

### 3-mavzu. Termodinamikaning birinchi qonuni

#### *Reja:*

1. *Asosiy tushunchalar. Qaytar va qaytmaz termodinamika jarayonlari.*
2. *Gazning ichki energiyasi. Gazning tashqi ishi.*
3. *Termodinamika birinchi qonunining mohiyati va uning matematik ifodasi.*
4. *Gazlarning issiqlik sig'imi.*
5. *Gaz entalpiyasi. Gaz entropiyasi.*
6. *Yopiq tizimlarda termodinamikaning asosiy jarayonlari*

#### *1. Asosiy tushunchalar. Qaytar va qaytmaz termodinamika jarayonlari.*

Agar moddiy jismlar o'zaro va tashqi muhit bilan mexanik hamda issiqlik ta'sirida bo'lsalar, u holda bunday moddiy jismlar tizimini **termodinamika tizimi** deb yuritildi. Tizim tashqi muhitdan to'la ajratilgan bo'lsa – **yopiq**, tashqi muhitdan ajratilmagan bo'lsa – **ochiq termodinamik tizim** bo'ladi.

Agar termodinamik tizimning hamma nuqtalarida tashqi muhit bilan bir xil bosim va bir xil harorat, vaqtga bog'liq bo'lmagan holda saqlansa (masalan, xonaga olib kirilgan biron ochiq idishdagi suyuqlik, bir necha soatdan keyin), termodinamik tizim **teng salmoqli holatda** deyiladi. Ya'ni tizimda vaqt davomida ichki va tashqi issiqlik almashinish bo'lmaydi.

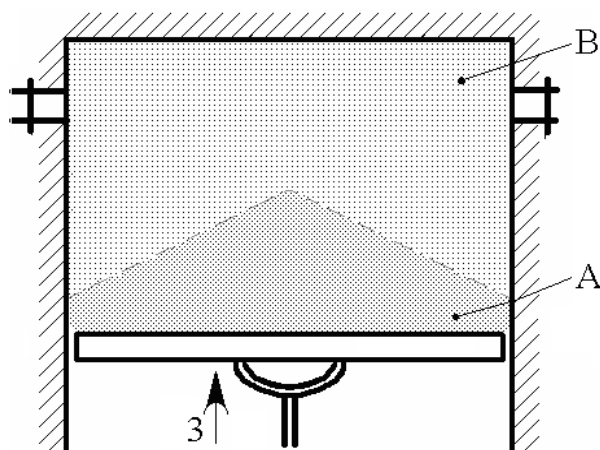
Ishchi jism (gaz, suyuqlik) teng salmoqli holatda saqlanishi uchun tashqi muhitning holati o'zgarmasligi kerak. Masalan, xonaning harorati o'zgarsa, xonadagi idish ichiga qamalgan gazning ham harorati asta-sekin o'zgarib boradi, ya'ni vaqt davomida gazning harorati o'zgaradi, gaz hajmi teng salmoqli holatdan chiqadi.

Agar idishdagi gaz xonada turaversa, bir qancha vaqtdan so'ng ishchi jism (gaz) yangi teng salmoqli holatiga keladi. Shu yangi teng salmoqli holatiga kelishi uchun sarflanadigan vaqt tizimning **reaksiya vaqti** deyiladi.

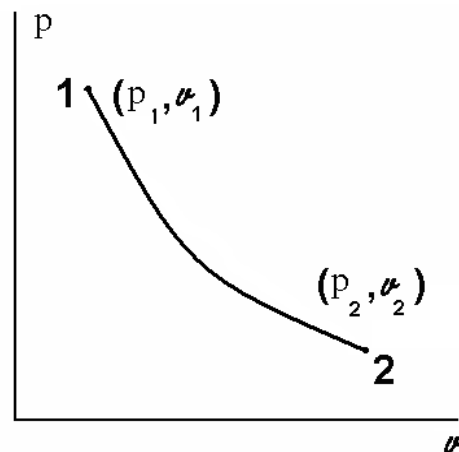
Ma'lumki, gazning biror parametri ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ) o'zgarishi bilan boshqa parametrlari ham o'zgaradi. Masalan, agar gaz qisilsa (ya'ni, hajmi kamaytirilsa), uning bosimi va harorati ortadi. Natijada gazning yangi termodinamika holati vujudga keladi.

Gazning bir termodinamika holatdan ikkinchi termodinamika holatga o'tishi, ya'ni gaz holatini o'zgarishining ketma - ketligi **termodinamik jarayon** deyiladi. Agar termodinamika jarayonida gaz ketma - ket teng salmoqli holatini egallab borsa, jarayon **teng salmoqli** deyiladi. Vaqtning har bir paytida jarayon teng salmoqli holatidan biroz farq qilsa, bunday jarayonlar, **kvazistatik jarayon**, ya'ni teng salmoqli holatiga yaqin deyiladi. Bunday jarayonda gazning ayrim nuqtalarida bosim va harorat bir - biridan juda oz farq qiladi. Kvazistatik jarayonlarni amalda uchratish qiyin bo'lganligi uchun ularni **ideal jarayonlar** deyish mumkin.

Mavjud (real) termodinamika jarayonlarda qisish, kengayish, gazning isishi va sovishi kabi holatlar juda tez bo'ladi. Natijada gaz hajmining har xil no'qtalarida bosim, harorat va zichlik har xil qiymatga ega bo'ladi, ya'ni bunday jarayonlarda teng salmoqli holat bo'lmaydi. Bunday jarayonlar **teng salmoqli bo'lmagan jarayonlar** deyiladi.



1-rasm



2- rasm

1- rasm da ko'rsatilgan silindrning ichidagi gaz teng salmoqli holatda bo'lmaydi. Gazning "A" zonasida "B" zonasiga qaraganda bosim, harorat va zichlik sezilarli darajada farq qilishi mumkin. Porshenli ichki yonuv dvigatellarida porshenning harakati juda tez. Demak, shaklda ifodalangan qisish jarayoni teng salmoqli bo'lmagan, ya'ni **real jarayondir**.

Gaz holatining o'zgarish jarayonlarini o'rganishda gaz holatining asosiy tenglamasidagi kabi uch o'lchovli grafik usuldan (ya'ni bosim, hajm va harorat) foydalanish mumkin. Fazoviy koordinatalar ( $P$ ,  $V$  va  $T$ ) tizimida bosim, hajm va harorat orasidagi bog'lanish **termodinamik sirt** bo'lib, uning har bir no'qtasi gazning biron bir holatini ifodalaydi. Lekin, fazoviy koordinatlar tizimidan foydalanish amalda biroz qiyinchiliklarga olib keladi. Shuning uchun, termodinamika jarayonlarni chiziqli ifodalashda tekislikdagi koordinatalar tizimidan foydalaniladi. Bunda gazning ikkita ko'rsatkichi ishtirok etadi.

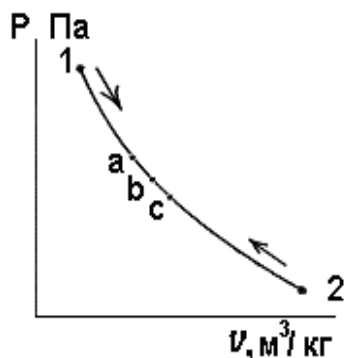
Ko'pincha termodinamika jarayonining chizmasi bosim bilan hajmni o'zaro bog'lovchi koordinatalar orqali ifodalanadi. Bunday sistema  $p^g$  diagramma deb yuritiladi.

Masalan, 2 -rasmda ifodalangan 1-2 egri chiziq ishchi jism (gaz)ning boshlang'ich (1 nuqta) holatidan, keyingi (2 nuqta) holatiga o'zgarishini ifodalaydi. Bu yerda ko'rinib turibdiki, jarayon - kengayish jarayoni bo'lib, bosim  $P_1$  dan  $P_2$  gacha kamayadi, hajm esa  $v_1$  dan  $v_2$  gacha ortadi.

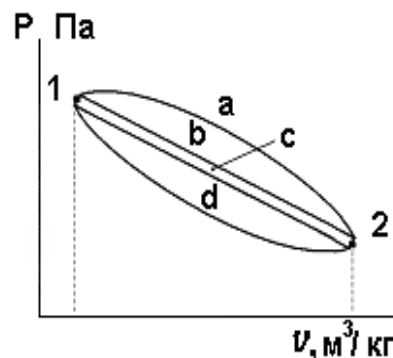
Hamma termodinamika jarayonlari to'g'ri va teskari yo'nalishda bajarilishi mumkin. Shunga ko'ra, termodinamika jarayonlarini ham ikkiga ajratib, to'g'ri jarayon yoki teskari jarayon deb yuritiladi.  $p^g$  - diagrammasida ixtiyoriy termodinamika jarayonini ifodalaymiz (3-rasm), bunda 1-2 chiziq shu jarayonlarni ifodalaydi. Jarayon 1-holatdan 2-holatga tomon borayotgan bo'lsa, kengayish jarayoni (to'g'ri jarayon) bo'ladi. Bunda ishchi jism ketma - ket a, v, s kabi qator teng salmoqli holatlarni egallab boradi, hamda kengayish cheksiz sekin bo'ladi va gaz holati ko'rsatkichlarining qiymatlari bir-biriga cheksiz yaqin deb faraz qilinadi, ya'ni gaz 1-a-b-c.-2 jarayon orqali kengayadi.

Endi jarayonlarni teskari olib borsak, gaz yuqoridagi shartlarga ko'ra, cheksiz sekin qisilib, ketma-ket teng salmoqli holatlarni ifodalab, 2-c-B-a-1

jarayonlarni bajaradi va dastlabki holatini egallaydi. Shunday qilib, termodinamika tizimi to'g'ri va teskari jarayonlarni bajargandan so'ng, u to'la dastlabki holatiga qaytadi. Bunday termodinamika jarayonlari **qaytar jarayonlar** deb yuritiladi.



3- rasm



4- rasm

Tabiatda mavjud bo'lgan barcha jarayonlar **qaytmas jarayonlardir**, chunki hech qanday haqiqiy jarayon yuqorida aytib o'tilgan shartlarni bajara olmaydi. Shuning uchun qaytuvchan jarayonlarni ideal jarayonlar deyish mumkin. Real jarayonlar ideal jarayonlarga oz yoki ko'proq yaqinlashishi mumkin, lekin hech qachon aynan o'zi bo'la olmaydi (4-rasm).

Termodinamika hisoblashlarida ideal jarayonlar o'rganiladi va qo'laniladi. Natijalarga ma'lum tuzatishlar kiritilib, real (haqiqiy) jarayonlarga aylantiriladi.

## 2. Gazning ichki energiyasi

Moddiy gazning molekulasini molekulyar kinetik nazariyasiga asosan ilgarilanma va aylanma harakatda bo'ladi. Molekula va atomlarning massasi hamda tezligi natijasi sifatida mikrojismlar ilgarilanma kinetik energiya va aylanma kinetik energiyaga ega. Demak, ideal gazlarda ichki energiya quyidagilardan tashkil topadi:

- a) molekula ilgarilanma harakatining kinetik energiyasi;
- b) molekula aylanma harakatining kinetik energiyasi;
- v) atomlar aylanma harakatining kinetik energiyasi;
- g) molekula ichidagi atomlar tebranma harakatining kinetik energiyasi.

Real (mavjud) gazlarda esa, yuqoridagidan tashqari molekullarning o'zaro ta'siri natijasida sodir bo'ladigan potensial energiya ham hisobga olinadi.

Yuqorida sanab o'tilgan energiyalarning yig'indisi gazning ichki energiyasi deyiladi va 1 kg gaz uchun "  $u$  " bilan, ixtiyoriy miqdordagi gaz uchun esa " $U$ " orqali ifodalanadi, ya'ni

$$u = u_k + u_n \quad \text{yoki} \quad U = U_k + U_n \quad (3.1)$$

Gaz holatining ko'rsatkichlari  $p, \vartheta$  va  $T$  o'zaro issiqlik tenglamasi orkali bog'langanligi uchun ichki energiyani ixtiyoriy ikkita ko'rsatkichlarning funksiyasi sifatida ko'rsatish mumkin, ya'ni

$$u = f(T, \vartheta), \quad u = f(p, T), \quad u = f(p, \vartheta)$$

Ichki energiya gaz holatini ifodalovchi kattalikdir, chunki uning miqdori gaz holatining ko'rsatkichlariga bog'liq.

Ideal gazlarda molekulalar orasidagi o'zaro tortishish kuchi bo'lmaganligi uchun hajm va bosimning o'zgarishi ichki energiya miqdoriga ta'sir qilmaydi. Shuning uchun ideal gazlarda,  $u=f(T)$  ya'ni ichki energiya - faqat haroratning funksiyasi. Termodinamika jarayonlarini o'rganishda ham, hisoblashlarda ham, ko'pincha ichki energiyaning mutloq qiymati emas, uning o'zgarish miqdori zarur bo'ladi.

Ma'lumki, ichki energiyaning eng ko'p o'zgarishi  $\mathcal{Q}=const$  bo'lgan jarayonda sodir bo'ladi, chunki bunda, hajm o'zgarmaganligi uchun tashqi ish bajarilmaydi va berilgan issiqlik miqdori faqat gazning ichki energiyasini o'ttirishga olib keladi.

1kg gazga berilgan issiqlik miqdori  $q = c_v (T_2 - T_1)$  lekin shu bilan birga

$$q = u_2 - u_1 \quad (3.2)$$

U holda ichki energiyaning o'zgarishi,

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \quad \text{yoki} \quad \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

Gaz holatining cheksiz kichik o'zgarishi uchun esa,  $du = c_v dT$ . Ideal gazlarda ichki energiyaning o'zgarishi  $\Delta u$  jarayonning borish xarakteriga (yo'liga) bog'liq. bo'lmay, u faqat gazning oxirgi va boshlang'ich holatlarining haroratlariga bog'liq xolos.

## 2.1. Gazning tashqi ishi

Biz yuqorida aytib o'tganimizdek, faqat bir jarayonda, ya'ni  $\mathcal{Q}=const$  bo'lgan jarayonda gaz tashqi ish bajarmaydi. Jarayonda gazga berilgan issiqlikning hammasi ichki energiyani o'ttirishga sarf bo'ladi.

Bundan hulosasi shuki, boshqa termodinamika jarayonlarida gazga berilgan issiqlik miqdori ichki energiyani o'ttiribgina qolmay, tashqi ish bajarishga (ya'ni tashqi muhitning qarshiligini yengishga) ham sarf bo'ladi.

Ma'lumki, ish bajarilishi uchun eng kamida 2 ta jism, energiya qabul qiluvchi va energiya beruvchi (yo'qotuvchi) mavjud bo'lishi shart. Demak, ilgari aytib o'tganimizdek, **ish - energiya o'zatilishining bir shakli bo'lib, ishning miqdori berilayotgan energiyaning o'lchovi bo'ladi.**

Agar 5-rasmdagi harakatchan porshenli silindrdagi 1kg gazga cheksiz kichik miqdordagi  $dq$  issiqlik miqdorini bersak, gaz kengayib porshen  $dS$  masofa yo'l yuradi. Gaz kengayishida  $d\ell$  tashqi ish bajaradi.

Bu ish kuchning porshen yurgan yo'liga ko'paytmasi bilan ifodalanadi:

$$d\ell = p F ds \quad (3.4)$$

bu yerda,  $p$  – gazning bosimi,  $N/m^2$ ;

$F$  - porshenning (silindrning) ko'ndalang ke-sim yuzasi,  $m^2$ . Ma'lumki, hajmning eng kichik orttirmasi  $F ds = dV$  bo'lganligi uchun quyidagi tenglik kelib chiqadi:

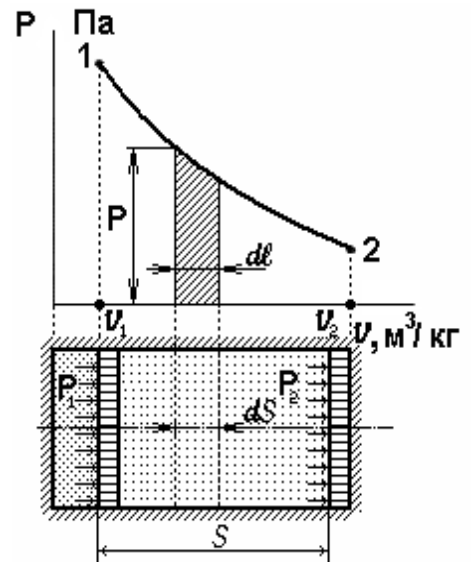
$$d\ell = p d\vartheta \quad (3.5)$$

U holda gazning  $\vartheta_1$  hajmdan  $\vartheta_2$  hajmgacha kengayishidan iborat termodinamika jarayonida bajarilgan ish quyidagicha bo'ladi:

$$\ell = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta \quad (3.6)$$

5-rasmda ifodalangan  $p\vartheta$  diagrammasidajarayon chizig'i ikkala chetki ordinatalar va absissa o'qi bilan chegaralangan yuza –  $S_{1-2-3-4-1}$  ma'lum masshtabda bajarilgan ishni ifodalaydi.

Bu yerda shuni esda tutish kerakki, kengayishdagi ishni musbat, qisish jarayonidagi ishni esa, manfiy deb qabul qilingan (misolimizda bajarilgan ish -musbat)  $p\vartheta$  koordinatalar tizimida yuza - ma'lum macshtabda ishning miqdorini ifodalaydi.



### 3. Termodinamika birinchi qonunining mohiyati va uning matematik ifodasi

Ma'lumki, issiqlikning ishga aylanishi (va aksincha), energiyaning saqlanish va aylanish qonunining hususiy holdidir. Ish va issiqlikning ekvivalentlik qonunini quyidagicha ta'riflash mumkin: **"Ma'lum Q miqdordagi issiqlikning yo'qolishi, to'la aniqlik miqdordagi mexanik ish L ni keltirib chiqaradi va aksincha"**.

Shunday qilib, termodinamika jarayonlarida issiqlik va mexanik hodisalar orasida aloqa qonuniyati mavjud. **Issiqlik va ish orasidagi mana shu o'zaro aloqa termodinamika birinchi konunining mohiyatini tashkil qiladi.**

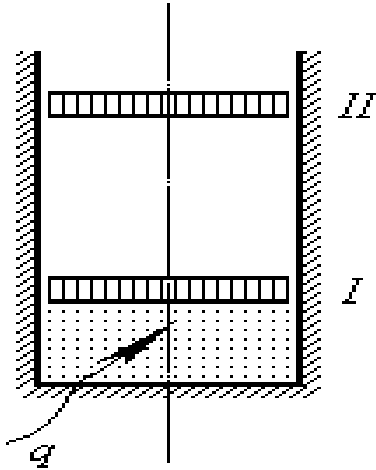
Ba'zi adabiyotlarda termodinamikaning birinchi qonunini, termodinamikaning birlamchi boshlanishi, deb ham aytiladi. Buning sababi shuki, bu qonun hych qanday qonun va tushunchalardan kelib chiqmaydi, balki u energiyaning saqlanish va aylanish qonuni bilan issiqlik va ishning ekvivalentlik, o'zaro almashinish qonunlarining qo'shilishidir.

**Birinchi qonunga asosan, bir jinsli abadiy dvigatel, ya'ni sarflangan energiyaga nisbatan ko'proq energiya beradigan dvigatel yaratish mumkin emas.**

Quyidagi termodinamika jarayonida gazga beriladigan issiqlik nimalarga sarf bo'lishini umumiy holda ko'rib chiqamiz.

Qo'zg'aluvchan porshenli silindrga solingan 1kg gazga, ma'lum miqdordagi q issiqlikni bersak (6-rasm ), uning harorati ortadi, ya'ni gaz qiziydi. Demak, gaz molekulalarining harakati tezlashadi.

Molekulaning ilgarilanma va aylanma harakatining kinetik energiyasi, hamda molekula ichki tebranish energiyasi ham ortadi. Natijada gazning ichki kinetik energiyasi ortadi. Silindrdagi porshen qo'zg'aluvchan bo'lganligi uchun gazning isishi natijasida porshen yuqoriga ko'tariladi (porshen II-holatni oladi).



Gazning kengayishi sababli molekular orasidagi o'rtacha masofa uzayadi, bu esa molekular orasidagi tortish kuchidan kelib chiqadigan ichki potensial energiyani  $\Delta u$  ga kamaytiradi. Shu jarayon uchun energiya balansi quyidagicha:

$$q = \Delta u_k + \Delta u_n + \ell$$

$\ell$  - porshenni harakatlantirish uchun sarflangan ish  
Ichki energiyaning umumiy o'zgarishini  $\Delta u$  bilan belgilaymiz. 2.6-rasm

$$\Delta u = \Delta u_k + \Delta u_n$$

u holda,

$$q = \Delta u + \ell \quad (3.7)$$

**Bu termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi bo'lib, har qanday termodinamika jarayonida gazga berilgan issiqlik, uning ichki energiyasini orttirishga va tashqi ishni bajarishga sarf bo'lishini ko'rsatadi.**

Cheksiz kichik termodinamika jarayoni uchun (3.7) tenglikni o'zgartirish mumkin:

$$dq = du + d\ell \quad (3.8)$$

Ilgari aytib o'tganimizdek,  $du = c_v dT$  va  $d\ell = p d\vartheta$  bo'lgani uchun

$$dq = c_v dT + p d\vartheta \quad (3.9)$$

**Ohirgi ifoda – termodinamika birinchi qonunining differensial tenglamasi deyiladi.**

(3.9) tenglamadagi  $p \cdot d\vartheta$  o'rniga  $d(p\vartheta) - \vartheta dp$  ifodani almashtirish mumkin, chunki  $d(p\vartheta) = p d\vartheta + \vartheta dp$ .

Demak, 
$$dq = c_v dT + d(p\vartheta) - \vartheta dp \quad (3.10)$$

Keyingi matematik o'zgartirishlarni bajarish uchun gaz holati tenglamasini 1 kg gaz uchun yozamiz,  $p\vartheta = RT$ . Uni differensiallaymiz,

$$d(p\vartheta) = R dT \quad \text{va} \quad d(p\vartheta) \quad \text{qiymatini (a) tenglikka keltirib qo'yamiz, ya'ni}$$

$$dq = c_v dT + R dT - \vartheta dp \quad \text{yoki} \quad dq = (c_v + R) dT - \vartheta dp$$

Ma'lumki,  $s_r - s_v = R$  yoki  $c_r = R + c_v$ . Shuning uchun

$$dq = c_p dT - \vartheta dp \quad (3.11)$$

## 6. Gazlarning issiqlik sig'imi

**Bir birlik miqdordagi (1kg, 1m<sup>3</sup> yoki 1 kmol) gazni 1<sup>0</sup>S ga isitish uchun sarflanadigan issiqlikning miqdoriga, gazning issiqlik sig'imi deb yuritiladi.**

Shunga mos ravishda, gazning issiqlik sig'imi ham 3 xil bo'ladi, ya'ni

1. Gazning massa bo'yicha issiqlik sig'imi;
2. Gazning hajm bo'yicha issiqlik sig'imi;
3. Gazning kilomol bo'yicha issiqlik sig'imi.

Shunga ko'ra, gazning issiqlik sig'imini 3 xil ishora bilan belgilaymiz, shuningdek, ularning o'lchov birliklari ham 3 xil bo'ladi, ya'ni

1.  $c$  - massa bo'yicha issiqlik sig'imi, J/(kg K);

2.  $\bar{C}$  - hajm bo'yicha issiqlik sig'imi, J/(m<sup>3</sup> K);

3.  $\mu c$  - kilomol issiqlik sig'imi, J/kmol.

Gazning kilomol issiqlik sig'imi massa bo'yicha issiqlik sig'imining molekulyar massaga ko'paytmasidan iborat, ya'ni;

$$\mu c = c \mu, \text{ J/(kmol K)} \quad (3.12)$$

Massa bo'yicha issiqlik sig'imi kilomol issiqlik sig'imini gazning molekulyar massasiga bo'lgan nisbatiga teng

$$c = \frac{\mu c}{\mu}, \text{ J/kg.K} \quad (3.13)$$

Hajm buyicha issiqlik sig'imi, massa bo'yicha issiqlik sig'imi bilan gaz zichligini ko'paytmasiga teng.

$$\bar{C} = c \cdot \rho, \text{ J/m}^3 \text{ K} \quad (3.14)$$

Umumiy holatda, uchala turdagi issiqlik sig'imlarini o'zaro bog'lovchi ifodalari mavjud. Ular quyidagilar:

$$\mu c = c \cdot \mu = 22,4 \bar{C}$$

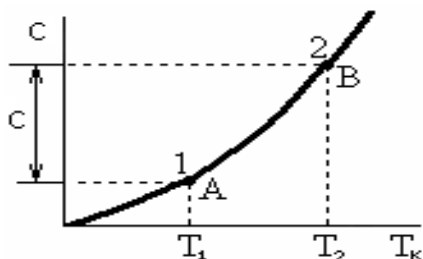
$$c = \frac{\mu c}{\mu} = \bar{C} \cdot \rho$$

$$\bar{C} = c \cdot \rho = \frac{c}{\rho} = \frac{\mu c}{22,4}$$

SI birliklar sistemasi bilan (ilgarigi) MKGS sistemasi orasida quyidagi bog'lanish mavjud,  $\mu c = c \cdot \mu = 22,4 \bar{C}$ .

**O'rtacha va haqiqiy issiqlik sig'imlari.** Biror ixtiyoriy AV jarayonda (7-rasm), ishchi jismning harakatini  $t_1$  dan  $t_2$  ga orttirish (yoki kamaytirish) uchun, gazni qizdirish (yoki sovitish) kerak bo'lsin. Buning uchun ma'lum miqdordagi issiqlik miqdori sarf qilinadi. Jarayonning AV oralig'ida gazning haroratini 1<sup>o</sup>S ga orttirish uchun sarf bo'ladigan issiqlik quyidagicha bo'ladi:

$$c_n = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (3.15)$$



(3.15) ifoda gazni  $t_1$  dan  $t_2$  gacha bo'lgan oralig'dagi o'rtacha issiqlik sig'imini ifodalaydi, ya'ni u 1<sup>o</sup>S ga qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdoridir.

Agar A nuqta bilan V nuqta orasidagi masofani qisqartirib, ya'ni  $t_2 - t_1$  farqni kamaytirib

borsak, 1 kg gazni har bir darajaga qizdirish uchun sarflanadigan issiqlik miqdori 7-rasm boshlang'ich holatda (A nuqtada) sarflanadigan issiqlik miqdoriga yaqinlashib boradi. Bunda  $t_2 - t_1$  haroratlar farqi qancha kamaysa, o'rtacha issiqlik sig'imi shuncha haqiqiy issiqlik sig'imiga yaqinlashadi. Demak, haroratlar farqi nolga teng bo'lganda, o'rtacha issiqlik sig'imi jarayonning A nuqtasidagi issiqlik sig'imi bilan bir xil bo'ladi.

Agar gazning haroratini  $\Delta t$  darajaga o'zgartirish uchun  $\Delta q$  miqdorda issiqlik sarflansa, haqiqiy issiqlik sig'imi quyidagicha bo'ladi:

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{yoki differensial ko'rinishda} \quad c = \frac{dq}{dt} \quad (3.16)$$

**Haqiqiy issiqlik sig'imi deb, qizdirish jarayonida haroratlar farqi cheksiz kichik bo'lganda, bir miqdor birligidagi gazni qizdirishga sarflangan solishtirma issiqlik miqdoriga aytiladi.**

Shu bilan birga jarayonning ma'lum nuqtasidagi issiqlik sig'imi, shu haroratda gazning xaqiqiy issiqlik sig'imini ifodalaydi.

Gazga berilgan issiqlik miqdori esa quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (3.17)$$

M kg gaz uchun esa quyidagini yozish mumkin, ya'ni

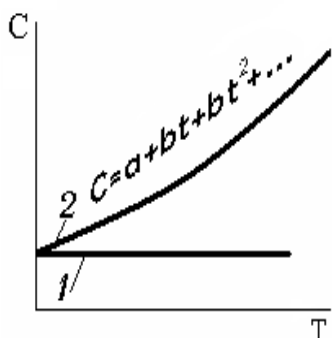
$$Q = M \cdot q = M \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (3.18)$$

**O'zgarmas va o'zgaruvchan issiqlik sig'implari.** Ideal gazlarda bosim issiqlik sig'imiga kam ta'sir qiladi. Shuning uchun, issiqlik sig'imi faqat haroratning funksiyasi bo'lib hisoblanadi, ya'ni ideal gazlarning (shu jumladan real gazlarning) issiqlik sig'imi harorat ortishi bilan ortib boradi va aksincha.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, past haroratlarda gazning issiqlik sig'imiga haroratning ta'siri sezilarli miqdorda bo'lmaydi. Shuning uchun, ba'zi hisoblashlarda shartli ravishda issiqlik sig'imini o'zgarmas (haroratga bog'liq emas) deb olinadi. Bunda hisoblash ishlari ancha yengillashadi:

$$q = c (t_2 - t_1), \quad \text{J/kg}, \quad Q = M c (T_2 - T_1), \quad \text{J}$$

Issiqlik sig'imi o'zgarmas deb olinsa, chizmada absissa o'qiga parallel 1-chiziq hosil bo'ladi (8-rasm).



Yuqori harorat va bosimda esa issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligi juda sezilarli bo'lib qoladi. Bunday holda, issiqlik sig'imining haroratga bog'lanishi 8-rasmdagi 2-chiziq orqali ifodalanadi. Egri chiziq tenglamasi esa quyidagicha:

$$c = a + bt_1 + bt_2 + \dots \quad (3.19)$$

Issiqlik sig'imi, haroratning funksiyasi bo'lganligi uchun biron harorat oralig'idagi gazga sarflangan issiqlik



miqdorini hisoblashda o'rtacha 2.8 - rasm issiqlik sig' imidan foydalaniladi:

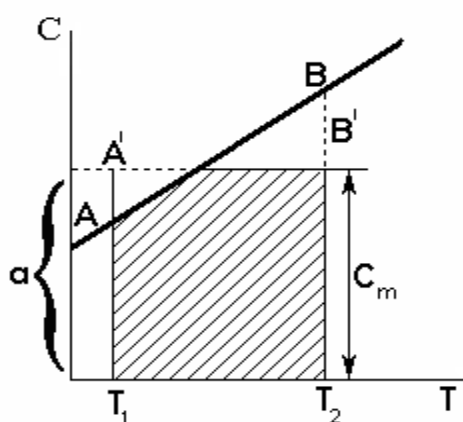
$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt = c / (t_2 - t_1) \quad (3.20)$$

(3.17) tenglikdan o'rtacha issiqlik sigimini aniqlaymiz:

$$c / m = \frac{q}{t_2 - t_1}, \quad c / = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c dt}{t_2 - t_1}$$

“c” ning o'rniga (3.19) tenglikdagi ifodani keltirib qo'ysak,

$$c / m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (a + bt + dt^2 + \dots) dt}{t_2 - t_1} = a + b \frac{t_1 + t_2}{2} + d \frac{t_1^2 - t_1 t_2 + t_2^2}{2} + \dots \quad (3.21)$$



Ko'rinib turibdiki, (3.21) ifoda orqali issiqlik sig' imini hisoblash ancha murakkab. Shuning uchun ko'pgina hollarda, issiqlik sig' imini haroratga bog'lanishini to'g'ri chiziqli tenglama bilan ifodalab ham yetarli aniqlikka erishish mumkin, ya'ni:

$$c = a + bt$$

Bunday issiqlik sig' imi haroratga to'g'ri chiziqli bog'langan issiqlik sig' imi deb yuritiladi.

Bunday hollarda o'rtacha issiqlik sig' imi 9-rasmda keltirilgan bo'lib quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$c_m = a + \frac{b}{3}(t_1 + t_2)$$

bu yerda,  $c_m$  - haroratlar oralig'idagi o'rtacha issiqlik sig' imi;

$a$  - gazning 273 K dagi issiqlik sig' imi;

$b$  - chiziq AB ning gorizont al o'qqa qiyalik burchagining tangensi.

Haroratga sig'imning bog'lanishi to'g'ri chiziqli bo'lganda o'rtacha issiqlik sig' imini hisoblashning boshqa usuli ham mavjud. Bunda gazni  $T_1$  dan  $T_2$  darajagacha qizdirish 2 ta davrga bo'lib olinadi.

1) 0 °S dan  $T_2$  °S gacha bo'lgan oraliq.:

U holda, shu oraliqlarda sarflangan issiqlik miqdorlari quyidagicha bo'ladi:

$$q_1 = c_m /_0^{T_1} \cdot T_1 \quad q_2 = c_m /_0^{T_2} \cdot T_2$$

2)  $T_1$  dan  $T_2$  gacha harorat oraligidagi o'rtacha issiqlik sig' imi quyidagicha aniqlanadi:

$$c_m /_{T_1}^{T_2} = \frac{c_m /_0^{T_2} \cdot T_2 - c_m /_0^{T_1} \cdot T_1}{T_2 - T_1} \quad (3.22)$$

$c_{v0}^{T_1}$  va  $c_{v0}^{T_2}$  larning son qiymatlari har hil gazlar uchun darslik va o'quv qo'llanmalarda jadval ko'rinishida berilgan bo'ladi.

**O'zgarmas hajmdagi ( $s_v$ ) va o'zgarmas bosimdagi ( $c_p$ ) issiqlik sig'implari.** Biz yuqorida issiqlik sig'imi haroratga bog'liq ekanligi haqida fikr yuritdik. Endi esa gazni qizdirish sharoitini o'zgartirib ko'ramiz.

10 - rasmda ifodalangan silindrdagi porshen qo'zg'almas qilib qoti-rilgan, 11 - rasmda esa shu porshen erkin harakat qila oladigan holatda ko'rsatilgan. Ikkala holatda ham  $G$  kg dan bir xil gazni  $T_1$  dan  $T_2$  gacha qizdirilsa, sarflanadigan issiqlik miqdorlarining teng bo'lmasligini ko'ramiz:

$$Q_p > Q_v, \quad M c_p (T_2 - T_1) > M c_v (T_2 - T_1)$$

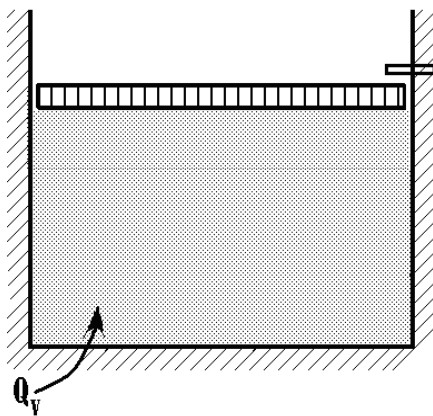
Buning sababi shuki, 10 - pasmdagi sharoitda gaz qizdirilsa gazning hajmi o'zgarmaydi, ya'ni  $\vartheta = const$ . U vaqtda berilgan issiqlik miqdori faqat molekulalarning kinetik energiyasini o'ttirishga sarflanadi.

11 - rasmdagi holatda esa, porshen harakatchan, bu yerda gaz qizishi bilan birga tashki ish bajaradi ( $r=sonst$ ).

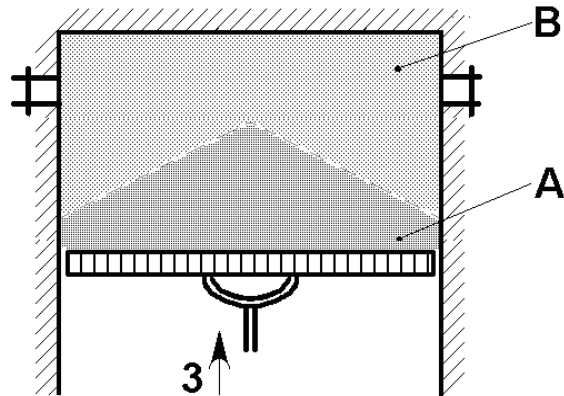
Gazni ikkala holatda isitishdagi sarflangan issiqlik miqdorlarining farqi, 11-rasmdagi da ( $\Delta S$ ) porshenning gaz kengayishidagi bajargan ishini ifodalaydi:

$$Q_p - Q_v = L \quad (3.23)$$

Bajarilgan ish  $L$  ni hisoblash uchun 11- rasmdagi gazning bosimini ( $rqsonst$ ), dastlabki va keyingi hajmlarini moc ravishda  $V_1$ ,  $V_2$  hamda bajargan ishini  $L$  bilan ifodalaymiz. U holda,  $L = p V_2 - p V_1$  bo'ladi.



10-rasm



11-rasm

Ma'lumki, gaz holati tenglamasiga asosan,

$$p_1 V_1 = MRT, \quad p_2 V_2 = MRT$$

Shuning uchun,  $L = MRT_2 - MRT_1 = MR (T_2 - T_1)$

Ishning olingan kiymati va  $Q_p$  hamda  $Q_v$  larning qiymatlarini (3.23) tenglikka keltirib qo'yamiz, natijada quyidagi ifoda kelib chiqadi.

$$M c_p (T_2 - T_1) - M c_v (T_2 - T_1) = MR (T_2 - T_1), \quad c_p - c_v = R \quad (3.24)$$

Demak, bosim o'zgarmagandagi ( $c_p$ ) va hajm o'zgarmagandagi ( $c_v$ ) massa

issiqlik sig'irlarining farqi shu gazning gaz doimiysi R ga teng.

**Ideal gazlarning kilomolli issiqlik sig'irlari.** Gazlarning molekulyar kinetik nazariyasiga asosan, ideal gazlarda kilomolli issiqlik sig'irlari ularning turlariga bog'liq bo'lmay, faqat gazning atom sonlariga bog'liq, ya'ni

$$\mu c_{02} = \mu c_{H_2} = \mu c_{N_2} = \dots = const$$

Har - xil atomli gazlarning kilomolli issiqlik sig'irlarining tarkibiy qiymatlarini esda saqlab qolish mumkin ( eski, MKGS birliklar sistemasida)

1-jadval

№	Gaz molekulasidagi atomlar soni	$\mu c_v$	$\mu c_p$
		Kkal/kmol.grad	Kkal/kmol.grad
1	Bir atomli gazlar	3	5
2	Ikki atomli gazlar	5	7
3	Ko'p atomli gazlar	7	9

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, gazlarning o'zgarmas bosimdagi kilomolli issiqlik sig'irlari o'zgarmas hajmdagidan 2 kkal/kmol grad. ga ko'proq, ya'ni

$$\mu c_p - \mu c_v = 1,985 = 2 \text{ Kkal/kmol.grad} \quad (3.25)$$

1 - jadvaldagi sonlarni (issiqlik sig'irlarining qiymatlarini) SI birliklari tizimiga keltirish uchun, har bir sonni 4,19ga ko'paytirilsa kifoya. Chunki, 1kkal = 4,1868 kJ = 4,19 kJ.

Termodinamika hisoblarida issiqlik sig'irlarining ayirmasi, (3.24) tenglikdan tashqari, ularning nisbatlari ham katta ahamiyatga ega, ya'ni

$$K = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.26)$$

Koeffisient “**K**” ning son qiymatlari faqat gazlarning atom sonlariga bog'liq.. Son qiymatini aniqlash uchun (3.26) tenglikning o'ng tomonidagi kasrning surat va

maxrajini  $\mu$  ga ko'paytiramiz.  $K = \frac{\mu \cdot c_p}{\mu \cdot c_v}$  ya'ni, kilomol issiqlik sig'irlarining nisbati hosil bo'ladi.

1-jadvalga asosan,

$$\text{bir atomli gazlar uchun} \quad K = \frac{\mu \cdot c_p}{\mu \cdot c_v} = \frac{5}{3} = 1,67,$$

$$\text{ikki atomli gazlar uchun} \quad K = \frac{7}{5} = 1,4,$$

$$\text{uch va ko'p atomli gazlar uchun} \quad K = \frac{9}{7} = 1,29.$$

Bu yerda shuni esda tutish lozimki, real gazlar uchun yuqoridagi sonlar biroz

Issiqlik sig'implari  $c_p$  va  $c_v$  haroratga bog'liq bo'lgani uchun qattalik  $K$  ham o'zgaruvchidir. Shuning uchun (2.24) ifodaga ko'ra

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v}$$

Gaz aralashmasining tarkibi asosan ikki xil usulda berilishi mumkin ekanligi ilgari aytib o'tilgan edi. Shunga qarab aralashmaning issiqlik sig'imini aniqlashda ham, ikki hil usul bo'ladi.

$$M_{a_r} \cdot c_{a_r} = M_1 c_1 + M_2 c_2 + \dots + M_n c_n = \sum_{i=1}^n M_i \cdot c_i$$

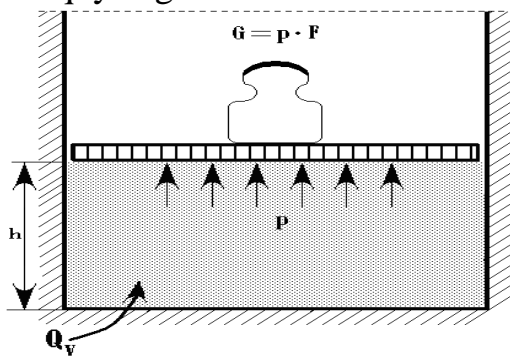
Ma'lumki  $\frac{M_i}{M_{ar}} = g_i$ , shuning uchun  $C_{ar} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n = \sum_{i=1}^n g_i c_i$

$$V_{ar} \bar{C}_{ar} = V_1 \cdot \bar{C}_1 + V_2 \cdot \bar{C}_2 + \dots + V_n \bar{C}_n = \sum_{i=1}^n V_i \bar{C}_i$$
$$\bar{C}_{ar} = r_1 \bar{C}_1 + r_2 \bar{C}_2 + \dots + r_n \bar{C}_n = \sum_{i=1}^n r_i \bar{C}_i$$

$$r_i = \frac{V_i}{V_{ar}}$$

## 7. Gaz entalpiyasi.

Yukni muvozanat holatda ushlab turgan gazning potensial energiyasi quyidagicha bo'ladi  $G = p \cdot V$ , chunki  $\mathcal{G} = F \cdot h$  bu yerda  $g$  - tortish kuchining erkin tushish tezlanishi. Ushbu misolimizdagi gazning to'la energiyasi quyidagicha bo'ladi:



$$h = u + p\mathcal{G} \tag{3.27}$$

bu yerda  $p^g$  ko'paytma  $g$  hajmdagi gazni turtishdagi bajargan ishi bo'lib, shu  $g$  hajm

miqdoridagi muhitni turtib bo'shatishga sarfbo'ladi, ya'ni  $\rho$  hajmdagi 12- rasmga muhitga chiqishi uchun unga shuncha hajmdagi muhit kerak.  $p \rho$  ko'paytma, gazning turtish ishi yoki gaz bosimining potensial energiyasi deb yuritiladi.

Gazning to'la energiyasi  $h$ - gazning entalpiyasi deb yuritiladi. Bu energiya gaz holati ko'rsatkichlarining funksiyasidir. Shuning uchun, entalpiya  $u$  ham gaz holatini belgilovchi kattalik bo'lib hisoblanadi.

Endi entalpiyaning son qiymatini aniqlaymiz. Ma'lumki, ichki energiyaning absolyut qiymati  $u = c_v T$ .

Gaz holati tenglamasi esa 1 kg gaz uchun  $p \rho = RT$ .

Shuning uchun (2.25) tenglikni quyidagicha yozish mumkin.

$$h = c_v T + R T = (c_v + R) T = c_p T, \quad h = c_p T \quad (3.28)$$

Demak, gaz entalpiyasining son qiymati, gaz haroratini mutloq nol darajadan  $T$  darajagacha o'zgarmas bosimda qizdirish uchun sarflangan issiqlik

$$h = c_p \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \cdot T[\text{K}]$$

miqdoriga teng. Entalpiyaning o'lchov birligini aniqlaymiz,

demak

$$h = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Gaz entalpiyasining fizik ma'nosini tushunish uchun misol keltiramiz. Masalan, biror gaz uchun entalpiyaning qiymati  $h = 1500 \text{ J/kg}$  bo'lsa, buni shunday tushunish kerak. Demak, shu gazning har bir kilogrammida 1500 J energiya mavjud. Boshqacha qilib aytganda, gaz entalpiyasi holat parametri bo'lib,  $u$  gaz tarkibidagi energiya miqdorini ifodalaydi.

Termodinamika jarayoni uchun ishchi jism (gaz) entalpiyasining o'zgarishini yozamiz:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c_p \cdot T_2 - c_p \cdot T_1 = c_p (T_2 - T_1)$$

Demak, entalpiyaning o'zgarish miqdori ham ichki energiya o'zgarishi kabi, har qanday termodinamika jarayoni uchun bir xil ifoda bilan aniqlanadi, ya'ni

$$\Delta h = c_p (T_2 - T_1) \quad (3.29)$$

## 8. Gaz entropiyasi

Yuqorida ko'rib o'tganimizdek,  $p$ ,  $\rho$ ,  $T$ ,  $u$  va  $h$  gaz holatining parametrlari (ko'rsatkichlari) bo'lib hisoblanadi. Lekin issiqlik miqdori  $q$  va ish  $\ell$  gaz holati ko'rsatkichlari bo'la olmaydi.

Har qanday termodinamika jarayonida qatnashadigan issiqlik miqdorini bilish nuqtai-nazaridan termodinamikada yana bir gaz holatining ko'rsatkichi – **entropiya** kiritilgan.

Faraz qilaylik, boshlang'ich va oxirgi holatiga ega bo'lgan ideal gaz qaytuvchan termodinamikaning jarayonini bajarmoqda. Jarayon davomida gazning harorati o'zgarib turadi.

Agar jarayonni cheksiz kichik va bir-biriga cheksiz yaqin bo'laklarga bo'lsakda, har bir bo'lakda  $dq$  issiqlik beriladi deb olsak, bunda biz cheksiz kichik jarayon oraliq'ida gazning harorati deyarli o'zgarmaydi deyishimiz mumkin.

Cheksiz kichik jarayonda gazga berilgan issiqlikni gazning mutloq haroratiga nisbatini **keltirilgan issiklik** deb ataymiz va  $ds$  bilan belgilaymiz, ya'ni:

$$\frac{dq}{T} = ds \quad (3.30)$$

Bu ifodadan cheksiz kichik jarayonda gazga berilgan issiqlikni aniqlash mumkin:

$$dq = Tds \quad (3.31)$$

Ma'lumki, gazning termodinamika harorati "**T**" doimo musbat qiymatga ega, shuning uchun, ohirgi olingan tenglikka qarab fikr yuritish mumkin. Agar gazga issiqlik berilsa, entropiya ortadi (ya'ni entropiyaning orttirmasi musbat) va aksincha, gazdan issiqlik olinsa, entropiya ham kamayadi.

Entropiyani aniqlashda boshqa yo'l tutish ham mumkin. Buning uchun termodinamika birinchi qonunining differensial ko'rinishdagi tenglamasi (2.9) ni **T**

ga bo'lamiz, ya'ni 
$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{pd\vartheta}{T}$$

Gaz holati tenglamasi  $p\vartheta = RT$  ni quyidagicha o'zgartiramiz  $\frac{p}{T} = \frac{R}{\vartheta}$  va yuqoridagi tenglamaga qo'yamiz.

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\vartheta}{\vartheta} \quad \text{yoki} \quad ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{Rd\vartheta}{\vartheta} \quad (3.32)$$

Bu kattalik, gazning har bir holati uchun aniq qiymatga ega bo'ladigan gaz holatining ma'lum funksiyasi bo'lib, termodinamikada **entropiya** deyiladi. Demak, entropiya - ma'lum funksiya "**s**" ning to'la differensial bo'lib, u faqat gaz holatining ko'rsatkichlariga bog'liq. Shuning uchun entropiyaning o'zi ham gaz holatining ko'rsatkichi bo'lib hisoblanadi.

Entropiyaning mutloq qiymati termodinamikada unchalik ahamiyatsiz, o'zgarishi esa katta ahamiyatga ega, chunki yuqorida aytib o'tganimizdek, entropiyaning o'zgarishi jarayon davridagi gazga berilayotgan (yoki olinayotgan) issiqlik miqdorini to'la harakterlaydi. Shuning uchun termodinamikada ishchi jism entropiyasining o'zgarishi aniqlanadi:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} - R \int_{g_1}^{g_2} \frac{dg}{g}$$

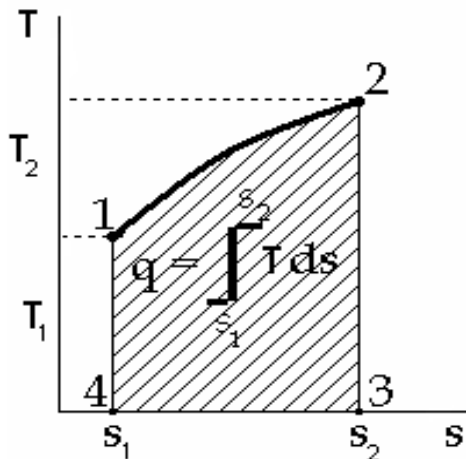
yoki

$$\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (3.33)$$

**“Ts”-diagrammasi.** Termodinamika jarayonlarini “ $p, g$ ” diagrammada ifodalash bilan bir qatorda “Ts” diagrammasida ifodalash ham juda qulay va tushunarli. Bunda absissa o’qiga ma’lum masshtabda entropiyaning qiymati, ordinata o’qiga esa termodinamika haroratining qiymatlari qo’yiladi (13-rasm).

Agar gaz 1-holatidan 2-holatiga o’tishda  $T=f(s)$  egri chizig’i orqali borilgan bo’lsa, u holda

$$dq = T \cdot ds \quad \text{va} \quad q = \int_{s_1}^{s_2} T ds \quad (3.34)$$



Demak, bundan ko’rinib turibdiki, **“Ts”-diagrammada** jarayonni ko’rsatuvchi egri chiziq, boshlang’ich va oxirgi holatlar orqali o’tgan ikkala ordinatalar va absissa o’qlari bilan chegaralangan yuza 1-2-3-4-1 ma’lum masshtabda jarayonda qatnashgan issiqlik miqdori ( $q$ ) ni ifodalaydi.

Shuning uchun termodinamika jarayonlarini bunday koordinatalarda ifodalashni **“Ts”-diagrammasi yoki issiqlik diagrammasi** (yuza issiqlik miqdorini ifodalagani uchun) deyiladi. 13 – rasm.

## 9. Yopiq tizimlarda termodinamikaning asosiy jarayonlari

**Jarayonlarni o’rganishdagi asosiy qoidalar.** Termodinamika-da katta rol o’ynovchi va amaliy ahamiyatga ega bo’lgan asosiy termodinamika jarayonlari quyidagilar:

1. O’zgarmas hajmli (izoxorik) jarayon;
2. O’zgarmas bosimli (izobarik) jarayon;
3. O’zgarmas haroratli (izotermik) jarayon;
4. Tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydigan (adiabatik) jarayon;
5. Ixtiyoriy, umumiy (politropik) jarayon.

Jarayonlarni o’rganish ikki yo’nalishda olib boriladi:

1. Ishchi jism ko’rsatkichlarining o’zgarish qonuniyatlarini aniqlash;
2. Har bir jarayonda ishchi jism holatining ko’rsatkichlariga qarab energiya-ning boshqa tur energiyaga aylanishidagi xususiyatlarini aniqlash.

Yuqoridagi talablarni hisobga olgan holda har bir termodinamika jarayoni

quyidagi ketma-ketlikda tahlil qilinadi:

1. Termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi va gaz holati tenglamasi asosida termodinamika jarayonning tenglamasini keltirib chiqarish;
2. Jarayonning tenglamasi bo'yicha " $p\vartheta$ " va  $Ts$  " diagrammalarini chizish;
3. Jarayonda gaz holati ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanishni aniqlash;
4. Jarayonda ichki energiyaning o'zgarishini aniqlash;
5. Jarayonda gazning bajargan ishini hisoblash;
6. Jarayonni bajarish uchun gazga beriladigan (yoki olinadigan) issiqlik miqdorini aniqlash;
7. Jarayonda issiqlikning qanday taqsimlanishini o'rganish uchun gazning ichki

energiyasini o'zgartirishga sarf bo'ladigan issiqlikning qismini  $\alpha = \frac{\Delta u}{q}$  hisoblash;

8. Jarayonda entropiya o'zgarishini hisoblash.

**Izoxorik jarayon.** Ishchi jismning hajmi o'zgarmas holda bajariladigan termodinamika jarayoni **izoxorik jarayon** deyiladi.

- 1) Jarayonning tenglamasi  $\vartheta = const$
- 2) Jarayonning  $p\vartheta$  va  $Ts$  diagramalaridagi tasviri 14- rasm va 15- rasm larda ko'rsatilgan.
- 3) Ko'rsatkichlar orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun gazning dastlabki va ohirgi holati uchun holat tenglamalarini yozamiz:

$$p_1\vartheta_1 = RT_1 \quad \text{va} \quad p_2\vartheta_2 = RT_2$$

izoxorik jarayon uchun  $\vartheta_1 = \vartheta_2 = const$  ekanligi hisobga olgan holda, oxirgi ikkala tenglamani o'zaro bo'lib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

**Demak, gazning bosimi uning termodinamika haroratiga proporsional ravishda o'zgaradi.**

- 4) Ichki energiyaning o'zgarishi:

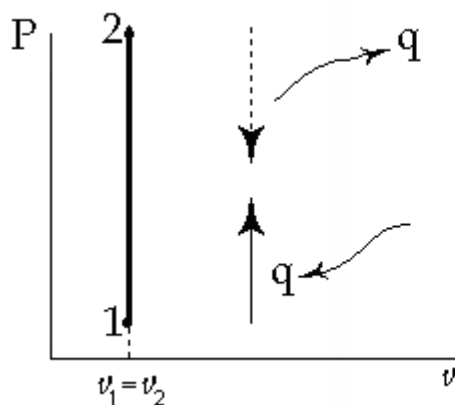
$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) \quad \text{va} \quad du = c_v dT$$

$$\ell = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta$$

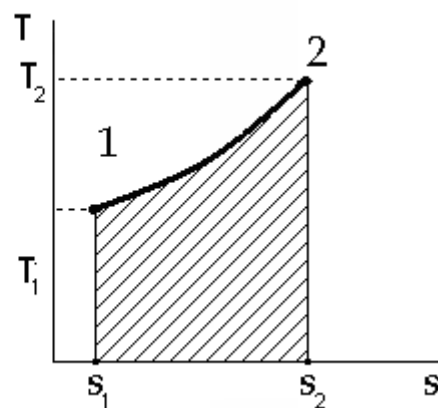
- 5) Jarayonda bajarilgan ish:

bu yerda,  $\vartheta = const$  bo'lganligi uchun  $d\vartheta = 0$  bo'ladi. Demak,  $\ell=0$ , ya'ni





14 – rasm.



15- rasm.

izoxorik jarayonda gaz tashqi ish bajarmaydi. Ushbu xulosani 14- rasmda ko'rish mumkin. Grafikda ishni ifodalovchi yuza nolga teng.

6) Jarayonda gazga berilgan (yoki olingan) issiqlikni aniqlash uchun termodinamika birinchi qonunining tenglamasini yozamiz:

$$q = \Delta u + \ell$$

izoxorik jarayon uchun  $\ell = 0$  bo'lgani uchun  $q = \Delta u = c_v(T_2 - T_1)$ , ya'ni **izoxorik jarayonda gazga berilgan issiqlik gazning ichki energiyasini ortishi (kamayishi)ga sarf bo'ladi.**

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{q}{q} = 1$$

7)  $\alpha$  ning qiymatini hisoblaymiz.

8) Jarayonda entropiyaning o'zgarishini (2.33) tenglik orqali aniqlash mumkin:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} - \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta}$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 = \text{const}, \Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

izoxorik jarayonda bo'lgani uchun

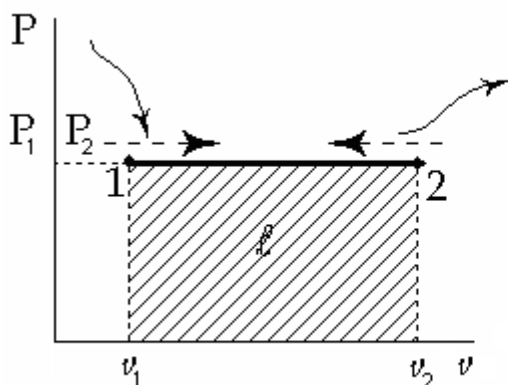
$$\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.35)$$

Jarayon Ts diagrammasida issiqlik berish bilan boradigan 1-2 egri chizig'i bilan ifodalanadi (15- rasm). Jarayon davomida gazning entropiyasi ortib boradi, chunki entropiyaning orttirishi musbat.

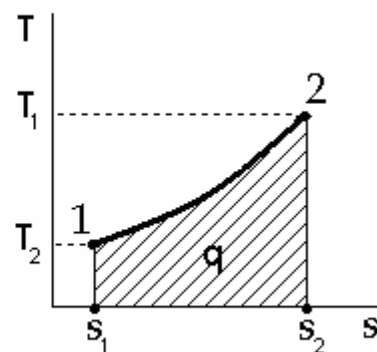
**Izobarik jarayon.** O'zgarmas bosim holatida bajariladigan xar qanday termodinamika jarayon – **izobarik jarayon** deyiladi.

1) Jarayonning tenglamasi  $p = \text{const}$ .

2) Jarayonning  $p\vartheta$  va  $Ts$  diagrammalaridagi ifodasi rasm 16 va rasm 17 larda tasvirlangan.



16-rasm.



17-rasm.

1-2 chizigi  $p\vartheta$  diagrammada ham, Ts diagrammada ham izobara chizig'i deb yuritiladi.

3) Ko'rsatkichlar orasidagi bog'lanishni aniqlash maqsadida, gazning dastlabki va oxirgi holatlari uchun gaz holatlari tenglamalarini yozamiz:

$$p_1\vartheta_1 = RT_1 \quad \text{va} \quad p_2\vartheta_2 = RT_2$$

izobarik jarayon uchun  $p_1 = p_2 = \text{const}$  ekanligini hisobga olgan holda tengliklarni o'zaro bo'lamiz va quyidagiga ega bo'lamiz.

$$\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Izobarik jarayonda gaz hajmining ortishi uning termodinamika haroratiga proporsional bog'langan.

4) Ichki energiyaning o'zgarishi **izoxorik** jarayondagi kabi bo'ladi, ya'ni:

$$\Delta u = c_v(T_2 - T_1) \quad \text{va} \quad du = c_v dT$$

5) Jarayonda gazning bajargan ishi (rqsonst):

$$\ell = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta = p \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} d\vartheta = p(\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (3.36)$$

Bajarilgan ishni boshqacharoq ifodalash ham mumkin. Buning uchun  $p\vartheta = RT$  tenglamani hisobga olgan holda (3.36) tenglikka matematik o'zgartirish kiritamiz, ya'ni

$$\ell = p(\vartheta_2 - \vartheta_1) = p\vartheta_2 - p\vartheta_1 = RT_2 - RT_1 = R(T_2 - T_1)$$

Demak,

$$\ell = R(T_2 - T_1) \quad (3.37)$$

6) Jarayonda gazga berilgan issiqlikni termodinamika birinchi qonunining tenglamasi orqali aniqlaymiz  $q = \Delta u + \ell$  yoki (3.37) tenglikni va  $\Delta u$  ning qiymatini hisobga olganda:

$$q = c_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) = (c_v + R)(T_2 - T_1)$$

Ilgari ko'rib o'tganimizdek,  $s_r - s_v = R$  edi. Tenglikni o'zgartirsak,  $c_v + R = c_p$

bo'ladi. Shuning uchun:

$$q = c_p (T_2 - T_1) \quad (3.38)$$

Izobarik jarayondagi issiqlik ( $q$ ) ni entalpiyalarning qiymatlari orqali fodalash mumkin:  $q = \Delta u + \ell$

bu yerda,  $\Delta u = u_2 - u_1$  va  $\ell = p(\vartheta_2 - \vartheta_1)$  bo'lgani uchun

$$q = u_2 - u_1 + p(\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad \text{yoki} \quad q = u_2 - u_1 + p\vartheta_2 - p\vartheta_1$$

Bir xil indeksli kattaliklarni guruhlaymiz  $q = (u_2 + p\vartheta_2) - (u_1 + p\vartheta_1)$   
 $h = u + p\vartheta$  bo'lganligi uchun:

$$q = h_2 - h_1 \quad (3.39)$$

Demak, izobarik jarayonda gazga berilgan issiqlik boshlang'ich va oxirgi holatdagi entalpiyalarning ayirmasiga teng.

7) Izobarik jarayon uchun  $\alpha$  ning qiymati quyidagicha:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{K} \quad (3.40)$$

**Demak, izobarik jarayonda gazga berilgan issiqlikning  $\frac{1}{K}$  hissiyasi yoki boshqacha qilib aytganda,  $100/K$  prosenti, gazning ichki energiyasining ortishiga sarf bo'ladi.**

8) Entropiyaning o'zgarishi quyidagicha aniqlanadi:

$$ds = \frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T}$$

chunki,  $dq = c_p dT$  ga teng edi. Tenglikni  $T_1$  dan  $T_2$  oraliqda integrallasak, Demak,

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.41)$$

Entropiyaning  $\Delta s$  ning o'zgarishini izobarik jarayon uchun boshqacha usulda hisoblash ham mumkin. Buning uchun (3.32) tenglikdan foydalanamiz:

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\vartheta}{\vartheta}$$

Izobarik jarayon uchun ko'rsatkichlar orasidagi quyidagi bog'lanishni hisobga olsak,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

$$\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = (c_v + R) \ln \frac{T_2}{T_1}$$

yoki

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{chunki} \quad c_v + R = c_p$$

Izobara chizig'i  $Ts$  diagrammasida absissa o'qiga ma'lum qiyalikdagi logarifmik

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{T}{c_p}$$

egri chiziq bo'ladi. Qiyalik burchagi  $c_p$  ga teng bo'ladi. Agar  $Ts$  diagrammasidagi izoxora chiziqlari bilan izobara chiziqlarini taqqoslasak, mos ravishda quyidagi qiyalik burchaklarini ko'ramiz,

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{T}{c_v} \quad \text{va} \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{T}{c_p}$$

Bir xil haroratlarda, izoxoraning izobaraga nisbatan o'qqa qiyaligi kattaroq bo'ladi, ya'ni izoxora chizig'i tikroq ko'tarilib boradi (15 -rasm va 17 -rasm 3.17 lar taqqoslab ko'rilsin).

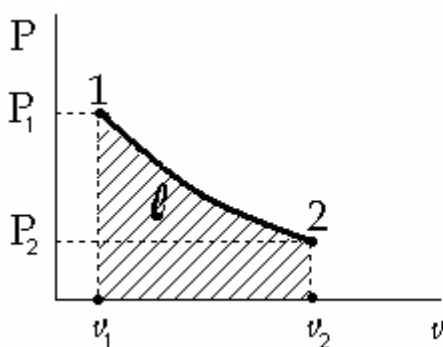
Haroratning izoxorik jarayonda tez (nisbatan keskinroq) ko'tari-lishining asosiy sababi - bu jarayonda gazga berilgan issiqlikning barchasi ichki energiyani o'ttirishga, ya'ni gaz haroratini ko'tarishga sarflanadi.

**O'zgarmas haroratli (izoterma) jarayoni.** Ishchi jism harorati o'zgarmas holda bajariladigan xar qanday termodinamika jarayoni - **izoterma** deyiladi.

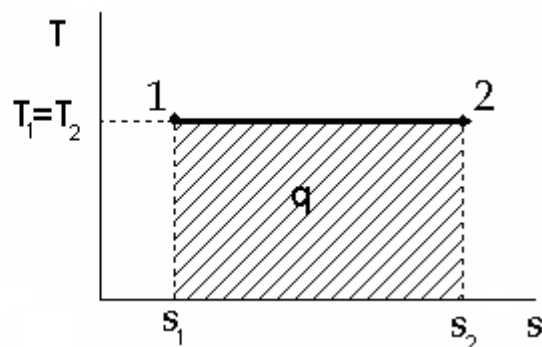
- 1) Jarayonning tenglamasi  $p \vartheta = \text{const}$ .
- 2) Jarayonning bajarilish sharti esa  $Ts = \text{const}$ .

Jarayonning  $p \vartheta$  diagrammadagi ifodasi logarifmik egri chiziq.  $Ts$  diagrammasida esa absissa o'qiga parallel bo'lgan chiziqdır. (18 -rasm va 19-rasmlar).

2) Ko'rsatkichlar orasidagi bog'lanishni jarayonning tenglamasidan aniqlash mumkin, ya'ni



18 -rasm



19- rasm

$$p_1 \vartheta_1 = p_2 \vartheta_2 = \text{const} \quad \text{yoki} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \quad (3.42)$$

Demak, jarayonda ishchi jismning bosimi, uning solishtirma hajmiga teskari proporsional bog'langan.

4) Gazning bajargan tashqi ishini aniqlaymiz:

$$\ell = \int_{g_1}^{g_2} p d g$$

Gaz holati tenglamasidan bosimi qiymatini aniqlaymiz va ishning tenglamasiga

keltirib qo'yamiz, ya'ni  $p g = RT$ ,  $p = \frac{RT}{g}$  dan

$$\ell = \int_{g_1}^{g_2} p d g = \int_{g_1}^{g_2} \frac{RT}{g} d g = RT \int_{g_1}^{g_2} \frac{d g}{g} = RT \ln \frac{g_2}{g_1}$$

chunki,  $RT = \text{const}$  bo'lgani uchun:

$$\ell = RT \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (3.43)$$

yoki

$$\ell = 2,3 RT \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (3.44)$$

Jarayonda gaz ichki energiyasining o'zgarishi nolga teng bo'ladi:  $\Delta u = 0$ , chunki,  $T_1 = T_2 = \text{const}$ .

6) Jarayonda gazga beriladigan issiqlikni aniqlaymiz, bu yerda  $\Delta u = 0$  bo'lgani uchun:

$$q = \ell = RT \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (3.45)$$

7) Oxirgi tenglikdan ko'rinib turibdiki, **izotermik jarayonda gazga beriladigan issiqlikning barchasi ish bajarilishiga sarf bo'ladi**. Gazning ichki energiyasi bu jarayonda o'zgarmaydi.

8) Gazga jarayonda issiqlik berilar ekan, demak uning entropiyasi ham o'zgaradi (ortadi), (3.32) tenglikka asosan

$$\Delta s = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + R \int_{g_1}^{g_2} \frac{d g}{g}$$

Ushbu jarayon  $dT=0$ , ya'ni  $T = \text{const}$  bo'lganligi uchun

$$\Delta s = s_2 - s_1 = R \ln \frac{g_2}{g_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.46)$$

**Tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydigan (adiabata) jarayoni.** Ishchi jism bilan tashqi muhit orasida issiqlik almashmaydigan har qanday holat o'zgarishidagi termodinamika jarayoni - **adiabata** deyiladi. Bu jarayonni ideal jarayon deyish mumkin, chunki xaqiqiy(mavjud) jarayonlarning barchasida ham oz yoki ko'p miqdorda tashqi muhit bilan issiqlik almashinish hollari sodir bo'ladi.

Amalda adiabatik jarayoniga yaqin keladigan jarayonlar – o'ta tez sodir bo'ladigan jarayonlar bo'lib, ularda ichki jism tashqi muhit bilan issiqlik almashinib ulgura olmaydi, ya'ni jarayon qanchalik tez (oniy) sodir bo'lsa, u

shuncha adiabatga yaqinlashgan bo'ladi. Jarayon tenglamasini keltirib chiqamiz. Jarayonning bajarilish sharti esa  $dq=0$ . Termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi differensial ko'rinishda:

$$dq = c_v dT + p d\vartheta$$

yoki (2.7) tenglikka asosan  $dq = c_p dT - \vartheta dp$  Ikkala tenglikda ham  $dq=0$  bo'lgani uchun

$$c_v dT + p d\vartheta = 0$$

$$c_p dT - \vartheta dp = 0$$

yoki

$$c_v dT = -p d\vartheta$$

$$c_p dT = \vartheta dp$$

Ikkinchi tenglikni birinchi tenglikka (qo'yamiz) bo'lamiz:

$$\frac{c_p}{c_v} = -\frac{\vartheta}{p} \cdot \frac{dp}{d\vartheta}$$

$$K = \frac{c_p}{c_v} \quad K = -\frac{\vartheta \cdot dp}{p \cdot d\vartheta}$$

bo'lgani uchun

ba'zi bir o'zgartirishlardan so'ng

$$-K \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{dp}{p}$$

Oxirgi tenglikni integrallaymiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$-K \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p}$$

Tenglikni chap tomonidagi koeffitsiyent " $K$ " ni ishorasini hisobga olgan holda logarifm belgisi ostiga kiritamiz:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \left( \frac{\vartheta_1^K}{\vartheta_2^K} \right)$$

Matematika kursidan ma'lumki, agar ikki sonning logarifmlari o'zaro teng bo'lsa, ularning o'zlari ham bir-biriga teng bo'ladi. Shunga ko'ra:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\vartheta_1^K}{\vartheta_2^K}$$

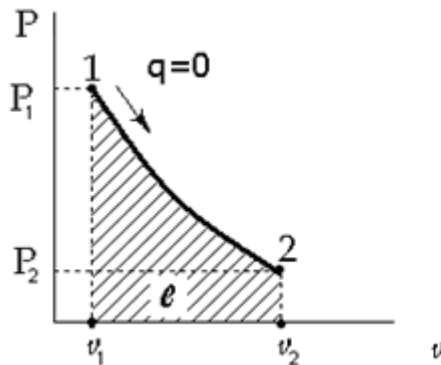
yoki oxirgi tenglikdan yozish mumkinki,

$$p_1 g_1^K = p_2 g_2^K = \dots = p_n g_n^K = \text{const}$$

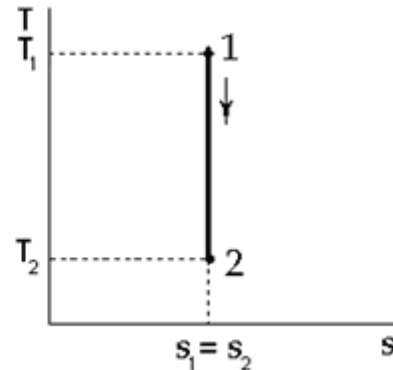
Shunday qilib, adiabatik jarayonning tenglamasi umumiy holatda quyida-gicha bo'ladi.

$$p g^K = \text{const} \quad (3.47)$$

Adiabatik jarayonning  $p g$  diagrammadagi ifodasi giperbola chizig'i bilan,  $Ts$  diagrammada esa vertikal (ordinata o'qiga parallel) chiziq bilan ifodalanadi.



20- rasm



21- rasm

Jarayonda gaz ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanish:

a) bosim va solishtirma hajm orasidagi bog'lanishni jarayonning tenglamasidan olamiz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{g_2}{g_1} \right)^{\frac{1}{K}} \quad \text{yoki} \quad \frac{g_1}{g_2} = \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (3.48)$$

b) harorat va solishtirma hajm orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun jarayondan gazning boshlang'ich va oxirgi holatlarini xarakterlovchi tenglamalarni yozib, ularni o'zaro bo'lamiz,

$$p_1 g_1 = RT_1 \quad \text{va} \quad p_2 g_2 = RT_2$$

va

$$\frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{g_1}{g_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3.49)$$

Oxirgi (A) tenglikka  $r_1/r_2$  nisbatning qiymatining qo'yamiz.

(2.49) tenglikdan keltirib

$$\left( \frac{g_2}{g_1} \right)^K \cdot \frac{g_1}{g_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Soddalashtiramiz:

$$\left( \frac{g_2}{g_1} \right)^{K-1} = \frac{T_1}{T_2}$$

yoki

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{K-1}} = \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_1} \quad (3.50)$$

v) harorat bilan bosim orasidagi bog'lanishni aniqlash uchun (2.49) tenglikka  $\mathcal{G}_1 / \mathcal{G}_2$  nisbatning qiymatini (3.48) tenglikdan keltirib qo'yamiz.

$$\frac{p_1}{p_2} \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{K}} = \frac{T_1}{T_2}$$

Soddalashtiramiz

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{va} \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{K}{K-1}} \quad (3.51)$$

Ichki energiyaning o'zgarishi yuqorida ko'rib o'tilgan termodinamika jarayoni kabi bo'ladi, ya'ni

$$\Delta u = u_1 - u_2 = c_v (T_2 - T_1)$$

jarayonda gazning bajargan tashqi ishini aniqlash uchun termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasidan foydalanamiz  $dq = du + d\ell$ .

Adiabatik jarayonda  $dq=0$  bo'lgani uchun  $d\ell = -du = -c_v dT$ .

$$\ell = -\int_{T_1}^{T_2} c_v dT = -c_v (T_2 - T_1) = c_v (T_1 - T_2)$$

Oxirgi tenglikni integrallaymiz :

Tenglikdagi  $c_v$  ning qiymatini quyidagi ko'rinishda o'zgartiramiz. Ma'lumki,  $c_p - c_v$

$$\frac{c_p}{c_v} = K$$

= R va  $c_v$  edi. Demak,  $c_p = c_v \cdot K$  yoki  $c_v K = R$ ,

$c_v = \frac{R}{K-1}$  bo'ladi. Endi  $c_v$  ning qiymatini ish tenglamasiga keltirib qo'yamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$\ell = \frac{R}{K-1} (T_1 - T_2) \quad (3.52)$$

Gaz holati tenglamasidan foydalanib oxirgi tenglikning ko'rinishini o'zgartirish mumkin, ya'ni tenglikdagi qavsni va ko'paytmalar o'rniga  $p \mathcal{G}$  ko'paytmalarini qo'yamiz:

$$\ell = \frac{1}{K-1} (p_1 \mathcal{G}_1 - p_2 \mathcal{G}_2) \quad (3.53)$$



Agar oxirgi tenglamadagi  $p_1 \mathcal{G}_1$  ni qavs tashqarisiga chiqarsak va jarayondagi ko'rsatkichlar orasidagi bog'lanishlardan foydalanib, tenglamaga matematik o'zgartishlar kiritsak, adiabatik jarayonda bajarilgan ish uchun yana bir tenglama hosil qilamiz:

$$\ell = \frac{p_1 \mathcal{G}_1}{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{p_1 \mathcal{G}_1}{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} \right)^{k-1} \right] \quad (3.54)$$

Adiabatik jarayonda gazga tashqaridan issiqlik berilmagani uchun ishchi jismning bajargan ishi ichki energiyaning kamayishi hisobiga bo'ladi, ya'ni gaz tashqi ish bajarishi uchun uning ichki energiyasi kamayishi kerak.

Gaz ichki energiyasini o'zgartirish uchun sarflanadigan issiqlikning qismi, bu jarayon uchun quyidagicha bo'ladi:

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

Adiabatik jarayonda  $dq=0$  bo'lgani uchun, entropiya o'zgarmaydi. Shuning uchun, adiabatik jarayon, ba'zi hollarda "izoentropiya" jarayoni ham deb yuritiladi. Buni 2.20.-rasmdan ham osongina tushunish mumkin. Jarayonning tenglamasidagi daraja ko'rsatkichi – **“K” adiabata ko'rsatkichi deyiladi.** Uning son qiymati gazning turiga bog'liq bo'lmay, faqat gaz molekulasining atom soniga bog'liq.

**Umumiy (politrop) jarayonlar.** Yuqorida ko'rib chiqilgan 4 ta termodinamika jarayonining har biri uchun bajarilish sharti mavjud edi. Masalan, xajm o'zgarmas, bosim o'zgarmas va h.k. Tabiatda uchraydigan termodinamika jarayonida ishchi jismning barcha ko'rsatkichlari o'zgarishi va sistema tashqi muhitdan ajralmagan bo'lishi mumkin.

Haqiqiy (real) termodinamika jarayonlarida ishchi jism holati murakkab sharoitda o'zgaradi, yuqorida qarab chiqilgan 4 ta sodda termodinamika jarayonlari shu murakkab (real) jarayonlarning faqat xususiy xollari bo'ladi. Shunday qilib, politrop jarayonlari hyech qanday bajarilish shartiga ega bo'lmagan, eng umumiy termodinamika jarayonlaridir.

Jarayonning tenglamasi keltirib chiqariladi. Ilgari ko'rib o'tganimizdek, har bir termodinamika jarayoni uchun  $\alpha$  ning qiymati quyidagicha:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} \quad \text{yoki} \quad q = \frac{\Delta u}{\alpha}$$

tenglikni differensiallaymiz:

$$dq = \frac{1}{\alpha} du = \frac{c_v}{\alpha} dT$$

$$\frac{c_v}{\alpha}$$

bu yerda,  $\alpha$  nisbat politrop jarayonida gazning issiqlik sig'imi deyiladi va  $s_n$  bilan belgilanadi. U holda

$$dq = c_n dT \quad (3.55)$$

Termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi differensial ko'rinishda yozamiz:

$$dq = c_v dT + p d\vartheta$$

Yshbu tenglik bilan (2.54) tenglikni taqqoslab, quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$c_n dT = c_v dT + p d\vartheta$$

$$c_n dT - c_v dT - p d\vartheta = 0 \quad \text{yoki} \quad (c_n - c_v) dT - p d\vartheta = 0 \quad (3.56)$$

$dT$  ning qiymatini aniqlash uchun, gaz holati tenglamasidan " $T$ " ni aniqlab, keyin differensiallaymiz:

$$p\vartheta = RT, \quad T = \frac{p\vartheta}{R}$$

yoki

$$dT = \frac{d(p\vartheta)}{R}$$

$dT$  ning qiymatini (a) tenglikka keltirib qo'yamiz:

$$\frac{c_n - c_v}{R} (p d\vartheta + \vartheta dp) = p d\vartheta$$

Tenglikni o'ng va chap tomonlarini  $\frac{c_n - c_v}{R}$  nisbatga bo'lamiz va ifodani ixchamlaymiz:

$$p d\vartheta + \vartheta dp - \frac{R}{c_n - c_v} p d\vartheta = 0$$

yoki

$$\vartheta dp + \left(1 - \frac{R}{c_n - c_v}\right) p d\vartheta = 0 \quad (3.57)$$

Qavs ichidagi ifodani soddalashtiramiz, ya'ni

$$1 - \frac{R}{c_n - c_v} = \frac{c_n c_v - c_p + c_v}{c_n - c_v} = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$$

Oxirgi ifoda politrop jarayonining ko'rsatkichi deyiladi va " $n$ " bilan belgilanadi:

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = n$$

Shunday qilib (b) tenglikni quyidagicha yozish mumkin:

$$\vartheta dp + n \cdot p d\vartheta = 0 \quad \text{yoki} \quad \vartheta dp = -n \cdot p d\vartheta$$

Tenglikning shaklini quyidagicha o'zgartiramiz va integrallaymiz:

$$-n \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{dp}{p}, \quad \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -n \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta}, \quad \ln \frac{p_2}{p_1} = -n \cdot \ln \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

Politrop ko'rsatkichi " $n$ " ning ishorasini hisobga olgan holda logarifm

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \left( \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \right)^{-n}$$

belgisi ostiga kiritamiz, ya'ni

**Tenglikning quyidagicha ham yozish mumkin:**

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\vartheta_1^n}{\vartheta_2^n} \quad \text{yoki} \quad p_1 \vartheta_1^n = p_2 \vartheta_2^n$$

Shunday kilib, politrop jarayonining tenglamasi kelib chiqadi

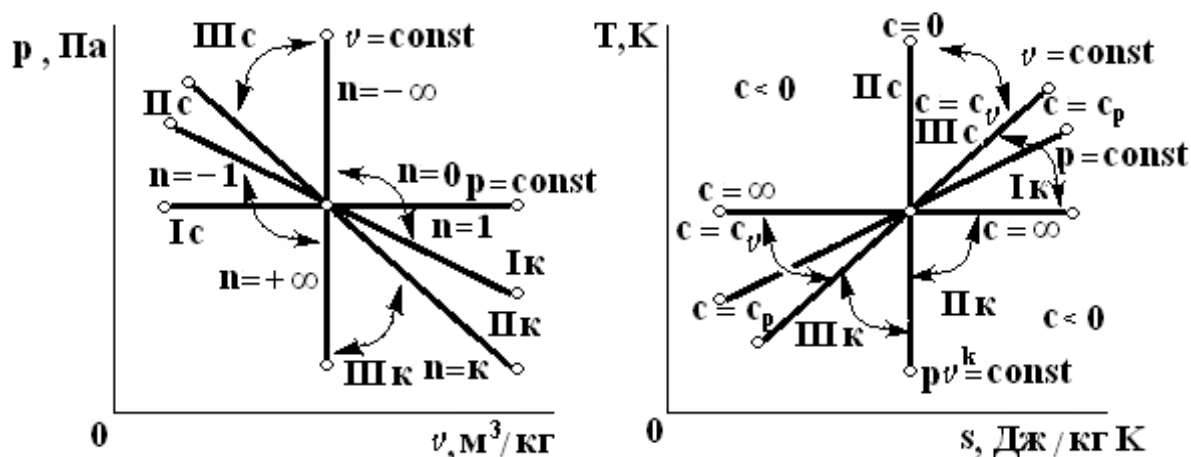
$$p \vartheta^n = \text{const} \quad (3.58)$$

Politrop jarayoni (ilgari aytib o'tganimizdek), eng umumiy termodinamika jarayoni bo'lib, boshqa jarayonlar uning xususiy xollaridir. Buning isboti uchun politrop ko'rsatkichi " $n$ " ga xususiy qiymatlar beramiz, ya'ni: 1) agar  $n=0$  bo'lsa, u holda  $p \vartheta^0 = \text{const}$ , chunki  $\vartheta^0 = 1$  bo'ladi, yoki  $p = \text{const}$  **izobarik jaryonga** aylanadi.

2) agar  $p \vartheta^\infty = \text{const}$  yoki  $n = \infty$  bo'lganda izoxor,  $\vartheta = \text{const}$  bo'lib, **izoxorik jarayon tenglamasiga** aylanadi.

3) Agar  $n=1$  bo'lsa,  $p \vartheta = \text{const}$  **izotermik jarayon**.

4) Agar  $n=k$  bo'lsa,  $p \vartheta^k = \text{const}$  bo'lib, moc ravishda **adiabatik jarayonning tenglamalari** holiga aylanadi.



22-rasm

Politrop jarayonlari faqat yuqorida qarab chiqilgan to'rtta jarayonnigina o'z ichiga olib qolmasdan, politrop ko'rsatkichi " $n$ " ning  $+\infty$  dan  $-\infty$  oraliqlaridagi qiymatlarida mavjud bo'lib, juda ko'p jarayonlardan iborat bo'ladi. Politrop jarayonining " $p \vartheta$ " va " $Ts$ " diagrammasida (2.22-rasm) bir no'qtadan o'tuvchi egri chiziqlar holida ifodalanadi.

Gazning kengayish jarayonini ko'rib chiqamiz (22-rasm).  $n$  soni qiymatining  $-\infty$  dan  $+\infty$  gacha o'zgarishida ko'rilayotgan politropik jarayonlarni

uch guruhga bo'lish mumkin.

Birinchi guruh uchun  $-\infty < n < 1$  bo'lganda  $dT > 0$ , U holda  $du = c_v dT > 0$  va  $dh = c_p dT > 0$ ; politropikning jarayonlarning bu qismida  $ds > 0$  va demak,  $\delta q > 0$ . Bundan kelib chiqadiki, politropik jarayon uchun issiqlik sig'imi  $c_n = \delta q / dT > 0$ . Gazga kiritilgan issiqlik miqdori kengayish ishini bajarishga va ichki energiya oshishiga sarf bo'ladi.

Ikkinchi guruh uchun  $1 < n < k$  da  $dT < 0$ . Bundan kelib chiqadiki  $du < 0$  va  $dh < 0$ .  $ds > 0$  ekanligidan  $\delta q > 0$ , issiqlik sig'imi esa  $c_n = \delta q / dT < 0$ . Ushbu guruh termodinamik jarayonlari uchun xos bo'lgan hususiyat shuki, bajarilayotgan ish kiritilayotgan issiqlik miqdori va ichki energiya hisobiga amalga oshadi.

Uchinchi guruh uchun  $k < n < +\infty$ ,  $dT < 0$ ,  $du < 0$  va  $dh < 0$ .  $ds < 0$  ekanligidan  $\delta q < 0$  va issiqlik sig'imi musbat ( $s_p > 0$ ). Ushbu jarayonlarda kengayish ishi ichki energiya hisobiga bajariladi. Shu bilan birgalikda issiqlik ishchi jismdan o'rab turgan muhitga ham uzatiladi.

Xuddi shunday tahlilni gazni siqish jarayoni (I<sub>c</sub>, II<sub>c</sub>, III<sub>c</sub>) jarayoni uchun ham amalga oshirish mumkin.

Termodinamik politropik jarayonning " $p\mathcal{G}$ " va " $Ts$ " diagrammalaridagi tasvirlanishlaridan foydalanib, interpolyasiya yo'li bilan politropik ko'rsatkich ( $n$ ) qiymatlarini topish mumkin va berilgan jarayonda bizni qiziqtirayotgan kattaliklarni: gaz holati asosiy ko'rsatkichlarni, ular orasidagi bog'lanish, bajarilgan ish, ichki energiya o'zgarishi, entalpiya va xokazolarni aniqlash mumkin.

Politrop jarayonida gaz holati ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanishni aniqlash usuli adiabatik jarayondagi kabi aniqlanadi, farqi shundaki, politrop jarayoni uchun " $k$ " o'rniga " $n$ " qo'yilsa yetarli, ya'ni:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_1} \right)^n \quad (3.59)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_1} \right)^{n-1}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (3.60)$$

Shuningdek, jarayonda gaz (ishchi jism) bajargan ish ham adiabatik jarayondagi usul bilan aniqlanib, bunda ham mos ravishda " $K$ " o'rniga " $n$ " qo'yiladi.

$$1 = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) \quad (3.61)$$

$$\ell = \frac{1}{n-1} (p_1 \mathcal{G}_1 - p_2 \mathcal{G}_2), \quad \ell = \frac{p_2 \mathcal{G}_2}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_2 \mathcal{G}_2}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} \right)^{n-1} \right] \quad (3.62)$$

Politrop jarayonida gazning issiqlik sig'imi politrop ko'rsatkichining ifodasi

orqali aniqlanadi, ya'ni  $n = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$  tenglamada  $c_p = c_v \cdot K$  ekanligini hisobga olgan holda " $c_n$ " ning yechimini olamiz:

$$c_n = c_v \cdot \frac{n - K}{n - 1} \quad (3.63)$$

Politrop jarayoni umumiy jarayon bo'lgani uchun issiqlik sig'imining tenglamasi boshqa (xususiy holdagi) termodinamika jarayonlaridagi gazning issiqlik sig'imlarini ifodalaydi, ya'ni:

$$1) \ n = 0, \text{ izobarik jarayon, } c_n = c_v \frac{0 - K}{0 - 1} = c_v \cdot K = c_p$$

$$2) \ n = \infty, \text{ izoxorik jarayon, } c_n = c_v \frac{\infty - K}{\infty - 1} = c_v \frac{\infty}{\infty} = c_v$$

$$3) \ n = 1, \text{ izotermik jarayon, } c_n = c_v \frac{1 - K}{1 - 1} = c_v \frac{1 - K}{0} = \infty$$

$$4) \ n = K \text{ adiabatik jarayon, } c_n = c_v \frac{K - K}{K - 1} = 0$$

Izotermik jarayonda gazning issiqlik sig'imi cheksiz bo'lishiga sabab shuki, jarayonda gazga issiqlik berilaveradi, lekin uning harorati (jarayonning shartiga ko'ra) bir darajaga ham ortmaydi. Adiabatik jarayonda issiqlik sig'imi nolga teng, chunki jarayonning shartiga ko'ra, gazga mutlaqo issiqlik berilmaydi, ya'ni  $dq=0$ .

Politropik jarayonda gazga berilgan issiqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$q = \Delta u + \ell$$

ichki energiyaning o'zgarishi va ishning qiymatlarini formulaga qo'yamiz:

$$q = c_v (T_2 - T_1) + \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$$

Tenglikning ikkala tomonini  $(T_2 - T_1)$  ga bo'lamiz:

$$\frac{q}{T_2 - T_1} = c_v + \frac{R}{n-1}$$

tenglikning o'ng tomonini soddalashtiramiz, ya'ni:

$$c_v - \frac{R}{n-1} = \frac{c_v \cdot n - c_v - c_p + c_v}{n-1} = \frac{c_v \cdot n - c_v \cdot k}{n-1} = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

demak, yozish mumkinki,  $\frac{q}{T_2 - T_1} = c_v \frac{n-K}{n-1}$  chunki  $c_p = c_v \cdot K$

Shunday qilib jarayonda gazga berilgan issiqlik quyidagicha bo'ladi:

$$q = c_v \frac{n - K}{n - 1} (T_2 - T_1) \quad (3.64)$$

yoki (2.61) tenglikni hisobga olsak:  $q = c_n (T_2 - T_1)$  (3.65)

yoki differensial ko'rinishda  $dq = c_n dT$  (3.66)

Jarayonda gazning ichki energiyasini orttirishga sarf bo'ladigan issiqlikning qismi ( $\alpha$ ) ni aniqlaymiz.

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v (T_2 - T_1)}{c_v \frac{n - k}{n - 1} (T_2 - T_1)} = \frac{n - 1}{n - k} \quad (3.67)$$

Bu tenglikda ham shuni sezish mumkinki, " $n$ " ning xususiy qiymatlarida  $\alpha$  ning qiymatlari alohida termodinamika jarayonlarning qiymatlariga aylanadi. Masalan,

izoxorik jarayon uchun tekshirib ko'raylik:  $\alpha = \frac{n - 1}{n - k} = \frac{0 - 1}{0 - k} = \frac{1}{k}$ . Politropik jarayonda gaz entropiyasining o'zga-rishini entropiyaning asosiy

tenglamasidan aniqlaymiz:  $ds = \frac{dq}{T}$ . Ushbu jarayon uchun (2.66) tenglikni hisobga

olgan holda  $ds = c_n \frac{dT}{T}$ . Tenglikni integrallaymiz  $\Delta s = s_2 - s_1 = c_n \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = c_n \ln \frac{T_2}{T_1}$   
yoki  $c_n$  ning qiymatini o'rniga qo'ysak:

$$\Delta s = c_n \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.68)$$

Shunday qilib, barcha jarayonlar bilan tanishib va qisqacha tahlil qilib chiqqanimizdan so'ng, ideal gazlar bilan bajariladigan barcha termodinamika jarayonlari (22-rasmga qaralsin) haqida quyidagi hulosalarni aytishimiz mumkin (hulosalar kengayish jarayoni uchun, siqish jarayonlari uchun esa  $q$  va  $\Delta u$  ning o'zgarishlarini, hamda bajariladigan ishning ishorasini teskari yo'nalishda tushunmoq kerak):

### 1. Gazga jarayon davomida issiqlik berilishi (yoki olinishi) nuqtai nazaridan:

a) Politrop ko'rsatkichi " $n$ " ning  $n > k$  qiymatlarida bajariladigan barcha jarayonlarda gazdan issiqlik olinadi, ya'ni sovitib turish kerak bo'ladi.

b) Ko'rsatkichning qiymati  $n < k$  bo'lgan jarayonlarda gazga issiqlik berish (gazni isitish) orqali bajariladi.

s) Ko'rsatkich " $n$ " ning adiabata ko'rsatkichi " $k$ " ga teng bo'lgan qiymatlarida bajariladigan jarayonlar davomida gaz tashqi muhitdan ajratilgan holda bajariladi, ya'ni gazga issiqlik berilmaydi ham, olinmaydi ham.

### 2. Jarayonda ishchi jism (gaz) ichki energiyasining o'zgarishi nuqtai nazaridan:

a) Politrop ko'rsatkichi  $n > 1$  bo'lgan jarayonlarda gazning ichki energiyasi kamayib boradi;

b) Ko'rsatkichning qiymati  $n < 1$  bo'lgan hollardagi jarayonlarda gazning ichki energiyasi ortadi, ya'ni jarayon davomida gaz qizib boradi;

s)  $n = 1$  bo'lgan (izotermik) jarayonlarda esa, gazning ichki energiyasi o'zgarmaydi.

### **3 Ba'zi umumiy xulosalar:**

a) Jarayon boshlanishida gazga berilgan issiqlik, adiabatik jarayon ( $n=k$ ) da, tashqi muhitga berilib isrof bo'lmaganligi uchun bunday jarayonda eng yuqori ish unumini olish mumkin;

b) Issiqlik dvigatellarida politrop kengayish jarayonlarini adiabatik jarayonga yaqinlashtirish uchun intilish kerak;

s) Porshenli issiqlik dvigatellarining mavjud konstruksiyalari sikllarida, politrop ko'rsatkichining qiymatlari  $1 < n < k$  oralig'ida bo'lganligi uchun, shu oralqdagi politrop jarayonlari dvigatel bilan shug'ullanuvchi mutaxassislar uchun alohida ahamiyatga ega.

### ***Nazorat savollari va topshiriqlari***

1.Qaytuvchan jarayon va qaytuvchan sikl nima ? 2.Tizim ichki energiyasi ma'nosi nima? U mikrozarralarning qaysi turdagi harakatlaridan iborat? Ichki energiya holat parametri ekanligini isbotlang. Ideal va real ishchi jism ichki energiyalari farqi nimada? 3.Ishni ifodasini ketirib chiqaring.  $p-v$  – koordinatlarda jarayon egri chizig'i ostidagi maydon son jihatdan ishga tengligini tasvirlang. 4.Ish va issiqlik nima? Ular orasidagi umumiylik va farqlanishlar nimalardan iborat ? 5.Termodinamikaning birinchi tenglamasini keltirib chiqaring. 6.Haqiqiy va o'rtacha issiqlik sig'imi nima ? Ular orasidagi bog'lanishni (grafik va analitik) ko'rsating. Issiqlik sig'imining har xil turlarini sanang, ularning o'lchov birliklarini ayting.7.Gaz aralashmalari issiqlik sig'imi, komponentlari massaviy va hajmiy ulushlari orqali qanday ifodalanadi ? 8.Entalpiya nima,o'lchamlari qanday? Ichki energiya va entalpiya uchun hisoblash ifodalarini keltiring.Termodinamika birinchi qonunining entalpiya orqali ifodalanishini keltiring.10. $T-s$ -koordinatalarida jarayon egri chizig'i ostidagi maydon son jihatdan ishchi jismga berilgan (yoki olingan) issiqlikka tengligini ko'rsating .Jarayonga kiritilgan yoki yoki chiqarilgan issiqlik miqdori va entropiya o'zgarishi orasidagi bog'lanish qanday? 11.Termodinamika birinchi qonuni tenglamasining har xil ko'rinishlari, issiqlik sig'imi formulalarini, entalpiya, entropiya foriulalaridan foydalanib, issiqlik, issiqlik miqdorini hisoblash ifodalarini keltiring. 12.Yopiq tizimlar uchun ideal gazning asosiy dinamik jarayonlari tahlilini bering. Ish ,issiqlik miqdori, entropiya, holat asosiy parametrlarini orasidagi bog'lanishlarni keltirib chiqaring. 13.Politrop jarayon umumiy jarayon ekanligini isbotlang.  $p-v$  ,  $T-s$ -koordinatalarda politropik kengayish va siqish jarayonlarining har xil guruhleri tahlilini keltiring.

Участники (23)

Найти участника

- I Ikrom Nuritov (Организатор, я)
- NA Ne'matjonov Asadbek 204- guruh
- SS Sultonov Samandar 201
- ZL 201 - Lazizbek Ishmurodov
- AX Abduxalilov Xumoyun QXM 201
- AA Abzat Askarov 203
- BT Baymurotov Temirbek
- DX Diyorbek Xabibullaev QXM 203
- DM Diyorxon Maxsudov 202qxm
- HE Hamidov Elyor 202-guruh qxm
- HA Hasanov Abbos 203
- JZ Janabaev ziyatdin 202 qxm
- KM Komilov Mirmuhsin 203 QXM
- MS MuRoDBeK SaBuRoV Qxm 201
- Q QXM - 204 Xoliqov Odilbek

Попросить вкл

Дополнительно

Пригласить

Выкл. весь звук

...

$P_0, T_0, V_0 = \text{const}$

термодинамик мувозаат

$P, T, V$

$pV = nRT$   
 $\text{const}$

0:01:33

0:11:44