

3-Mavzu. Termodinamikaning birinchi qonuni

Reja:

1. *Asosiy tushunchalar. Qaytar va qaytmas 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.*

1. Asosiy tushunchalar. Qaytar va qaytmas termodinamika jarayonlari.

Termodinamika tizimi by-moddiy jismlar majmuasi bo'lib, ular o'zaro va tizimni o'rab turuvchi tashqi jismlar (bu o'rab turuvchi muhitdan iborat) bilan issiqlik va mexanik ta'sirda bo'ladi, ya'ni termodinamika tizimi deb bir-biri bilan termodinamika muvozanatida bo'lgan makroskopik tizimlar qabul qilingan. 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

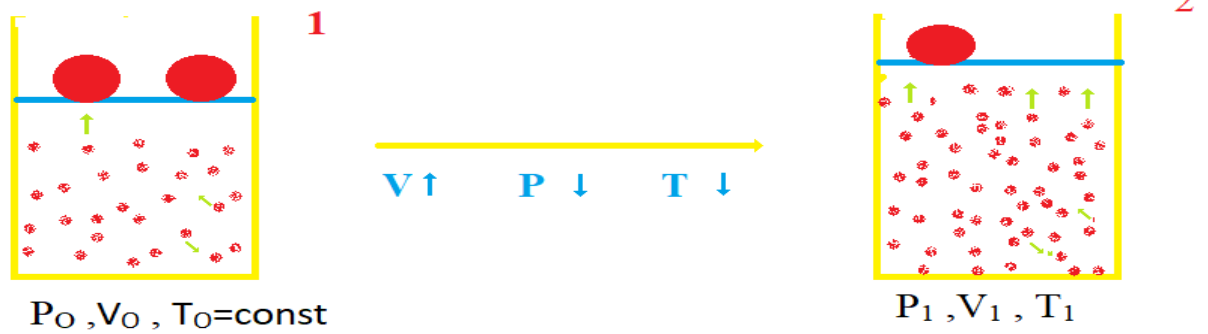
parametrlari ham o'zgaradi. Masalan, agar gaz qisilsa (ya'ni, hajmi kamaytirilsa), uning bosimi va harorati ortadi. Natijada gazning yangi termodinamika holati vujudga keladi.

Termodinamik jarayon bu- termodinamika tizimida sodir bo'ladigan va uning holat parametrlaridan hech bo'lmaganda bittasi o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan har qanday o'zgarish. 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.

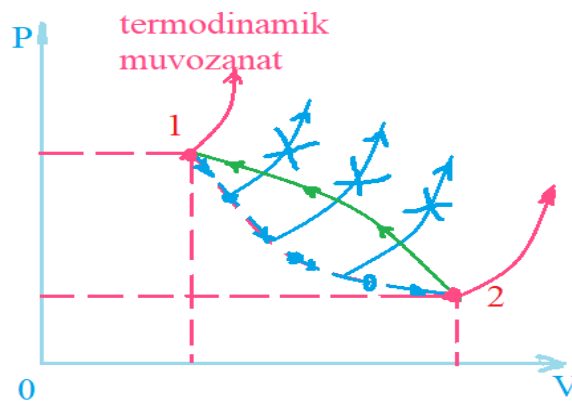
Kvazistatik jarayonni quyidagi tajribamizda ko'rib chiqamiz:

Silindir ichiga gazni to'ldiramiz va silindirning yuqori qismini porshen bilan yopib porshen ustiga ikkita ma'lum og'irlikkaga ega bo'lgan yuk qo'yilgan. Idish ichidagi gaz tartibsiz harakatda idish devoriga urilishi natijasida gaz o'zining ma'lum miqdordagi termodinamik parametrlarga ega bo'lgan holda idish hajmini egallaydi. Boshlang'ich holatda gazning parametrlari $P_0, T_0, V_0 = \text{const}$ bo'ladi (1-rasm).

Agarda porshen ustida qo'yilgan yukning bittasini tezlik bilan olsak, idish devorlariga beriladigan gazning bosimi hisobiga, uning hajmi oshadi, temperaturasi va bosimi kamayadi. Ma'lum bir vaqtdan so'ng gazning parametrlari $P_1, T_1, V_1 = \text{const}$ holatiga ega bo'ladi. Ushbu holatni PV-diagrammasida (2-rasm) ko'radigan bo'lsak birinchi nuqtada va ikkinchi nuqtalarda gazning holat parametrlari, o'zgarmas bo'ladi. Birinchi va ikkinchi nuqtalar orasidagi oraliq nuqtalarda esa gaz parametrlari o'zgaruvchan holatda bo'ladi, demak oraliq nuqtalarda termodinamik muvozanat qaror topmasligining sababi porshen ustidagi yukning birdaniga kamayishi natijasida silindr ichidagi gazning molekullarning harakati beqaror holatda ekanligidandir.



1-rasm



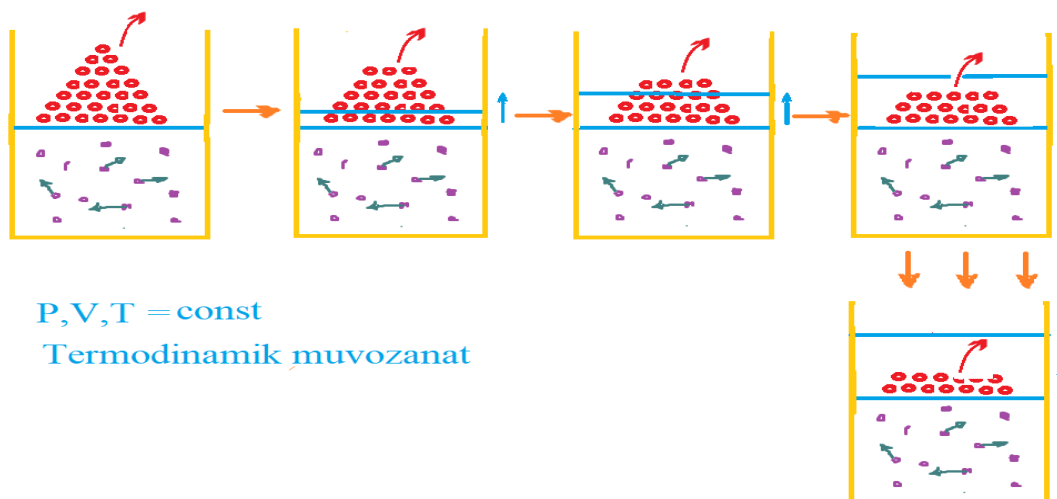
2-rasm. Termodinamik jarayonning PV-diagrammasi

Tabiatda mavjud bo'lgan barcha jarayonlar **qaytmas jarayonlardir**, chunki hech qanday haqiqiy jarayon yuqorida aytilgan 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 (2-rasm)

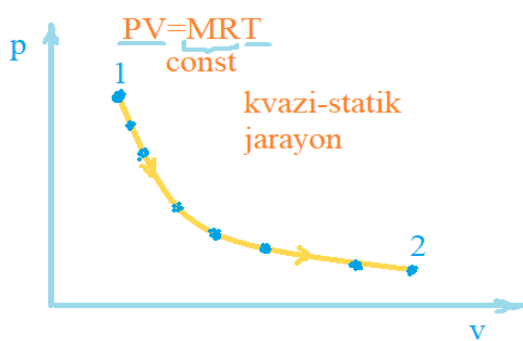
Yuqoridagi tajribamizning soddalashtirgan holatda quyidacha o'tkazamiz: silindr ichiga to'ldirilgan gaz porshen bilan yopilgan bo'lib, faqat porshen ustiga yuqoridagidek ikkita katta toshni o'rniga mayda toshchalarni ko'p miqdorda qo'yamiz. Mayda toshchalar porshenni bosib turgan bo'lsin, mayda toshchalarni bittalab sekin olib tashlaganimizda porshen ustidagi yuk keskin o'zgarmaydi. Oldingi tajribamizdagi ikkita katta toshdan bittasini olib tashlaganimizda porshen ustidagi yuk keskin o'zgarar edi.

Ikkinchi tajribamizdagi silindr ichidagi gaz malekulalar to'xtovsiz harakat qilyotganligi sababli sistemada boshlang'ich makroskopik parametrlar, $P_0, T_0, V_0 = \text{const}$ birinchi nuqtada o'zgarmas holatda turadi, ya'ni sistema

termodinamik muvozat holatida bo'ladi.



3-rasm.

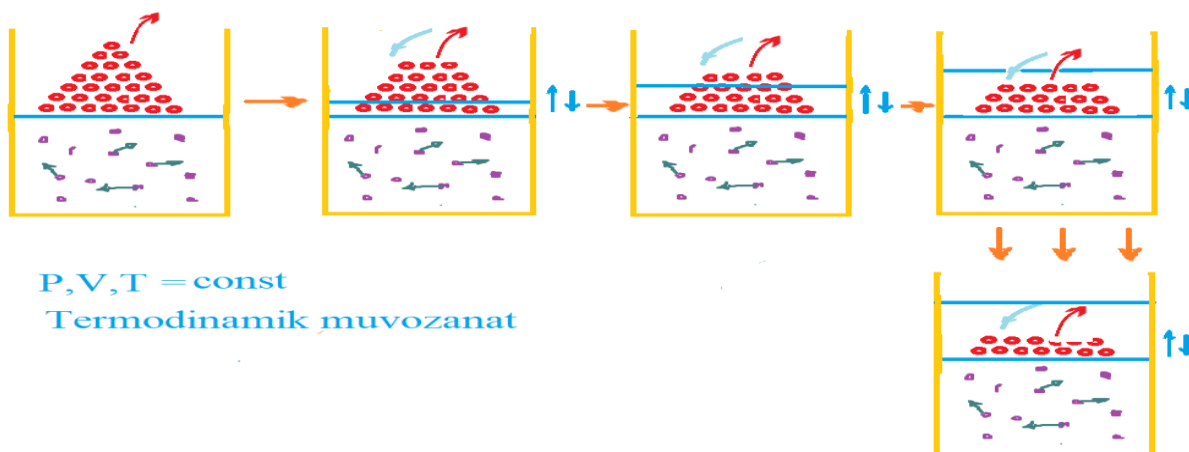


4-rasm.

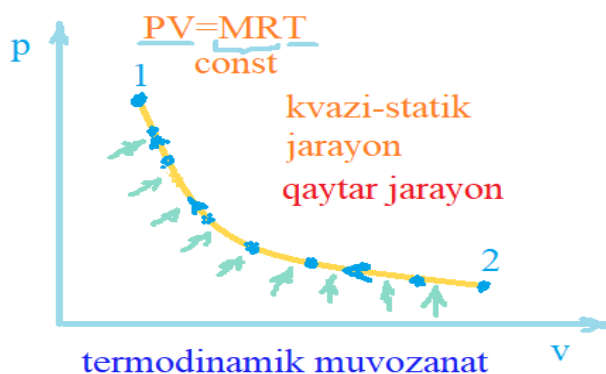
Termodinamik muvozanatda turgan sistemani sekin muvozanatdan chiqaramiz. Oldingi o'tkazgan tajribamizdek sekin astalikda birinchi nuqtadan ikkinchi nuqttagacha bo'lgan oralig'da porshen ustidagi yukning bitta-bittalab kichkina toshchalarini olib tashlay boshlaymiz (3-rasm), olib tashlash natijasida kichkina toshchalar kamayib boradi. Oxir oqibat ikkinchi nuqtaga kelganda porshen ustidagi toshchalar soni teng ikki barobariga kamayadi. Yuqoridagi tajribamizdan farqi shu bo'ldiki tosh bo'lakchalari ketma ketlikda olib tashlandi boshlang'ich holat va oxirgi holatlar orasida, oraliq holatlar bo'lib, boshlang'ich holatdan oxirgi holatgacha bo'lgan jarayonda sekin astalikda gazning termodinamik parametrlari o'zgarishini kuzatamiz. Natijada bosim va temperaturaning sekin astalikda kamayishi idish hajmining esa sekin astalikda oshishini kuzatishimiz mumkin ushbu holat bo'yicha PV-diagrammasida termodinamika jarayonini ifodalaydigan (4-rasm) bo'lsak bu grafikimiz

birinchisidan farq qiladi sababi, oldingi tajribamizdan farqi shuki oraliq nuqtalarda termodinamik muvozanat kuzatishimiz mumkin. Bunday jarayonni **kvazistatik jarayon** bo'ladi, ya'ni taxminan **statik jarayon** deyiladi, bunda har bir boshlang'ich va oxirgi oraliq nuqtalar orasida termodinamik muvozanat qaror topmoqda.

Kvazistatik jarayon qaytar jarayon ham bo'lishi mumkin (5-rasm) ya'ni ikkinchi nuqtadan birinchi nuqtagacha bo'lgan holatda termodinamik parametrlar o'zgarmagan holatda ustma ust tushish holatlari kuzatilishi mumkin, bunday jarayonlar **qaytar jarayonlar** deb ataladi. Lekin amalda bunday jarayonlarni uchratish juda mushkuldir. Sababi juda kichik toshchalarni olib qo'yish amalda qiyindir. Bunday jarayonni nazariy sistemada ko'rishimiz mumkin.



5-rasm.

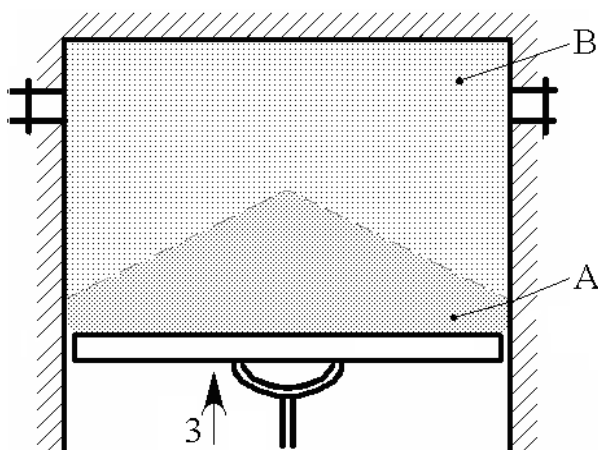


6-rasm

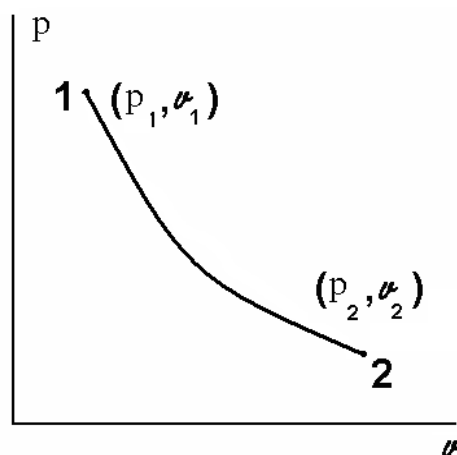
Yuqoridagi o'tkazgan tajribamizda birinchi nuqtadan ikkinchi nuqtagacha bo'lgan toshchalarni ketma-ketlikda porshen ustiga qo'yib boradigan bo'lsak endi ushbu holatni termodinamik sistemamizda teskarisiga amalga oshiramiz, ya'ni

ikkinchi nuqtadan birinchi nuqtalargacha bo'lgan oralig'da porshen ustiga sekin astalikda toshchalarni qaytadan qo'yib chiqamiz, termodinamik sistema parametrlari oraliq nuqtalarda muvozanat qaror topishini kuzatishimiz mumkin. Ushbu holatni PV-diagrammasida ko'radigan (6-rasm) bo'lsak ikkinchi nuqtadan birinchi nuqtagacha bo'lgan oraliqlardagi nuqtalarda sistema termodinamik muvozanatda bo'lganligini ko'rishimiz mumkin. Demak, ushbu termodinamik sistemada **qaytar jarayonni** kuzatishimiz mumkin.

Mavjud (real) termodinamika jarayonlarda qisish, kengayish, gazning isishi va sovushi kabi holatlar juda tez bo'ladi. Natijada gaz hajmining har xil nuqtalarida 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 (2-rasm).



7-rasm



8- rasm

7- 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**.

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

2. Gazning ichki energiyasi

Har bir holatdagi termodinamik sistema butun sistemaning harakat energiyasidan E va sistemaning potentsial energiyasidan, tashqi kuchlar maydoni va ichki energiya U dan tashkil topgan, shu jumladan tashqi energiya E_{tash} ga ega. Agar butun sistemaning harakati bo'lmasa va uning potentsial energiyasining o'zgarishi nolga teng bo'lsa, u holda tizimning umumiy energiyasi uning ichki energiyasiga teng bo'ladi.

Ichki energiya har xil turdagi harakat va o'zaro ta'sir energiyasidan iborat tizimga kiritilgan zarralar, ya'ni: molekullarning translatsiya va aylanish harakati va atomlarning tebranish harakati va U_n potentsial energiyaning kinetik energiyasi U_{kin} molekular orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini (biz bu energiyani bizning holatlarimizda e'tiborsiz qoldiramiz) - $\Delta U = (\Delta U / \Delta T) \Delta T + (\Delta U / \Delta V) \Delta V$

Gazning ichki energiyasi yuqorida sanab o'tilgan energiyalarning yig'indisidan iboratdir 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 bo'lgan p, \mathcal{V} va T o'zaro issiqlik tenglamasi orqali bog'langanligi sababli ichki energiyani ixtiyoriy ikkita ko'rsatkichlarning funksiyasi sifatida ko'rsatish mumkin, ya'ni

$$u = f(T, \mathcal{V}), \quad u = f(p, T), \quad u = f(p, \mathcal{V}) \quad (3.2)$$

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

$u = U/m$ moddaning ichki energiyasining shu moddaning birlik massasiga nisbati solishtirma ichki energiya deyiladi, J / kg

Agar boshlang'ich va oxirgi holatlar bir-biriga to'g'ri kelsa, aylanma jarayon uchun energiyaning o'zgarishi nolga teng bo'ladi.

Ideal gazlar uchun molekular 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. $(\Delta u / \Delta t)_v = \Delta u / \Delta t$, ya'ni u umumiy differensial haroratda ideal gazning ichki energiyasidan hosil bo'ladi.

Ma'lumki, ichki energiyaning eng $\mathcal{Q} = const$ bo'lgan holda yuqori ko'rsatgichga ega bo'ladi, chunki bunda, hajm o'zgarmaganligi uchun tashqi ish bajarilmaydi va berilgan issiqlik miqdori faqat gazning ichki energiyasini orttirishga olib keladi.

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

$$q = u_2 - u_1 \quad (3.3)$$

U holda ichki energiyaning o'zgarishi,

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

U keng ko'lamlı parametr bo'lganligi sababli, u qo'shimcha xususiyatga ega,

$$U = \sum_{i=1}^n u_i \quad (3.4)$$

bu yerda u_i - tizimning alohida qismlarining ichki energiyasi.

Ichki energiya $t=0^\circ\text{Sda}$ nolga teng qabul qilinadi.

Gaz holatining cheksiz kichik o'zgarishi uchun esa, $du = c_v dT$.

Ideal gazlarda ichki energiyaning o'zgarishi Δu jarayonning borish xarakteriga (yo'liga) bog'liq bo'lmay, gazning ichki energiyasi faqat gazning oxirgi va boshlang'ich holatlarining haroratlariga bog'liq xolos.

2.1. Gazning tashqi ishi

Tizimlar orasidagi energiya almashinuvining usullaridan biri bu ishdir. Bunda elementar ish $dL = P \delta S$ ga teng

Kengayish jarayoni muvozanatli bo'lgani uchun, u holda $P_{ich} = P$,

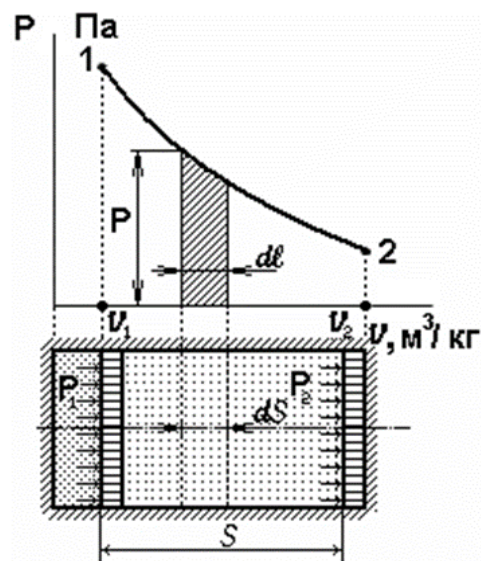
bu yerda F - porshening (silindrning) ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 hajmning eng kichik orttirmasi $F\Delta S=dv$ bo'lganligi uchun quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$dL=Pdv \text{ bo'ladi.}$$

bu yerda d -to'liq bo'lmagan differentsialning belgisi.

dv -elementar hajm o'zgarishi;

p – gazning bosimi, N/m^2 ;



9- rasm

Elementar solishtirma ish.

$$\frac{\delta L}{m} = \frac{p\Delta v}{m} \rightarrow \delta L = p\Delta$$

$\Delta v > 0, \delta l > 0$ bo'lgan holda kengayish jarayonida bajarilgan ish musbat.
 $\Delta v > 0, \delta l < 0$ bo'lgan xolda siqish jarayonida bajarilgan ish manfiy, siqish uchun kuch sarf qilinadi.

U holda gazning \mathcal{V}_1 hajmdan \mathcal{V}_2 hajmgacha kengayishidan iborat termodinamika jarayonida bajarilgan ish quyidagicha bo'ladi:

$$l = \int_{\mathcal{V}_1}^{\mathcal{V}_2} p d\mathcal{V} \quad (3.5)$$

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

5-rasmda ifodalangan $p^{\mathcal{V}}$ diagrammasidagi jarayon 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 kerak, termodinamika jarayonida kengayishdagi ishni musbat, qisish jarayonidagi ishni esa, manfiy deb qabul qilingan (misolimizda bajarilgan ish -musbat) p^g koordinatalar tizimida yuza - ma'lum masshtabda ishning miqdorini ifodalaydi.

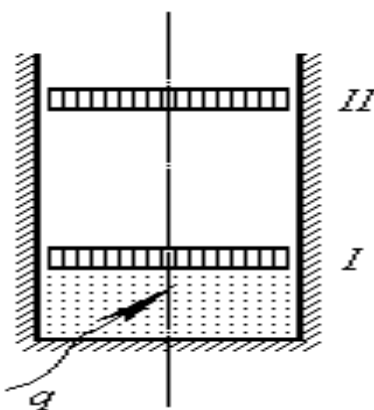
3. Termodinamika birinchi qonunining mohiyati va uning matematik ifodasi

Termodinamikaning birinchi qonuni energiyaning saqlanish va o'zgarishi qonunining alohida holati, ya'ni asosiy qonunning termodinamik tizimlarga tatbiq etilishi.

Ushbu qonunga muvofiq, izolyatsiya qilingan termodinamik tizimning umumiy energiyasi tizimda sodir bo'ladigan har qanday jarayonlar uchun doimiy bo'lib qoladi, ya'ni $\Sigma E_i = \text{const}$

bu yerda E_i - har xil turdagi energiya.

Qo'zg'aluvchan porshenli silindrga solingan 1kg gazga, (10-rasm) ma'lum miqdordagi q issiqlikni termodinamik tizimga berilganda gazning harorati ortadi, ya'ni 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



10-rasm

ko'tariladi (porshen II-holatni oladi) va hajmning Δv qiymatiga o'zgarishi sababli, kengayish ishi tashqi bosim kuchlariga qarshi bajariladi. Gazning kengayishi sababli molekulalar orasidagi o'rtacha masofa uzayadi, bu esa molekulalar orasidagi tortish kuchidan kelib chiqadigan ichki potensial energiyani Δu ga

kamaytiradi. Ko'rib chiqilayotgan tizimda boshqa o'zgarishlar bo'lmaganligi sababli, energiya saqlanish qonuniga muvofiq, energiya balansi quyidagicha:

$$q = \Delta u_k + \Delta u_n + \ell \quad (3.6)$$

ℓ - porshenni harakatlantirish uchun sarflangan ish

Ichki energiyaning umumiy o'zgarishini

Δu bilan belgilaymiz. 10-rasm

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

u holda,

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

Bu tenglama termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi xisoblanadi.

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

Shunday qilib, izolyatsiya qilingan termodinamik tizim uchun umumiy issiqlik uning ichki energiyasini o'zgartirish va tashqi ishlarni bajarish uchun sarflanadi.

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 $d\ell = pd\mathcal{V}$ bo'lgani uchun

$$dq = c_v dT + pd\mathcal{V} \quad (3.9)$$

Oxirgi ifoda – termodinamika birinchi qonunining differensial tenglamasi deyiladi.

6. Gazlarning issiqlik sig'imi

Issiqlik sig'imi -bir birlik miqdordagi (1kg, 1m³ yoki 1 kmol) gazni 1⁰S ga isitish uchun sarflanadigan issiqlikning miqdoridir.

Solishtirma issiqlik sig'imi quyidagiga teng $C = \delta q / \delta T$

Termodinamikada gazning issiqlik sig'imi 3 xil bo'ladi va ularning o'lchov

birliklari ham 3 xil, ya'ni

1. c -gazning massa bo'yicha issiqlik sig'imi, J/(kg K);
2. \bar{C} -gazning hajm bo'yicha issiqlik sig'imi, J/(m³ K);
3. μc -gazning kilomol bo'yicha issiqlik sig'imi, J/kmol.

Yuqorida keltirilgan gazlarning issiqlik sig'imi kattaliklari o'rtasida o'zaro quyidagi bog'liqlik mavjud;

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

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

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

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

Solishtirma issiqlik sig'imi quyidagiga teng $C = \delta q / \delta T$

Termodinamik jarayonga issiqlikni yo'qotmasdan va issiqlikni o'tkazmas $C=0$; agar $\Delta t=0$ bo'lsa, u holda $C=\pm\infty$ bo'ladi.

Doimiy hajmda sodir bo'ladigan termodinamik jarayonlar uchun solishtirma issiqlik sig'imini- C_v bilan belgilanadi o'zgarmas bosimdagi jarayonlar uchun solishtirma issiqlik sig'imini – C_p bilan belgilanadi.

Termodinamikaning 1-qonundan $v = \text{const}$ bo'lganda sistemaning bajargan ishi $\delta l = p \Delta v = 0$ bo'ladi, ya'ni barcha issiqlik ichki energiyani o'zgartirishga sarflanadi. Bu yerdan,

$$\delta q_v = \Delta u = C_v \Delta T \quad (3.10)$$

bu yerda δq_v - $v = \text{const}$ bo'lgandagi issiqlik miqdori.

Ichki energiya tizimning holat parametri bo'lib, uning oraliq holatlariga bog'liq emas, shuning uchun (3.10) tenglama har qanday termodinamik jarayon uchun amal qiladi.

Termodinamikaning 1-qonundan muvofiq $p = \text{const}$ bo'lganda

$$C_p \delta T = C_v \delta T + p \delta v.$$

Chunki jarayonda o'zgarmas bosimda amalga oshirilganligi uchun $p = \text{const}$ u holda $p \delta v = R \delta T$, bo'lib quyidagi tenglikni olamiz

$$C_p - C_v = R \quad (3.11)$$

Bu formula issiqlik sig'imi nazariyasidagi Mayer qonuni deb ataladi.

(3.11) tenglamani molekular massasi- μ ga ko'paytiramiz. Shuningdek $\mu R = 8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$, ekanligini hisobga olgan holatda quyidagi tenglamani olamiz:

$$\mu C_p - \mu C_v = 8,314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K}).$$

U holda , barcha gazlar uchun molyar izobarik va izoxorik issiqlik sig'implari orasidagi ayirma o'zgarmas kattalik bo'lib, uning qiymati $8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ ga teng. 2-jadvalda gazlarning molyar issiqlik sig'imi keltirilgan. O'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imining o'zgarmas hajimdagi issiqlik sig'imiga nisbati adiabatliya ko'rsatgichi deb nomlanadi ,va k -harfi bilan belgilanadi. Ushbu termodinamik qonunlardan keng foydalaniladi.

$$k = C_p / C_v = \mu C_p / \mu C_v$$

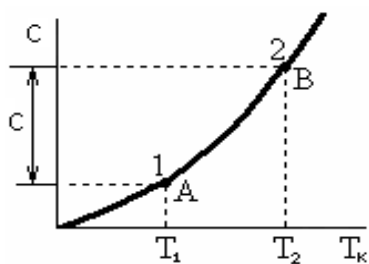
Gazlarning molekular kinetik nazariyasiga asosan bir atomli gazlar uchun $k = 1,667$, ikki atomli gazlar uchun $k = 1,4$, uch va undan yuqori atomli gazlar uchun $k = 1,29$.

1-jadval.

Gazlarning molyar issiqlik sig'imi ($c = \text{const}$ uchun)

Gazlar	Issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/\text{kmol} \cdot ^\circ\text{S}$	
	μC_v	μC_p
Bir atomli	12,56	20,93
Ikki atomli	20,93	29,31
Uch va ko'p atomli	29,31	37,68

Bir kilogram gazning harakatini t_1 temperaturadan t_2 temperaturagacha orttirish (yoki kamaytirish) uchun ixtiyoriy AV jarayonda (11-rasm), gazni qizdirish (yoki sovutish) kerak bo'lsin. Buning uchun ma'lum miqdordagi issiqlik



miqdori sarf qilinadi. Jarayonning AV oralig'ida gazning haroratini 1 °S ga orttirish uchun sarf bo'ladigan issiqlik quyidagicha bo'ladi:

$$c_n = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (3.12)$$

(3.12) ifoda gazni t_1 dan t_2 gacha bo'lgan oraliqdagi o'rtacha issiqlik sig'imini ifodalaydi, ya'ni u 1 °S ga qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdoridir.

Shuningdek 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.

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

Gazga berilgan issiqlik miqdori esa quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

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

u holda, $q = C_m \cdot t_2 / t_1 (t_2 - t_1) = C_{m2} * t_2 - C_{m1} * t_1 \quad (3.13)$

Gazlarning issiqlik sig'imlari (3.13) formuladan c_p va c_v jarayonlar uchun

$$q_v = C_{v m2} * t_2 - C_{v m1} * t_1$$

va

$$q_p = C_{p m2} * t_2 - C_{p m1} * t_1$$

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

$$Q = M \cdot q = M \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (3.14)$$

Gaz aralashmalarining issiqlik sig'imini aniqlash uchun aralashmasining

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

a) aralashma tarkibi massa ulushlari orqali berilgan.

$$M_{ar} \cdot c_{ar} = M_1 c_1 + M_2 c_2 + \dots + M_n c_n = \sum_{i=1}^n M_i \cdot c_i \quad (3.15)$$

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

b) aralashma tarkibi hajm ulushlari orqali berilgan.

$$V_{ar} \bar{C}_{ar} = V_1 \cdot \bar{C}_1 + V_2 \cdot \bar{C}_2 + \dots + V_n \bar{C}_n = \sum_{i=1}^n V_i \bar{C}_i \quad (3.16)$$

Chunki, bu yerda gazlarning molekulyar kinetik nazariyasiga asosan, ideal gazlarda kilomolli issiqlik sig'implari ularning turlariga bog'liq bo'lmay, faqat gazning atom sonlariga bog'liq, ya'ni $\mu c_{O_2} = \mu c_{H_2} = \mu c_{N_2} = \dots = const$

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

$$r_i = \frac{V_i}{V_{ar}} \quad (3.17)$$

7. Gaz entalpiyasi.

Termodinamik va issiqlik muhandislik hisoblarida ko'pincha entalpiya deb ataladigan tizimning ichki energiyasi U va bosim p va tizim hajmining ko'paytmasi ishlatiladi.

$$H=U+pV \quad (3.18)$$

Tarkibida 1 kg ishchi suyuqlik bo'lgan sistema uchun solishtirma entalpiya h, J/kg,

$$h=u+pv \quad (3.19) \text{ ga teng.}$$

Formula (3.19) ga kiritilgan miqdorlar holat funktsiyalari va shuning uchun entalpiya ham holat funktsiyasidir. Yuqoridagi xolatni xisobga olgan holda, jarayondagi entalpiya δh - umumiy differentsiali, o'zgarishlari uning tabiatiga bog'liq emas, faqat tizimning boshlang'ich va oxirgi holatlari bilan belgilanadi.

Agarda (3.19) tenglamani differentsiallasak, u holda,

$$\Delta h = \Delta u + p \Delta v + v \Delta p = \delta q + v \Delta p \quad (3.20)$$

Bu tenglama Termodinamikaning 1-qonunni yozishning yana bir shaklidir. Ishchi jisimning holatini o'zgartirish jarayoni $p = \text{const}$ holatida davom etsin. U holda (3.19) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\Delta h = dq_p$$

Bu yerda dq_p - $p = \text{const}$ bo'lgandagi issiqlik miqdori.

Bu jarayon uchun $C_p = dq_p / \Delta T$ ekanligini hisobga olsak, u holda

$$\Delta h = C_p \Delta T \quad (3.21)$$

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

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

Ushbu tenglamani har qanday termodinamik jarayon uchun qo'llash mumkin bo'ladi, ya'ni entalpiyaning qiymatini hisoblashda tizimning boshlang'ich va oxirgi qiymatlarini hisobga oladi. $t = 0^\circ\text{S}$ da entalpiya qiymati nolga teng deb qabul qilinadi.

8. Gaz entropiyasi

Entropiya (yunoncha – enthalria – isitaman) degan ma'noni bildirib, gaz holatining parametrlari (ko'rsatkichlari), p , s , T , u va h bo'lib hisoblanadi. Lekin issiqlik miqdori q va ish ℓ gaz holati ko'rsatkichlari bo'la olmaydi.

Termodinamika jarayonida qatnashadigan issiqlik miqdorini bilish

nuqtai-nazaridan termodinamikada yana bir gaz holatining ko'rsatkichi – **entropiya** kiritilgan.

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

Termodinamik 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 oralig'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:

$$\delta Q/T = dS \quad (3.22)$$

bu yerda, T-termodinamik harorat;

S-entropiya.

1kg ishchi gazning o'z ichiga olgan sistema uchun cheksiz kichik jarayonda gazga berilgan issiqlikni aniqlash mumkin:

$$dq = Tds \quad (3.23)$$

bu yerda, s-solishtirma entalpiya, J/(kg*K)

(3.23) tenglamani termodinamikaning 1-qonunning va (3.7) tenglamalarning hisobga olgan holatda quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$ds = \delta q/T = (c_v dT + p d\vartheta)/T = c_v (dT/T) + R d\vartheta/\vartheta. \quad (3.24)$$

Ushbu tenglama entropiyaning to'liq differensialini ifodalaydi agarda $c_v = \text{const}$, holatida integrallasak quyidagi tenglamani olamiz:

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

yoki

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

Yuqoridagi tenglamalardan ko'rinib turibdiki entropiyaning parametrlari o'zgarishi jarayonga 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.

Entropiyaning aniqlashda boshqa yo'l tutish ham mumkin. Buning uchun termodinamika birinchi qonunining differensial ko'rinishdagi tenglamasi (3.9) ni T

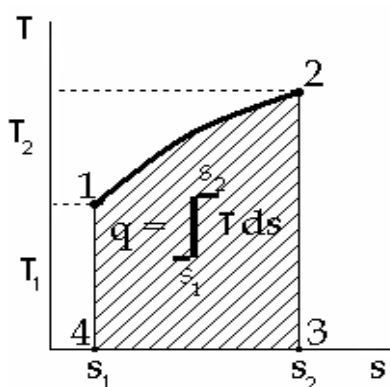
ga bo'lamiz, ya'ni
$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{pd\vartheta}{T}$$

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

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\vartheta}{\vartheta} \quad \text{yoki} \quad ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{Rd\vartheta}{\vartheta} \quad (3.25)$$

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 yanada aniqliy tushunarli bo'lishi uchun, "Ts" diagrammasida ifodalash ham juda qulay va tushunarlidir. Bunda absissa o'qiga ma'lum masshtabda entropiyaning qiymati, ordinata o'qiga esa



termodinamika haroratining qiymatlari qo'yiladi (13-rasm).U holda gaz 1-holatidan 2-holatiga o'tishda $T=f(s)$ egri chizig'i orqali borilgan bo'lsa, u holda

$$dq = T \cdot ds \quad \text{va} \quad q = \int_{s_1}^{s_2} T ds \quad (3.26)$$

12 – rasm.

Shunday qilib, 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.

Termodinamika jarayonlarini bunday koordinatalarda ifodalashni "Ts"-**diagrammasi yoki issiqlik diagrammasi** (yuza issiqlik miqdorini ifodalagani uchun) deyiladi. 12 – rasm.

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. Ts -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 formulalaridan foydalanib, issiqlik, issiqlik miqdorini hisoblash ifodalarini keltiring.