob berish va boshqalar.

### Mustaqil ta'lim mavzulari

1. Termodinamik tizim turlarini aniqlash va misollar keltirish
2. Static va kvazistatik jarayonlar
3. Termodinamikada "issiqlik sig'im" tushunchasining kelib chiqishi;
4. Termodinamikaning dastlabgi qonuni
5. Ochiq termodinamikaviy tizim misollari
6. Yopiq termodinamikaviy tizim misollari
7. Termodinamik jarayonlar real jarayonlarda namoyon bo'lishi
8. Termodinamik tizimda energiya almashinuvi turlari
9. Ish bilan issiqlik bog'liqliklari
10. Ichgi energiya tushunchasi va uni aniqlash usullari
11. Entalpiya tushunchasi va uning ahamiyati
12. Issiqlik sig'im
13. Termodinamikaning birinchi qonuni
14. Termodinamikaning ikkinchi qonuni
15. Entropiya tushunchasi
16. Adiabatic va izoentropik jarayonlarning farqi
17. Termodinamikaning uchinchi qonuni
18. Ekssergiya tushunchasi va ahamiyati
19. Sanoatda energetik muammolarni echish yo'llari
20. Termodinamikaning turli sohalarda qo'llanilishi.

## VII. GLOSSARIY

<b>Termin</b>	<b>O'zbek tilidagi sharxi</b>	<b>Ingliz tilidagi sharxi</b>
<b>Absolyut bosim</b>	rezervuar, ballon, qozon va boshqa idishlardagi bosim va tashqi (atmosfera) bosimining yig'indisi.	The actual pressure at a given position is called the absolute pressure, and it is measured relative to absolute vacuum (i.e., absolute zero pressure).
<b>Absolyut temperatura</b>	absolyut noldan hisoblanadigan temperatura (-273,16°S).	The absolute gas temperature scale that utilizes an “ideal” or “imaginary” gas that always acts as a low-pressure gas regardless of the temperature. If such a gas thermometer existed, it would read zero kelvin at absolute zero pressure, which corresponds
<b>Bosim</b>	jism sirtining biror qismiga perpendikulyar yo'nalishda ta'sir etuvchi kuchlar intensivligini ifodalaydigan kattalik. Boim birligi (SI)da – Paskal (Pa).	Pressure is defined as a normal force exerted by a fluid per unit area.
<b>Vakuum</b>	vakuum (lotincha) – bo'shliq, idishga solingan gazning siyraklashgan holati.	The Pressures below atmospheric pressure are sometimes called vacuum pressures.
<b>Izobarik jarayon</b>	o'zgarmas bosimda o'tadigan termodinamik jarayon.	An <i>isobaric process</i> is a thermodynamic process in which the pressure stays constant: $\Delta P = 0$ .
<b>Izotermik jarayon</b>	o'zgarmas temperaturada o'tadigan termodinamik jarayon.	A system consisting of a fixed mass of gas can exist in a number of equilibrium states corresponding to the same temperature T but with different values of its pressure and volume: P, V...
<b>Izoxorik</b>	sistemaning o'zgarmas	An <i>isochoric process</i> , also

<b>jarayon</b>	solishtirma hajmda o'tadigan termodinamik jarayon.	called a constant-volume process, an isovolumetric process, or an isometric process, is a thermodynamic process during which the volume of the closed system undergoing such a process remains constant.
<b>Issiqlik</b>	issiqlik almashinuvda jismning tashqi parametrlari : hajmi va b. o'zgarmaganda sistema oladigan yoki beradigan energiya miqdori.	In physics, <b>heat</b> is energy as it spontaneously passes between a system and its surroundings, other than through work or the transfer of matter. In thermodynamics, finer detail of the process of transfer is in principle unspecified. When there is a suitable physical pathway, heat transfer occurs from a hotter to a colder body.
<b>Ish</b>	fizik jarayonda sodir bo'ladigan energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishini ifodalovchi kattaliik.	In thermodynamics, <b>work</b> performed by a system is the energy transferred by the system to its surroundings, that is fully accounted for solely by macroscopic forces exerted on the system by factors external to it, that is to say, factors in its surroundings. Thermodynamic work is a version of the concept of work in physics.
<b>Eksergiya</b>	yex (yunon.) – ichidan. ergon - ish, kuch,	the <b>exergy</b> of a system is the maximum useful work possible during a process that brings the system into equilibrium with a heat reservoir.
<b>Entalpiya</b>	enthalpo (yunon.) – isitaman – termodinamik sistemaning holat funktsiyasi; sistemaning ichki energiyasi bilan sistema bosimining hajmiga ko'paytmasi	<b>Enthalpy</b> is a measurement of energy in a thermodynamic system. It includes the internal energy, which is the energy required to create a system, and the amount of energy required

	yig'indisiga teng.	to make room for it by displacing its environment and establishing its volume and pressure.
<b>Entropiya</b>	entropia (yunon) – burilish, o'zgarish – termodinamik sistemaning holat funksiyasi; sistema bilan tashqi muhit o'rtasidagi issiqlik almashinish jarayonining borish yo'nalishini, shuningdek, yopiq sistemada o'z-o'zidan sodir bo'ladigan jarayonlarning borish yo'nalishini xarakterlaydi.	<b>entropy</b> (usual symbol <i>S</i> ) is a measure of the number of specific realizations or microstates that may realize a thermodynamic system in a defined state specified by macroscopic variables. Most understand entropy as a measure of molecular disorder within a macroscopic system.
<b>Ot kuchi</b>	sistemyaga kirmagan quvvat birligi; 1980 y. 1 yanvardan foydalanish tavsiya etilmaydi. Byelgisi — o.k. I o.k. (myetrik) q 735,499 Vt, AQSh va Buyuk Britaniyada. hp b-n byelgilanadigan va 745,7 Vt ga tyeig bo'lgan O. k. qo'llaniladi (q. Vatt).	Horsepower (hp) is a unit of measurement of power (the rate at which work is done). There are many different standards and types of horsepower. The term was adopted in the late 18th century by Scottish engineer James Watt to compare the output of steam engines with the power of draft horses. It was later expanded to include the output power of other types of piston engines, as well as turbines, electric motors and other machinery. The definition of the unit varied between geographical regions. Most countries now use the SI unit <i>watt</i> for measurement of power.
<b>Issiqlik sig'imi</b>	1 gramm Jisim harorati 1 gradus Selsiyga o'zgarishi uchun ajratilishi zarur bo'lgan issiqlik miqdori	The specific heat of a substance is the heat required in calories to raise the temperature of 1 gram by 1 degree Celsius.

<b>Indikator ish</b>	ishchi tsikl bajarilishi natijasida yonilg'i yonganida ajralib chiqqan issiqlikning bir qismi foydali mexanik ishga aylanadi dvigatel tsilindrlarida gazlar (bosimi) bajariladigan ish.	is the scalar product of the applied force and the displacement of the object (in the direction of force)
<b>Indikator quvvat</b>	dvigatye silindri ichida erishiladigan, indikator diagrammasi bo'yicha hisoblanadigan quvvat.	is an energy transfer induced by temperature difference.
<b>Kriogen</b>	Muhandislik yo'nalishi. O'ta past xaroratlarda jarayonlar amalga oshiriladi.	A branch of engineering specializing in technical operations at very low temperatures

## VIII. ADABIYOTLAR RO'YIHATI

### Maxsus adabiyotlar:

1. Yunus Cengel, Michel Boies, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, EIGHTH EDITION:. Published by McGraw-Hill Education United States.2015. 1115 pp.

2. Modern engineering thermodynamics / Robert T. Balmer, British Library Cataloguing-in-Publication Data /2011 Elsevier Inc. 827 pp.

3. И. Пригожинб Д. Кондепуди. Современная термодинамика. Перевод с английского:.. М. «Мир» 2002 г. 464 с.

4. Advanced Thermodynamics for Engineers. Desmond E Winterbone hn. Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY 1015. 2015. 578 pp.

5. Mahmoud Massoud. Engineering Thermofluids Thermodynamics, Fluid Mechanics, and HeatTransfer/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005. 1132 pp.

### Internet resurslari:

1. <http://www.welding.su>
2. <http://www.aws.org>
3. [welding.com](http://welding.com)
4. [www.Coursera.com](http://www.Coursera.com)