

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

**NAVOIY KON-METALLURGIYA KOMBINATI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK INSTITUTI**

**ENERGO-MEXANIKA FAKULTETI
“UMUMIY FIZIKA” KAFEDRASI**

«TERMODINAMIKA»

FANIDAN

MA'RUZALAR MATNI

Muallif : Jo‘raev F.N

NAVOIY-2018 yil

Ushbu ma'ruzalar matnida texnika oliy o'quv yurtlari uchun termodinamika fani namunaviy dasturida keltirilgan mavzularni o'z ichiga olgan 10 ta ma'ruzalar matni keltirilgan. Muallif ma'ruzalarni termodinamika fani sohasidagi so'nggi ma'lumotlarni nazarga olgan holda talabalarga tushunarli va sodda tilda bayon qilishga harakat qilishdi.

Taqrizchilar: Navoiy Davlat konchilik instituti
"Umumiy fizika" kafedrası mudiri, dotsenti, f-m.f.n Urunov I.O
Navoiy Davlat konchilik instituti
"Электр энергетикаси" kafedrası dotsenti, t.f.n. Tavbayev A.N

Ma'ruzalar matni NDKI "Umumiy fizika" kafedrası yig'ilishida muhokama qilingan va tavsiya etilgan.

KIRISH

Ushbu ma'ruzalar matni noenergitik sohalarda termodinamik jarayonlar, issiqlik mashinalar va issiqlik uzatilishi, fani tarixi va rivojining tendensiyasi, istiqboli hamda respublikamizdagi ijtimoiy-iqtisodiy islohotlar natijalari va hududiy muammolarning energetika sohasida bo'layotgan o'zgarishlarni fan bilah bog'liqlik darajalarini o'z ichiga oladi.

Texnika oliy o'quv yurtlarida "Termodinamika" fanni o'qitishdan maqsad hlarda ta'lim olayotgan har bir talabada issiqlik mashinalari turlari, tuzilishi, sikllari ishlatilishi va ularda bo'ladigan termodinamik jarayonlar va issiqlik uzatilishi bo'yicha yo'nalish profiliga mos bilim, ko'nikma va malaka shakllantirishdan iboratdir.

Ishlab chqarishning elektrtexnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyasi, energetika va muqobil energiya manbalari sohalarida olib borayotgan bakalavriaturani bitirgan mutaxassislar oz sohalarida turli xil issiqlik energetikasi qurilmalari va uskunalarini qo'llashlari uchun ularning tuzilishini, ishlash prinsiplarini bilishlari shart.

Shuning uchun ixtisoslikni o'zlashtirisha ishlab chiqarish texnologik tizimining ajralmas buguni bo'lgani uchun bu fanni chuqur o'rganish hozirgi kun talabi hisoblanadi.

1-MAVZU. “TERMODINAMIKA” FANIGA KIRISH

Reja

1. Issiqlik texnikasi tarixi va rivojlanish tendensiyalari.
2. Respublikamizdagi ijtimoiy-iqtisodiy islohotlar natijalari va hududiy muammolar va ilm-fan, texnika va texnologiya yutuqlari.
3. Fanning vazifalari.

Issiqlik texnikasi umumtexnik fundamental fanlardan biri bo'lib, texnikada issiqlikni hosil qilish usullarini, issiqlikni energiya boshqa turiga aylantirish usullarini, issiqlikni uzatish usullarini va issiqlikni ishlatilishini o'rgatadi.

Issiqlik texnikasi bakalavrlar tayyorlashda maxsus fanlarni o'rganish uchun energetik ta'limotining asosi bo'lib xizmat qiladi. Sanoatning metallurgiya, mashinasozlik, tog'-kon ishi, qishloq xo'jaligi va boshqa sohalarda issiqlikni berish va ajralib chiqishi, issiqlik almashinuvi, mashina, qurilmalarda sodir bo'ladigan issiqlik jarayonlari hamda elektr energiya va issiqlikdan unumli foydalanish muhim ahamiyatga ega. Issiqlik texnika fani yuqori malakali va raqobatbardosh kadrlar tarbiyalab tayyorlashda asosiy o'rin tutadi. Bu fan talabalarni ilmga qiziqtirish, qonunlarni texnikada qo'llanishi, jarayonlarni hisoblash, issiqlik kuch qurilmalarini optimal holatlarini aniqlash uchun yordam beradi.

Issiqlik texnikasi fani uch bo'limdan iborat:

1. Texnikaviy termodinamika
2. Issiqlik uzatilishi
3. Issiqlik energetik qurilmalari

Termodinamika so'zi grekcha so'zdan olingan bo'lib «termos»- issiqlik, «dinamikos» - kuch degan ma'noni bildiradi.

Texnikaviy termodinamika issiqlik effektlari bilan sodir bo'ladigan turli jarayonlarda energiya boshqa turiga aylantirish, ya'ni issiqlikni ishga va ishni issiqlikka aylantirishni o'rganadigan fan. Texnikaviy termodinamika fan sifatida M.V.Lomonosov (1746 y.) tomonidan energiya aylantirish va saqlanish qonunining ochilishi, uning «Issiqlik va sovuqlik sabablari» (1747 y.) degan ishida issiqlik moddalar mikrozarrachalarining xarakatdaligini isbotlash, (1765 y.) rus mexanigi I.I.Polzunov tomonidan birinchi universal bug' mashinasining kashf etilishi natijasida universal porshenli dvigatellarining chizmasi yaratilishi va termodinamikaning ikkinchi qonunining yaratilishi natijalarida rivojlandi.

Termodinamikaning rivojlanishiga R.Mayer (1872 y.), D.Joul (1843-1846 y.), E.X.Lens (1844 y.), S.Karno (1824 y.), R.Klaziuz (1854 y.) va V.Tomson (1856 y.) o'z ishlari bilan katta hissa qo'shishgan. Termodinamikaning ikkinchi qonunining yaratilishi dvigatellarning foydali ish koeffitsientini oshirish yo'llarini ko'rsatadi.

Issiqlik apparatlarini loyihalash va qurish uchun uning vazifasini, ishlash uslubini va u yerda bo'ladigan issiqlik uzatish jarayonlarini bilish kerak. Issiqlik uch

xil usulda: issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish usulida uzatiladi. Har bir texnologik jarayonlarning bajarilishida issiqlik energetik qurilmalari qo'llaniladi. Issiqlik energetik qurilmalari energiyani bir turdan ikkinchi turga aylantirib beradi. Aniq masalalar hisoblashda, ifodalarni keltirib chiqishda va ular orasidagi bog'lanishlarni aniqlashda matematika fanining o'rni kattadir. Jismlarni, hodisalarni va jarayonlarni o'rganishda, taxlil qilishda fizika va kimyo fani bo'yicha bilimlarni talab etadi.

Issiqlik texnikasi fanidan olingan bilimlar ozod va obod Vatan, erkin va farovon hayot qurishda, Mustaqil Respublikamizni ravnaqi uchun intellektual saviyasi keng, axloq-odobli barkamol inson tarbiyalashda o'z hissasini qo'shadi.

TEXNIKAVIY TERMODINAMIKA

Termodinamik uslubining asosiy xossalari

Ma'lumki, energiya almashinish jarayonlari muhitdagi holatlar bilan olib boriladi, shuning uchun termodinamika energetik xossalarini umumiy uslubini ishlab chiqish umumiy metodologik xususiyatga egadir. Bu uslub esa turli xil bilimni egallashda katta rol o'ynaydi.

Termodinamika–fizik, kimyoviy va texnik termodinamika qismlariga bo'linadi.

Konkret aniq holatlardagi umumiy uslublarga, qoidalarga, fizik xossalarga xos bo'lgan jarayonlarni o'rgatadigan termodinamikaning qismi umumiy fizik termodinamika deyiladi.

Ishtirok etuvchi jismning kimyoviy xossalari o'zgarishini, ulardagi issiqlik almashinishini o'rgatadigan qismi kimyoviy termodinamika deyiladi.

Texnik termodinamika esa issiqlik miqdorini bajarilgan ishga o'tishdagi qonun-qoidalarini issiqlik texnikasiga tadbiq qilish, ya'ni issiqlik dvigatellari va sovitish mashinalari nazariyasi bilan shug'ullanishdir.

Termodinamikani o'rganishda va uni konkret masalalarini tahlil qilishga qaratilganda tabiiy fanlarda qabul qilingan bir hodisaning uslubi ikkinchisidan farq qilishiga e'tibor berish kerak bo'ladi.

Termodinamik uslubning xususiyatlaridan quyidagi xossalarni asosiy deb hisoblasak bo'ladi:

1. termodinamik uslub ko'pgina tajriba materiallarini tahlil qilish davomida yig'ilgan qonuniyatlarni ifodalash natijasida tuzilgan. Keyinchalik bu natijalar o'z navbatida termodinamikaning qonuni sifatida termodinamikaning uchta qonuni sifatida yuzaga keldi.

Termodinamikaning I qonuni energiyani saqlanish va bir turdan ikkinchi turga o'tish qonuni asosida yaratildi.

Termodinamikaning II-qonuni esa energiyani almashinuvida jarayonlarni bajarilish yo'nalishlarini o'zgarishlarini o'rgatadi. Bu qonunga binoan ikkinchi tur abadiy dvigatel yaratib bo'lmaydi.

Termodinamikaning III-qonuni esa, jismni mutloq nol haroratga intilishdagi holatini tushuntirib beradi.

2. Turli xil bog'lanishlardagi energiya almashinish jarayonlarini izohlashda faqat shunday fizik tushunchalar va kattaliklar ishlatiladiki, ular materialni

mikroskopik (molekulyar) tuzilishiga bog'liq bo'lmagan tushunchalarning ma'nosi bo'lib hisoblanadi. Bu kattaliklar yoki o'lchanadi yoki o'lchangan kattaliklar bo'yicha hisoblanadi. Ular katta sondagi jismni mikroskopik bo'lakchalarini ta'siri natijalarini xarakterlaydi. Ushbu kattaliklarni makroskopik, fenolinologik yoki termodinamik kattaliklar deb ataladi, ular mikroskopik kattaliklardan farqli o'laroq alohida molekulalar, atomlar va boshqa bo'lakchalar holatini xarakterlaydi.

XIX asrning oxirida statistik termodinamika rivojlanadi, bu statistik fizikaning bir qismi bo'lib hisoblanadi. Statistik termodinamikada makroskopik jism xossalari, jismning elementar bo'laklardan tuzilganligini konkret ko'rinishi asosida hisoblanadi.

2-MAVZU. TERMODINAMIK TIZIM VA ISHCHI JISM.

Reja:

1. Asosiy termodinamik holat parametrlari.
2. Ishchi jism va termodinamik tizim
3. Asosiy termodinamik holat parametrlari

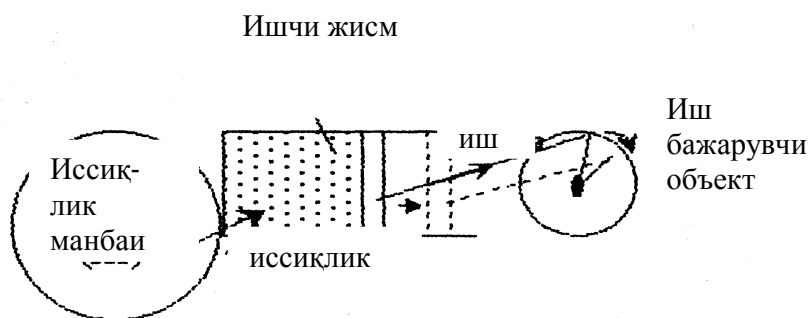
Ishchi jism va termodinamik tizim

Issiqlik mashinalarida issiqlikni ishga aylantirish ishchi jism yordamida amalga oshiriladi. Ishchi jism gaz yoki bug' bo'lishi mumkin.

O'zaro va atrof muhit bilan issiqlik almashinadigan jismlar majmuasiga **termodinamik tizim** deyiladi. Energetikada elektr stansiyaning hamma mashinalari yoki issiqlik dvigatelinin alohida qismlari va ichida gaz joylashgan porshenli silindrlar termodinamik tizimga misol bo'la oladi.

O'rganilayotgan termodinamik tizimga kirmaydigan hamma jismlar **atrof muhit** deb ataladi.

Termodinamik tizim – ochiq, yopiq, yakkaqlangan va adiabatik bo'lishi mumkin.



1.1-rasm. Termodinamik tizim

Agar tizim boshqa tizimlar bilan energiya almasha olsa **ochiq termodinamik tizim** (gaz-turbina qurilmasi), energiya almasha olmasa **yopiq termodinamik tizim** (ichki yonuv dvigatellari) deb yuritiladi.

Agar tizim atrof muhit bilan o'zaro ta'sir etmasa **yakkaqlangan termodinamik tizim**, agar tizim atrof muhit bilan issiqlik almashmasa **adiabatik tizim** deb yuritiladi.

Asosiy termodinamik holat parametrlari

Istalangan termodinamik tizim uchun bir qancha fizik kattaliklarni yig'indisi ko'rsatilgan bo'ladi, shular orqali berilgan tizimni boshqa bir tizim bilan ajratish hamda tizimdagi o'zgarishlarni tekshirish, tizimni atrof muhit bilan o'zaro ta'sir etishini tekshirish mumkin bo'ladi. Bunday kattaliklar yig'indisiga **tizimning holati** deyiladi.

Ishchi jismning fizik holatini ifodalaydigan kattaliklar **holat parametrlari** deyiladi. Holat parametrlariga: mutloq bosim, mutloq harorat, solishtirma hajm, zichlik, ichki energiya, entalpiya, entropiya va boshqalar kiradi. Jismning holati o'zgarganda bosim, harorat va solishtirma hajm keskin o'zgaruvchan parametrlar bo'lgani uchun ularni **termik parametrlar** deyiladi.

Bosim. Sirtning birlik yuziga tik ta'sir etuvchi kuchga **bosim** deyiladi.

$$P = \frac{F}{S}, \quad [Pa] = \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (1.1)$$

1N/m² – bu birlik Paskal (1 Pa) deyiladi. 1 Pa unchalik katta bo'lmagani uchun texnikada kPa va MPa ishlatiladi.

$$1 \text{ kPa (kilopaskal)} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa (megapaskal)} = 10^6 \text{ Pa.}$$

Bu birliklardan tashqari 1 bar = 10⁵ Pa – bu bosim atmosfera bosimiga yaqin bo'lgan bosimdir.

Bosim o'lchov birliklaridan yana biri 1 kg kuch/sm² (kg k/sm²) yoki boshqa ko'rinishda quyidagicha yoziladi: kG/sm², bu 1 kG/sm² = 1 at bu texnik atmosfera deyiladi.

Bosim o'lchov birliklari orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 10,2 \text{ at} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kg k/sm}^2 = 10^4 \text{ mm suv ust.};$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 760 \text{ mm sim.ust.} = 10333 \text{ mm suv ust.}$$

Fizik atmosfera (1 atm) 0⁰S haroratda 760 mm sim.ust.-ga teng.

Bosim quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Atmosfera yoki barometrik bosim P_{bar} – bu atmosfera havosining bosimi;
2. Ortiqcha yoki manometrik bosim P_{ort} (P_{man}) – atmosfera bosimidan yuqori bosim;
3. Vakuum (siyraklanish) P_{vak} – bu atmosfera bosimidan kichik bosimdir;
4. Mutloq bosim P_{mut} – bu jismga ta'sir etadigan to'liq bosimdir;

Bulardan faqat mutloq bosim gaz yoki suyuqlikning holat parametri bo'la oladi.

Agar biror idishdagi bosim atmosfera bosimidan yuqori bo'lsa, unda

$$P_{\text{mut}} = P_{\text{bar}} + P_{\text{ort}} \quad (1.2)$$

Agar aksincha, idishdagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo'lsa, unda:

$$P_{\text{mut}} = P_{\text{bar}} - P_{\text{vak}} \quad (1.3)$$

Bosimning turli o'lchov birliklari orasidagi nisbatni quyidagi jadval orqali ko'rishimiz mumkin.

1.1-jadval

Birliklar	Pa	bar	kg k/sm ²	mm sim.ust.	mm suv ust.
1Pa	1	10 ⁻⁵	1,02 • 10 ⁻⁵	7,5024 • 10 ⁻³	0,702
1bar	10 ⁵	1	1,02	7,5024 • 10 ²	1,02 • 10 ⁴
1 kg k/cm ²	9,8 • 10 ⁴	0,9806	1	735	10 ⁴
1 mm sim.ust	133	1,33 • 10 ⁻³	1,36 • 10 ³	1	13,6
1 mm suv ust.	9,8067	9,80 • 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	7,35 • 10 ⁻²	1

Harorat. Harorat jismning qiziganlik darajasini ko'rsatadigan kattalikdir, boshqacha qilib aytganda gaz molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasiga proporsional bo'lgan kattalikdir.

Harorat 2 xil bo'ladi:

1. Mutloq harorat $-T, ^\circ K$ (Kelvin shkalasi)
2. Emperik harorat $-t, ^\circ S$ (Selsiy shkalasi)

Haroratning qiymat sonini harorat shkalalari ko'rsatib beradi. Harorat shkalalari Selsiy ($^\circ S$) yoki gradusli – Kelvin, Farengeyt va Reomeyur shkalalariga bo'linadi. Selsiy shkalasida asosiy reper nuqtalari qilib, muzning erish harorati $0^\circ S$ va suvning qaynash harorati $100^\circ S$ qabul qilingan. Bu nuqtalardagi termometr ko'rsatkichining farqini 100 ga bo'lingandagi bir bo'lagi Selsiy gradusi ($^\circ S$) deb qabul qilinadi.

Angliya va AQSH da qo'llaniladigan Farengeyt shkalasida muzning erish harorati $32^\circ F$ va qaynash harorati $212^\circ F$ deb qabul qilingan, demak

$$t ^\circ C = \frac{5}{9} (t ^\circ F - 32)$$

$$t ^\circ F = \frac{9}{5} t ^\circ C + 32$$

SI tizimida mutlaq harorat Kelvin shkalasida o'lchanadi. Amalda esa har bir asbob Selsiy gradusida o'lchab beradi. Shuning uchun ularning orasidagi bog'lanishni quyidagicha yozamiz:

$$T ^\circ K = t ^\circ C + 273,15$$

Solishtirma hajm. Jismning massa birligiga teng bo'lgan hajmga **solishtirma hajm** deyiladi:

$$\nu = \frac{V}{m}, \quad \frac{M^3}{K^2} \quad (1.4)$$

zichlik ρ - solishtirma hajmga teskari bo'lgan kattalikdir.

$$\rho = \frac{1}{\nu} = \frac{m}{V}, \quad \frac{K^2}{M^3} \quad (1.5)$$

Turli harorat shkalalari orasidagi nisbat

1.2-jadval

Shkalalar nomi	Selsiy shkalasi, $t, ^\circ S$	Renkin shkalasi $T, ^\circ Ra$	Farangeyt shkalasi, $t, ^\circ F$	Reomyur shkalasi $t, ^\circ R$
Selsiy shkalasi, $^\circ S$	—	$\frac{5}{9}T^\circ Ra - 273,15$	$\frac{t, ^\circ F - 32}{1,8}$	$1,25t^\circ R$
Renkin shkalasi, $^\circ Ra$	$1,8(t^\circ C + 273,15)$	—	$t^\circ F + 459,7$	$1,8(1,25t^\circ R + 273,15)$

Farangeyt shkalasi, °F	$1,8t^{\circ}\text{C}+32$	$t^{\circ}\text{Ra}-459,67$	—	$9/4t^{\circ}\text{R}$
Reomer shkalasi, °R	$0,8t^{\circ}\text{C}$	$0,8(5/9T^{\circ}\text{Ra}-273,15)$	$4/9(t^{\circ}\text{F}-32)$	—

3-MAVZU. IDEAL GAZNING HOLAT TENGLAMASI. GAZ DOIMIYSI.

Reja:

1. Ideal gazlarning xususiyatlari
2. Ideal gazniig holat tenglamasi
3. Real gazning holat tenglamasi

Termodinamik tekshirish usullarini soddalashtirish uchun ideal gaz haqida tushuncha kiritilgan.

Ideal gazlarda:

- 1) Gaz molekulalari orasida o'zaro tortishish kuchlari mavjud emas.
- 2) Gaz molekulalarining o'lchamlarini hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik.
- 3) Gaz molekulalarning o'zaro to'qnashuvlari xuddi elastik sharlarning to'qnashuvidek sodir bo'ladi.

Siyraklashtirilgan real gazlarning xossalari ideal gazga yaqin (masalan; N, geliy). Xaqiqatda ideal gazning o'zi yo'q. Lekin ideal gaz qonunlarini o'rganish real gazning turli xil sharoitlarda qanday xususiyatda bo'lishini aniqlashga yordam beradi.

Ideal gazning holat tenglamasining keltirib chiqarish uchun ideal gazning asosiy qonunlarini esga olamiz.

Boyl-Mariott qonuni: harorat o'zgarmas bo'lganda bosim o'zgarishi hajm o'zgarishiga teskari proporsional

$$P v = \text{sonst}$$

Gey-Lyussak qonuni: bosim o'zgarmas bo'lganda hajm o'zgarishi harorat o'zgarishiga to'g'ri proporsional

$$\frac{v}{T} = \text{const}$$

Ikkala qonunni birlashtirsak holat tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{P v}{T} = \text{const}$$

Gazning mutloq bosimini hajmiga ko'paytmasining mutloq haroratga nisbati o'zgarmaydi va u R bilan belgilanadi. Bu kattalik **gaz doimiysi** deb ataladi.

$$\frac{P v}{T} = R \quad (1.6)$$

Shunday qilib, biz gaz parametrlari P, v va T ni o'zaro bog'laydigan tenglamani, ya'ni ideal gazning holat tenglamasini hosil qildik.

$$R - \text{gaz doimiysi} \left[\frac{\text{J}}{\text{K}^2 \text{K}} \right]$$

Gaz doimiysining fizik ma'nosi:

Gaz doimiysi 1 kg gazning 1 °S ga isitilganda $P=\text{const}$ sharoitda bajargan kengayish ishidir.

1 kg jism uchun ideal gazning holat tenglamasi:

$$Pv=RT \quad (1.7)$$

m kg gaz uchun holat tenglamasi:

$$PV=mRT \quad (1.8)$$

1 kmol gaz uchun holat tenglamasi:

$$P_{\mu}v=\mu RT \quad (1.9)$$

μR - universal gaz doimiysi, uning qiymatini normal sharoit uchun hisoblaymiz. Normal sharoitda bosim $P=101325$ Pa, harorat $T=273^0\text{K}$ va hajm $\mu v=22,4$ m³/kmol ga teng.

$$\mu R = \frac{P}{T} = \frac{101325 \cdot 22,4}{273} = 8314 \left[\frac{\text{Ж}}{\text{к}^2\text{K}} \right] \quad (1.10)$$

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$R_i = \frac{\mu R}{\mu_i} \left[\frac{\text{Ж}}{\text{к}^2\text{K}} \right]$$

μ_i – i gazining molekulyar og'irligini toping.

Masala. Kislorodning gaz doimiysini toping.

$$R_0 = \frac{8314}{32} = 260 \left[\frac{\text{Ж}}{\text{к}^2\text{K}} \right]$$

Havoning gaz doimiysi toping.

$$R_{\text{havo}} = \frac{8314}{29} = 287 \left[\frac{\text{Ж}}{\text{к}^2\text{K}} \right]$$

Real gazning holat tenglamasi

Real gaz molekulari o'zining oxirgi hajmiga va o'zaro tortishish kuchlariga ega.

Mendeleev-Klapeyron tenglamasiga tegishli tuzatmalar kiritib, real gaz holatini aks ettiradigan ifodani hosil qilish mumkin. Bu vazifani 1873 yilda Van-der-Vals bajaradi. U ikkita molekularning hajmga bog'liqligiga tuzatma va molekular orasida o'zaro tortishish kuchlarini hisobga oluvchi tuzatma kiritdi.

Mendeleev-Klapeyron tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$v = \frac{RT}{P} \quad (1.11)$$

real gaz molekulari oxirgi hajmi v_{mol} va molekulari orasidagi bo'shliqni v_{bush} hisobga olsak, molekular xarakat qiladigan hajm $v-v$ ga teng bo'ladi, $v = v_{\text{mol}} + v_{\text{bush}}$

$$P = \frac{RT}{v - \epsilon} \quad (1.12)$$

Real gaz molekularining idish devoriga urilishi kuchsizroq bo'ladi. Real gazning bosimi ideal gazning bosimidan Δp ga kichik bo'ladi.

$$\Delta p = \frac{a}{v^2}$$

$$P = \frac{RT}{v - b} - \Delta p$$

Shularga asoslangan holda Van-Der-Vals tenglamasini yozamiz:

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT \quad (1.13)$$

bu yerda a , b – doimiy koeffisientlar; $\frac{a}{v^2}$ – ichki bosim.

Masala: Hajmi 60 l bo'lgan harorati 25⁰S bo'lgan ballondagi kislorodning manometr bo'yicha bosimi 1100 kPa, barometr ko'rsatkichi 745 mm.sim.ust. ga teng. Kislorodning massasini toping.

Yechish:

$$P = P_{\text{bar}} + P_{\text{man}} = 1100 + 99,3 = 1199,3 \text{ kPa}$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{1199,3 \cdot 10^3 \cdot 0,06}{260 \cdot 298} = 0,9 \text{ kg}$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Termodinamik tizim nima?
2. Ishchi jism nima?
3. Holat parametrlari deb qanday parametrlarga aytiladi?
4. Bosim va uning turlari haqida tushuncha bering.
5. Harorat nima?
6. Absolyut harorat nima?
7. Shkalalar orasidagi bog'lanish.

4-MAVZU. ISSIQLIK SIG'IMI.

Reja:

1. Gazlar issiqlik sig'imining molekulyar-kinetik nazariyasi.
2. Haqiqiy va o'rtacha issiqlik sig'implar.
3. Gaz issiqlik sig'implarining emperik ifodalari.
4. Issiqlik sig'imining jarayonga va haroratga bog'liqligi.

Ideal gazlarning issiqlik sig'imi

Termodinamik jarayonda ishchi jismga berilgan issiqlik miqdorini shu jismning solishtirma issiqlik sig'imi orqali aniqlanadi. Solishtirma **issiqlik sig'imi** deb, 1kg jismni 1⁰S qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdoriga aytiladi va u *c* harfi bilan belgilanadi.

$$c_x = \frac{q}{t_2 - t_1}; \quad \left[\frac{kJ}{kg^0C} \right] \quad (1.18)$$

q – solishtirma issiqlik miqdori, kJ/kg;

*t*₁ – boshlang'ich harorat;

*t*₂ – jismning oxirgi harorati;

x – jarayon turi.

Issiqlik sig'imi o'zgarimas kattalik emas, harorat o'zgarishi bilan issiqlik sig'imi ham o'zgaradi. Issiqlik sig'imi ideal gazlar uchun faqat haroratga bog'liq bo'ladi.

$$c_x = f(T)$$

Shuning uchun 2 xil kattalik: o'rtacha issiqlik sig'imi va xaqiqiy issiqlik sig'imi tushunchasi kiritilgan.

1) o'rtacha issiqlik sig'imi $c_x = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (1.19)$

2) Xaqiqiy issiqlik sig'imi deb, haroratlar farqi nolga intilayotgandagi o'rtacha issiqlik sig'imiga aytiladi.

$$c_{\text{xaq}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.20)$$

Solishtirma issiqlik sig'imi miqdor kattaligiga ko'ra 3 xil bo'ladi:

1) Massaviy issiqlik sig'imi – $c_x \left[\frac{kJ}{kg^0C} \right]$

2) Hajmiy issiqlik sig'imi – c'

$$c'_x = \frac{Q}{V_0(t_2 - t_1)} \left[\frac{kJ}{m^3^0C} \right] \quad (1.21)$$

*V*₀ – normal sharoitga keltirilgan hajm.

3) Molyar issiqlik sig'imi - $\mu c_x \left[\frac{kJ}{kmol^0C} \right]$

Issiqlik sig'implari orasidagi bog'lanish:

$$c_x = c'_x \nu_0 = \frac{\mu c_x}{\mu} \quad (1.22)$$

Termodinamik hisoblashlarda o'zgarmas bosim $p=\text{const}$ jarayonidagi issiqlik sig'imi va o'zgarmas hajm $v=\text{const}$ jarayonidagi issiqlik sig'imi o'rin tutadi. O'zgarmas bosim jarayonidagi issiqlik sig'imi **izobarik** – **massaviy** (s_p), **hajmiy** (s_p^I), **molyar issiqlik sig'imi** (μs_p) deyiladi. O'zgarmas hajm jarayonidagi issiqlik sig'imi **izoxorik**–**massaviy** (s_v), **hajmiy** (s_v^I), **molyar issiqlik sig'imi** (μs_v) deyiladi.

O'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi c_r har doim o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi c_v dan katta bo'ladi.

$$c_r > c_v$$

Buni quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni $P=\text{const}$ jarayonida hajmning o'zgarishi hisobiga ma'lum ish bajaradi, $V=\text{const}$ jarayonida ish bajarilmaydi.

Izobar va izoxor issiqlik sig'implari bir-biri bilan quyidagi tenglama orqali bog'lanadi:

$$c_r - c_v = R.$$

Bu tenglama Mayer tenglamasi deb yuritiladi.

Mayer tenglamasini molyar issiqlik sig'imi uchun quyidagicha yozamiz:

$$\mu c_r - \mu c_v = \mu R$$

Izobar issiqlik sig'imini izoxor issiqlik sig'imiga nisbatini k bilan belgilab, termodinamik hisoblashlarda ko'p ishlatiladi.

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (1.23)$$

k – adiabata ko'rsatkichi yoki Puasson koeffisienti deb yuritiladi.

Issiqlik sig'imining haroratga to'g'ri chiziq bo'yicha bog'liqligini quyidagi ifoda orqali ifodalaymiz:

$$c = a + bt$$

Bu ifoda a va b koeffisientlar o'zgarmas kattaliklar bo'lib, jarayonni borishiga bog'liqdir.

$c_m = \frac{c_1 + c_2}{2} = \frac{a + bt_1 + a + bt_2}{2}$ - o'rtacha issiqlik sig'imini haroratga bog'liq ravishda yozilishi.

$$q = \left[a + \frac{b}{2}(t_1 + t_2) \right] (t_2 - t_1) \text{ - issiqlik miqdorini aniqlash ifodasi.}$$

Issiqlik sig'imining haroratga egri chiziq bo'yicha bog'liqligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c = a + bt + dt^2$$

$$q = c_m \int_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) \quad (1.24)$$

Termodinamik hisoblashlarda o'rtacha issiqlik sig'imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$c_{1,2} = \frac{c|_0^t t_2 - c|_0^t t_1}{t_2 - t_1} \quad (1.25)$$

Issiqlik sig'imi haroratga bog'liq bo'lmasa ($s=sonst$), uning qiymati quyidagi jadval yordamida aniqlanadi.

Gazlar	μc_v	μc_r	k
1 atomli	12,6	20,9	1,66
2 atomli	20,9	29,2	1,4
3 va ko'p atomli	29,2	37,3	1,33

Gaz aralashmalari uchun issiqlik sig'imi quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$$c_{ar} = \sum_{i=1}^n g_i c_{pi} \quad \text{va} \quad c_v = \sum_{i=1}^n g_i c_{vi}$$

Aralashmaning hajmiy issiqlik sig'imi:

$$c'_p = \sum_{i=1}^n r_i c'_{pi} \quad \text{va} \quad c_v = \sum_{i=1}^n r_i c'_{vi}$$

Aralashmaning molyar issiqlik sig'imi:

$$\mu s_r = \sum_{i=1}^n r_i \mu c'_{pi} \quad \text{va} \quad \mu s_v = \sum_{i=1}^n r_i \mu c_{vi}$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Ideal va real gazlar haqida tushuncha bering.
2. Ideal gazning holat tenglamasini yozib bering.
3. Real gazning holat tenglamasini yozib bering.

5-MAVZU. IDEAL GAZ ARALASHMALARI

Reja:

1. Dalton qonuni.

2. Aralashma tarkibining berilish usullari.

3. Aralashma ko'rsatkichlarining tarkibi, hamda uni komponentlar ko'rsatkichlari orqali ifodalash.

Ishchi jism tarkibida bir nechta gaz bo'lgan aralashmadan iborat bo'ladi. Bir-biri bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan gazlar to'plamiga **gaz aralashmasi** deyiladi. Ularga havo, yoqilg'ining yonish mahsulotlari va boshqalar misol bo'la oladi.

Kichik bosimli gaz aralashmasini ko'rib chiqamiz.

Bu gaz aralashmasi o'z hajmiga (V_{ar} , m^3), haroratiga (T_{ar} , K), bosimi (P_{ar} , Pa) va massasi (m_{ar} , kg) ga ega.

S_2N_6 , N_2 – aralashma komponentlari.

Dalton konuniga ko'ra aralashma bosimi aralashmadagi gazlar komponentlarining parsial bosimlari yig'indisiga teng.

$$P_{ar}=P_1+P_2+P_3+ \dots +P_n$$

$$P_{ar}=\sum_{i=1}^n P_i \quad (1.14)$$

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ – parsial bosim.

Gaz aralashmalari uchun holat tenglamasi

$$P_{ar}V_{ar}=m_{ar}P_{ar}T_{ar}$$

Aralashma tarkibi: massaviy, hajmiy va molyar ulushlarda berilishi mumkin. m_1 birinchi komponent massasi, m_2 ikkinchi komponent massasi m_3 uchinchi komponent massasi va hokazolardan iborat aralashmani kurib chikamiz. p komponentlardan iborat aralashmaning massasi:

$$m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_p = m_{ar} \quad (1.15)$$

Aralashmaning **massaviy ulushi** deb, gaz massasini aralashma massasiga nisbatiga aytiladi va u g xarfi bilan belgilanadi

$$g_1 = \frac{m_1}{m_{ap}}; \quad g_2 = \frac{m_2}{m_{ap}}; \quad g_3 = \frac{m_3}{m_{ap}}; \quad \dots g_n = \frac{m_n}{m_{ap}};$$
$$g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n = 1 \quad (100^0/0) \quad (1.16)$$

Aralashmaning massaviy ulushi foizlarda beriladi, masalan, havo uchun

$$g_{N_2}=0,77 \text{ (77\%)}; \quad g_{O_2}=0,23 \text{ (23\%)}$$

Agar ideal gaz aralashmasi komponenti aralashma temperaturasida o'zining parsial bosimi ostida emas, balki aralashmaning to'la bosimi ostida bo'lsa u holda

uning hajmi V_i kattaligiga teng bo'ladi, bu kattalik i- gazning keltirilgan hajmi deb ataladi. Gaz aralashmasining to'la hajmi keltirilgan hajmlarning yig'indisiga teng:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V_{ar}$$

V_1, V_2, V_3, V_n - komponentlarning keltirilgan hajmi

V_{ar} - aralashmaning to'la hajmi

Aralashmaning hajmiy ulushi deb, gazning keltirilgan hajmini aralashma hajmining nisbatiga aytiladi va u r harfi bilan belgilanadi:

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{ap}}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V_{ap}}; \quad r_3 = \frac{V_3}{V_{ap}}; \quad \dots \quad r_n = \frac{V_n}{V_{ap}}$$

Aralashmaning hajmiy ulushlarining yig'indisi birga teng yoki 100% ga teng:

$$r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = 1 \quad (100\%)$$

Hajmiy ulush foizda beriladi, havo uchun

$$r_{N_2} = 0,79 \quad (79\%); \quad r_{O_2} = 0,21 \quad (21\%);$$

Molyar ulush deb, gaz moli sonini aralashma moli soniga nisbatiga aytiladi va u x harfi bilan belgilanadi.

$$x_i = \frac{Z_i}{Z_{ap}};$$

$$\sum x_i = 1 \quad (100\%)$$

Z_i – gaz moli soni;

Z_{ar} – aralashma moli soni.

Ideal gazlar uchun molyar ulush hajmiy ulushga teng: $x_i = r_i$

Ideal gaz aralashmalarini xisoblashda molyar massasidan foydalaniladi.

Agar gaz aralashmalari hajmiy ulushda berilsa, gaz aralashmasining molyar massasi quyidagiga teng:

$$\mu_{ar} = \mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \mu_3 r_3 + \dots + \mu_n r_n \left[\frac{kg}{kmol} \right]$$

Agar gaz aralashmalari massaviy ulushda berilsa, gaz aralashmasining molyar massasi quyidagiga teng:

$$\mu_{ar} = \frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \frac{g_3}{\mu_3} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n}}; \left[\frac{kg}{kmol} \right]$$

Aralashmaning gaz doimiysi:

$$R_{ar} = \frac{8314}{\mu_{ap}}; \left[\frac{kg}{mol \cdot ^\circ C} \right] \quad (1.17)$$

Parsial bosimlarni aniqlash:

$$P_i = r \cdot P_{ar}$$

Hajmiy ulush va massaviy ulush orasidagi bog'liqlik:

$$r_i = \frac{\frac{g_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}} ; \quad g_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i}$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Ideal gaz aralashmasi deb nimaga aytiladi?
2. Ideal gaz aralashmalari qanday tarkibda beriladi?
3. Issiqlik sig'imi nima uchun ishlatiladi?
4. Issiqlik sig'im necha hil bo'ladi?
5. Mayer tenglamasini ayting.

6-MAVZU. ENERGIYANING SAQLANISH VA AYLANISH QONUNI. TERMODINAMIK JARAYONDA ISH VA ISSIQLIK MIQDORI.

Reja

1. Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori
2. Ichki energiya va entalpiya
3. Termodinamikaning birinchi qonuni
4. Entropiya

Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori

Tashqi muhitning o'zaro ta'siri natijasida jismning holatini o'zgarishi **termodinamik jarayon** deb ataladi.

Muvozanat holatdagi jism deb, uning har bir nuqtasida p , R , T va boshqa fizik xususiyatlar bir xilda bo'ladigan holatga aytiladi.

Agar silindrdagi gaz porshen yordamida siqilganda yoki kengaytirilganda ishchi jism silindr hajmining har qanday nuqtasida T va R har xil bo'ladi – bu holat **nomuvozanat holat** deyiladi.

Termodinamik jarayonlarda jismlar bir-birlari bilan energiya almashadi, buning natijasida bir jismning energiyasi ko'payadi, boshqasida kamayadi.

Jarayonlarda jism energiyasi ikki xil usulda bir jismdan ikkinchi jismga o'tishi mumkin.

Birinchi usul:

Bunda issiq jismdan unga nisbatan sovuq bo'lgan jismga energiya o'tadi. Bu usuldagi energiyaning miqdori **issiqlik miqdori** deyiladi va o'tish usuli – energiyaning issiqlik formasida uzatilishi deb ataladi. Issiqlik Q bilan belgilanadi, J da o'lchanadi.

Ikkinchi usul: Tashqi bosim ta'sirida jism o'zining hajmini o'zgartiradi. Bu usul energiyaning ish formasida uzatilishi deyiladi va uzatiladigan energiyaning miqdori **ish** deb ataladi. Ish L bilan belgilanadi, J da o'lchanadi.

Umumiy hollarda energiya bir paytda ham issiqlik formasida ham ish formasida uzatiladi.

1 kg ishchi jismning ishi – ℓ bilan belgilanadi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$; issiqlik miqdori – q bilan belgilanadi, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$.

Gazning bajargan ishini hisoblash:

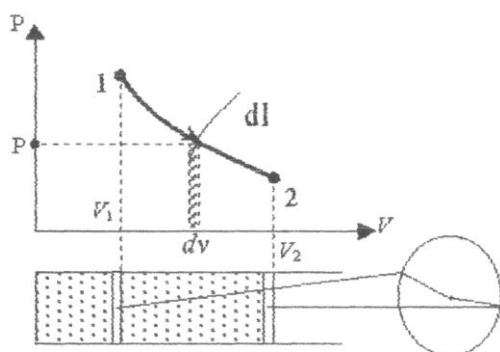
Ishning ifodasini ko'rib chiqish uchun 1-2 jarayonda gaz hajmini o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

Hajmni cheksiz kichik o'zgarishi dv da cheksiz kichik ish 1kg gaz uchun:

$$d\ell = p dv \quad (2.1)$$

Gazning v_1 dan v_2 gacha xajm o'zgarishida bajarilgan ish

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} p dv \left[\frac{\kappa K}{\kappa^2} \right] \quad (2.2)$$



2.1-rasm. p-v diagramma

p-v diagrammadagi 1-2-3-4-1 yuza bajarilgan ishga teng va bu diagramma **ishchi diagramma** deyiladi. Gazning bajargan ishi holat funksiyasi bo'la olmaydi. Gazning kengayishida $dv > 0$ bajarilgan ish $\ell > 0$ musbat, torayishida $dv < 0$, bajarilgan ish $\ell < 0$ manfiy, agar hajm o'zgarmasa $\ell = 0$ ga teng bo'ladi.

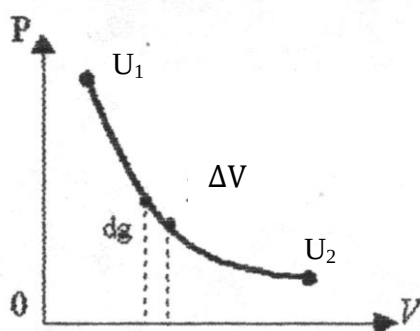
Ichki energiya va entalpiya

Jismning ichki energiyasi molekulalarning boshlang'ich, kinetik va potensial energiyadan iborat bo'ladi.

$$U = E_0 + E_{kin} + E_{pot} \quad (2.3)$$

Ideal gazlar uchun:

$$U = U_{kin}$$



2.2- rasm.

Ichki energiya bosim, hajm va haroratni funksiyasidir, $U = f(P, v, T)$

$$U = f(P)$$

$$U = f(v)$$

$$U = f(T)$$

Ana shu yozilgan ifodani P-v diagrammada ko'rsatadigan bo'lsak, u quyidagicha ifodalanadi va shu P, v, T o'zgarishi bilan keskin o'zgaradi va oxirgi parametrlari o'zgarishi bilan o'zgaradi.

Ichki energiya jismni bir holatdan ikkinchi holatga qaysi yo'l bilan o'tishiga bog'liq emas, shuning uchun

$$U_1 = U_2 = U$$

Jism ichki energiyasining biror jarayonda o'zgarishi jarayonning xarakteriga bog'liq emas va jismning boshlang'ich va oxirgi holati bilan aniqlanadi.

$$\Delta U = U_1 - U_2 = C_v(t_2 - t_1)$$

Tizim ichki energiyasining yig'indisi U bilan tizimning bosimi R ning tizim hajmining kattaligi V ga ko'paytmasi yig'indisining kattaligi entalpiya deb ataladi va h orqali belgilanadi.

$$H = U + pV \quad [J], [kJ] \quad (2.4)$$

Solishtirma entalpiya:

$$h = u + pV \quad [J/kg], [kJ/kg]. \quad (2.5)$$

Entalpiya va ichki energiya holat parametri bo'lib, moddaning **kollorik xossalari** deb ataladi.

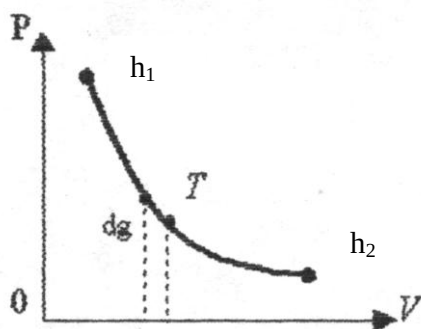
Entalpiya haroratga bog'liq bo'lgan kattalikdir.

$$h = f(T)$$

$$dh = c_p dT$$

Entalpiya ham holat parametri bo'lib, shu P, v, T o'zgarishi bilan keskin o'zgaradi, shuning uchun $h = f(P, v, T)$ bo'ladi.

Oxirgi yozilgan ifodani ham P-v diagrammada chizib izohlab berish mumkin.



2. 3- rasm.

Entalpiya holat parametri bo'lgani uchun jismni boshlang'ich va oxirgi parametrlariga bog'liq ravishda o'zgaradi, shuning uchun

$$h_{1a2} = h_{1b2} = h_{1c2}$$

Termodinamikaning I qonuni

Termodinamikaning I qonuni energiyaning saqlanish va aylanish qonunining tatbiqidir.

Ta'rif: Tizimga berilgan issiqlik miqdori tizimning ichki energiyasini o'zgartirishga va ish bajarishga sarflanadi.

$$Q = \Delta U + L \quad [J]$$

1 kg jism uchun termodinamikaning I qonuni:

$$q = \Delta u + \ell \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

Δu - ichki energiyaning o'zgarishi

ℓ - bajarilgan ish.

Termodinamikaning I qonunining analitik ifodasi:

$$dq = du + d\ell \quad (2.6)$$

Ishni ifodasi quyidagicha:

$$d\ell = p dv \quad (2.7)$$

I qonunni ichki energiya yordamida yozilishi:

$$dq = du + p dv \quad (2.8)$$

I qonunni entalpiya yordamida yozilishini keltirib chiqaramiz:

$$p dv = d(p \cdot v) - v dp \quad (2.10)$$

$$dq = du + d(p \cdot v) - v dp = d(u + p v) - v dp \quad (2.11)$$

$u + p v = h$ deb belgilaymiz.

Entalpiya yordamida yozilishini

$$dq = dh - v dp \quad (2.12)$$

Issiqlik miqdori termodinamik jarayon xarakteriga bog'liq, I qonunning analitik ifodasini issiqlik sig'imi yordamida yozilishi quyidagi ko'rinishga ega:

$$dq = c_v dt + p dv \quad du = c_v dT \quad (2.13)$$

$$dq = c_p dT - v dp \quad dh = c_p dT \quad (2.14)$$

Entropiya

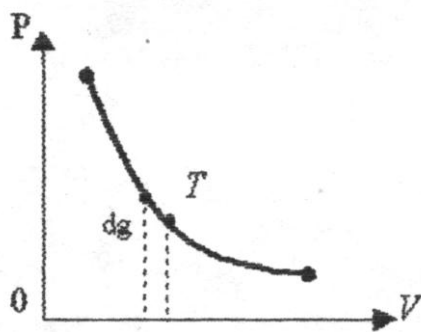
Entropiya ham holat parametrlaridan bo'lib, S harfi bilan belgilanadi va o'zgarish ma'nosini bildiradi. Tizimga issiqlik berilganda uning holati o'zgaradi. Elementar qismda berilgan issiqlik dq va harorati T ga teng.

$$\frac{dq}{T} = ds \quad (2.15)$$

Entropiya – tizim holatning shunday funksiyasiki, bu funksiyaning qaytuvchan jarayonidagi cheksiz kichik o'zgarishi mazkur tizimga kiritilgan cheksiz kichik issiqlik miqdorining shu issiqlik kiritilgan holatdagi harorat nisbatiga teng.

$$S = \left[\frac{kJ}{kg^0 C} \right] \quad (2.16)$$

$$dq = T \cdot ds$$



2.4-rasm

- Agar: 1) $ds > 0$, $S_2 > S_1$ entropiya ortadi
 $dq > 0$, issiqlik ortadi.
 2) $ds < 0$, $S_2 < S_1$ entropiya kamayadi
 $dq < 0$ issiqlik ajraladi.
 3) $ds = 0$, $S_2 = S_1$ $dq = 0$ adiabatik jarayon.

Entropiya haqida tushunchaga ega bo'lganimizdan keyin biz har qanday sodir bo'layotgan jarayonlar uchun issiqlik diagrammasi T-s diagrammani chizib, u jarayonda harorat va entropiyani o'zgarishini izohlab berishimiz mumkin. T-s diagrammasi jarayonning issiqligini aniqlab beruvchi diagramma bo'lib hisoblanadi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Ichki energiya nima?
2. Entalpiya nima?
3. Entropiya nima?
4. Termodinamikaning I qonuni ta'rifini bering.
5. Termodinamikaning I qonunining analitik ifodasini yozib bering.

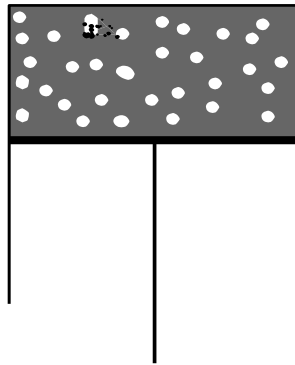
7-MAVZU. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLAR TAHLILI

Reja

1. Izoxorik va izobarik jarayonlar.
2. PV va TS-diagrammada izoxora va izobaraning joylashuvi.
3. Izotermik jarayon.
4. PV va TS diagrammalarda izotermaning joylashuvi.

Izoxorik va izobarik jarayonlar

Sistemaning $V=\text{const}$ da yuz beradigan termodinamik hodisalar **izoxorik** jarayon deyiladi.



3.1- rasm. O`zgarmas hajmdagi gaz.

Tashqaridan q issiqlik miqdori kiritilganga qadar gazning parametrlari P_1, V_1, T_1 , bo`ladi, issiqlikni qabul qilgandan so`ng esa P_2, V_2, T_2 bo`ladi. Ikki holat uchun yozamiz:

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

$V_1 = V_2 = \text{const}$ bo`lganidan Sharl qonuni:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{yoki} \quad P_1 T_2 = P_2 T_1$$

Bosim o`zgarishi bu jarayondagi absolyut temperatura o`zgarishiga to`g`ri proporsionaldir.

Termodinamikaning 1 qonuniga asosan

$$q = (u_2 - u_1) + A$$

differentensial ko`rinishda elementar ishni parametrlar orqali ifodalaymiz:

$$dq = du + dA = du + PdV$$

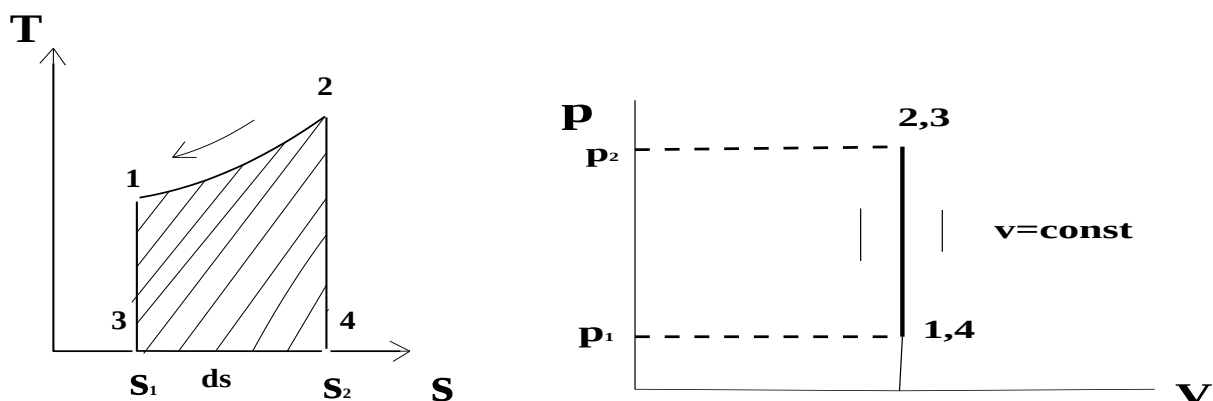
$dV = V_2 - V_1 = 0$ bo`lgani uchun $dA = PdV = 0$

$$dq = du$$

Sistemaga berilgan issiqlik miqdori dq shu sistema ichki energiyasining o`zgarishiga sarflanadi.

Izoxorik jarayonda ichki energiya o`zgarishini issiqlik sig`imi orqali ifodalash mumkin:

$$dq_v = C_v dT = PdV = C_v dT = du$$



3.2- rasm. $V=\text{const}$ bo'lgan jarayonning PV va TS diagrammalari.

Izoxorik jarayonda $T_2 > T_1$ issiqlik sistemaga uzatiladi (+q), $T_2 < T_1$, bo'lganda issiqlik chiqadi (-q). Entropiya o'zgarishini topaylik:

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + P \frac{dV}{T}$$

yoki

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}$$

chunki

$$\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$$

Bunda $\frac{dq}{T} = dS$ - termodinamik sistemaning holat funksiyasi .

$$dS = S_2 - S_1 = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}$$

ifoda sistemaning holati cheksiz kichik o'zgargandagi entropiya o'zgarishini beradi.

Integrallab, gaz holatining oxirgi o'zgarishi uchun

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{ni hosil qilamiz.}$$

$V=\text{const}$ ekanligini hisobga olsak

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

Izoxorik jarayonda gaz ish bajarmaydi.

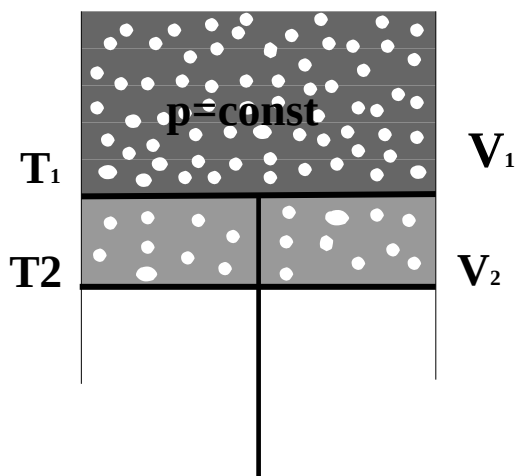
O'zgarmas bosim ostida kechadigan termodinamik hodisalar majmui izobarik jarayon deyiladi. $P=\text{const}$.

$P_1 V_1 = RT_1$; $P_2 V_2 = RT_2$ bu nisbatdan Gei-Lyussak qonuni

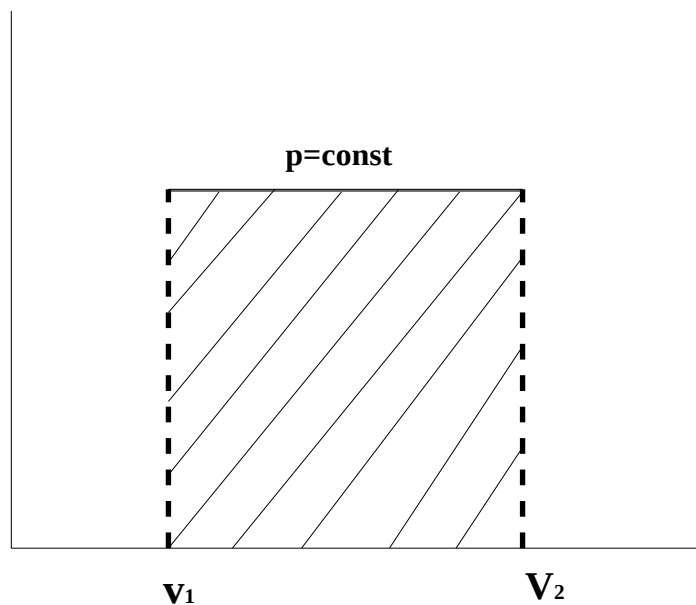
yoki
kelib chiqadi.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$V_1 T_2 = V_2 T_1$$



3.3 – rasm. $P=\text{const}$ boʻlgandagi gaz.



3.4-rasm. $P=\text{const}$ boʻlgandagi jarayonnig PV va TS diagrammalari.

Izobarik jarayonda

$$q_P = C_p (T_2 - T_1).$$

Entropiyaning oʻzgarishi uchun

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dT}{T} = (C_v + R) \frac{dT}{T};$$

Tenglikni integrallab, 1kg gaz holatining oxirgi oʻzgarishi uchun entropiya oʻzgaruvchanligi

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{T_2}{T_1} = (C_v + R) \ln \frac{T_2}{T_1} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Bajarilgan ish

$$A = \int_v^2 P dV = \int_1^2 P dV = \int_1^2 R dT = R(T_2 - T_1)$$

Agar temperaturalar farqi 1⁰ bo'lsa, izobarik jarayonda sistemaning bajargan ishi $A=R$ bo'ladi.

Izobarik jarayonda sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori asosan shu sistema ichki energiyasini ortishiga va oz qismi tashqi mexanik ish bajarilishiga sarf bo'lar ekan.

$$q = (U_2 - U_1) + \int_1^2 P dV.$$

Bunda $PdV=d(PV) - VdP$ ekanligi asosida quyidagini yozish mumkin:

$$dq_p = dU + d(PV) - VdP$$

$$dq_p = d(U+PV) - VdP$$

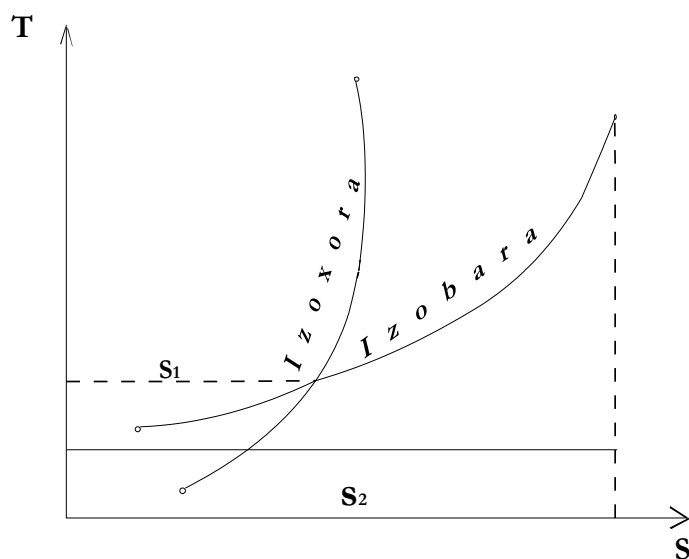
Biz bilamizki, $U+PV=i$ ental'piya.

$$dq_p = di - VdP.$$

$P = \text{const}$ da, $VdP=0$ bo'ladi, shuning uchun

$$dq_p = di \text{ yoki } q_p = i_2 - i_1.$$

Demak, sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori ental'piyaning o'zgarishiga teng.



3.5 – rasm. Izoxora va izobaraning TS koordinatada joylashuvi.

Bunday koordinatalarda izoxorik va izobarik jarayonlar grafigi yuqoriga qaragan parabola bo'lib, bir – biridan farq qiladi.

$$\left(\frac{dT}{dS} \right)_p = \frac{T}{C_p} > 0 \quad \text{va} \quad \left(\frac{dT}{dS} \right)_v = \frac{T}{C_v} > 0$$

$C_p > C_v$ bo'lganligi sababli izoxora izobaraga nisbatan tikroq bo'ladi.

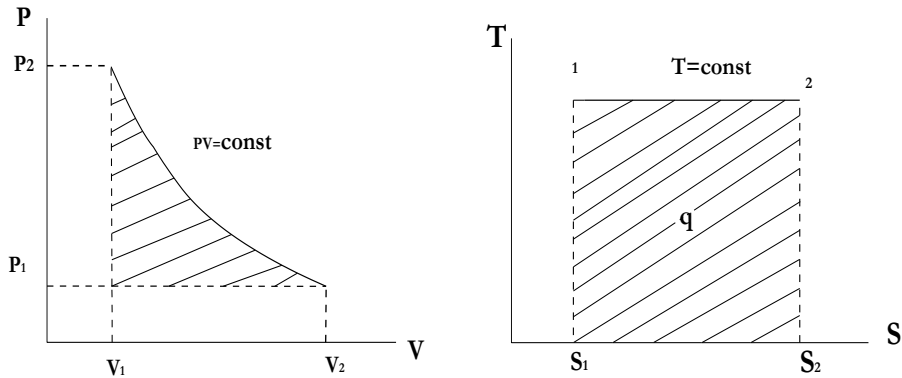
$T = \text{const}$ da sodir bo'ladigan jarayonlarga izotermik jarayon deyiladi.

$$P_1 V_1 = RT_1; \quad P_2 V_2 = RT_2.$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

yoki

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \dots P_n V_n = \text{const.}$$



3.6- rasm. Izotermik jarayonning PV va TS diagrammalari.

Sistema ichki energiyasining o'zgarishi $dU = 0$, chunki $U = \text{const.}$

Termodinamik sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori:

$$dq_T = C_v dT + PdV.$$

$T = \text{const}$ bo'lganligi uchun sistema temperaturasi o'zgarishi $dT = T_2 - T_1 = 0$

Unda $C_v dT = 0$ chunki $U = \text{const.}$

Demak $dq_t = PdV = dA$

Ixtiyoriy ikki holat oralig'ida gazning kengayishida bajarilgan ish:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} = RT(\ln V_2 - \ln V_1) \quad \text{yoki}$$

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Sistemaning P va V parametrlari izotermik jarayonda $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$ bog'liqligini nazarda tutib, tenglikni bosim orqali ifodalash mumkin:

$$A = RT \ln \frac{P_2}{P_1} \quad \text{yoki}$$

$$P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = P_2 V_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Izotermik jarayonda gazning kengayishidagi entropiyasining o'zgarishini $dq_T = PdV = dA$ tenglikni aniq holatlar oralig'ida integrallab aniqlaymiz:

$$\frac{dq_T}{T} = ds; \quad dq_T = \int_{S_1}^{S_2} T dS = \int_{S_1}^{S_2} P dV = A \quad \text{yoki}$$

$$A = T \int_{S_1}^{S_2} dS = T(S_2 - S_1)$$

Izotermik jarayonda sistemaning bajargan ishi absolyut temperatura bilan entropiya o'zgarishining ko'paytmasiga teng.

8-MAVZU. ASOSIY TERMODINAMIK JARAYONLAR TAHLILI.

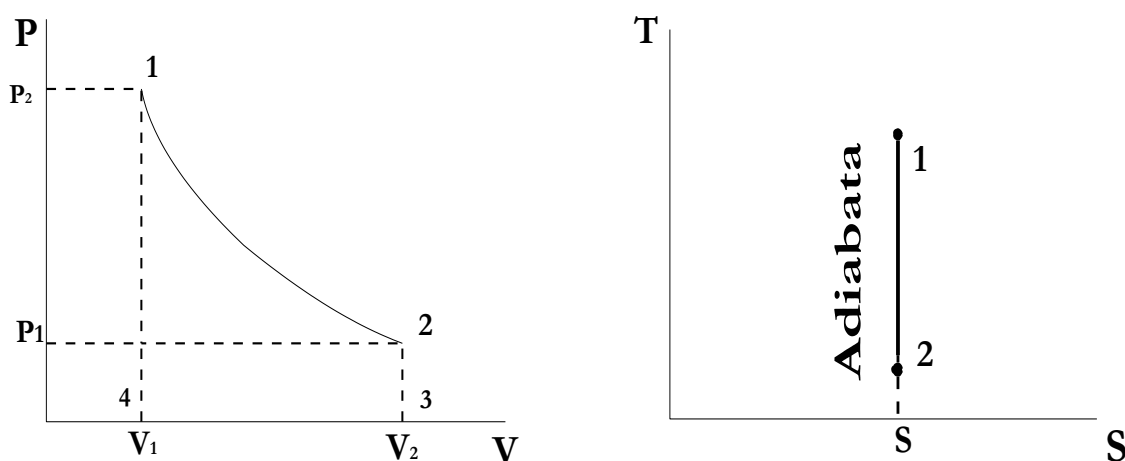
Reja:

1. Adibatik jarayon.
2. PV va TS diagrammalarda adibatalarning joylashuvi.
3. Politropik jarayon.

Adibatik jarayonda $dq=0$, ya'ni sistemaga energiya uzatilmaydi va undan chiqarilmaydi.

$dq_A = 0$ bo'lgani uchun $dS = \frac{dq}{T} = 0$, ya'ni entropiya o'zgarishi nolga teng.

$S = \text{const}$ bo'ladi.



3.7-rasm. Adibatik jarayonning PV va TS diagrammasi.

$$dq_A = C_V dT + PdV; \\ dq_A = 0 \quad \text{bo'lgani uchun} \quad C_V dT + PdV = 0 \quad (3.1)$$

dT ni aniqlash uchun $PV = RT$ ni yozib, differensiallaymiz:

$$PdV + VdP = RdT \quad (3.2)$$

$$\text{Bundan} \quad dT = \frac{PdV + VdP}{R} + PdV = 0 \quad (3.3)$$

R ni almashnirish uchun (3.3) tenglik qismlarini $\frac{C_V}{R}$ ga o'lamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$\left(1 + \frac{R}{C_V}\right) PdV + VdP = 0 \quad (3.4)$$

Mayer tenglamasi ($C_P - C_V = R$) dan R ni topib, uni (3.4) ga qo'yamiz:

$$\left(1 + \frac{C_P - C_V}{C_V}\right) PdV - VdP = 0$$

$$\left(1 + \frac{C_p}{C_v} - 1\right) PdV - VdP = 0$$

$$\frac{C_p}{C_v} PdV - VdP = 0$$

$$kPdV - VdP = 0 \quad (3.5)$$

$k = \frac{C_p}{C_v}$ - koeffisient bo'lib, C_p ni C_v dan necha marta kattaligini bildiradi. (adiabata ko'rsatkichi deyiladi).

(3.5) ning chap tomonini PV ga o'lamiz va soddalashniramiz:

$$k = \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0 \quad (3.6)$$

$k = \text{const}$ asosida integrallasak, $\ln V^k + \ln P = \text{const}$ yoki $\ln PV^k = \text{const}$ hosil bo'ladi.

Parametrlar orasidagi bog'lanishni ifodalovchi adiabatik jarayon tenglamasi $PV^k = \text{const}$ ko'rinishida yoziladi.

Adiabatik jarayonda bajarilgan ish

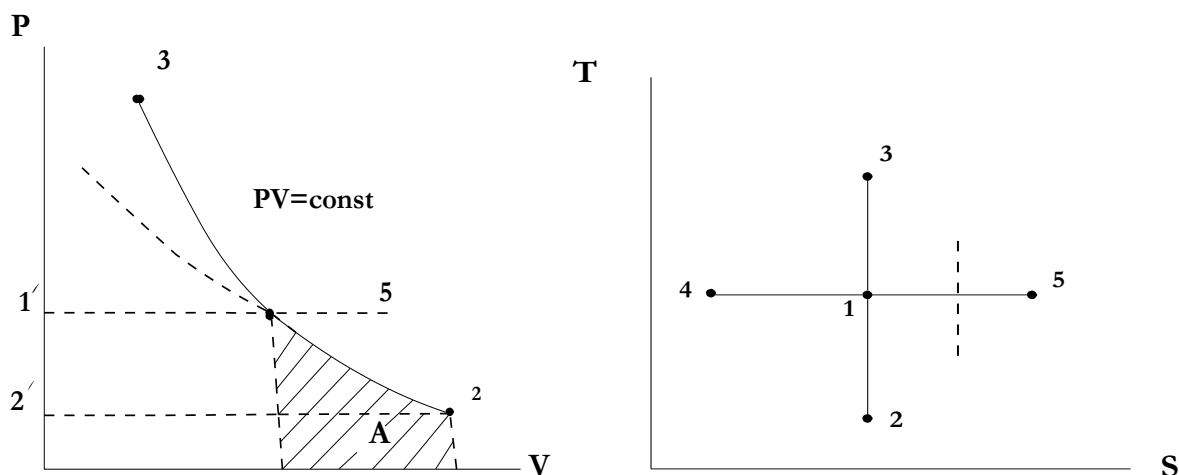
$$dU + PdV = 0; \quad dU = -PdV$$

$$PdV = -C_v dT$$

$$A = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = C_v dT \int_{T_1}^{T_2} dT = -(T_2 - T_1)$$

$$A = U_1 - U_2 = C_v(T_1 - T_2)$$

Faraz qilaylik, o'lchamlari bir xil bo'lgan ikkita silindrga bir xil konsentrsiyali gaz aralashmasi (1 kg) joylashtirilsin, ularning biri izoterma, ikkinchisi adiabata bo'yicha parametrlarini o'zgartirsin.



3.8-rasm. PV va TS diagrammalarda izoterma va adiabataning joylashuvi.

Izotermik jarayon bo'yicha gaz kengaysa, uning bosimi adiabataga nisbatan sekinroq, gaz siqilganda esa adiabatik jarayondagiga nisbatan yana ham sekinroq o'zgarar ekan.

Adiabatik jarayon grafigining tikligiga sabab, gaz siqilganda ham kengayganda ham, unga tashqaridan issiqlik miqdori berilmasa ham gaz hajmining ortishi hisobiga

uning ichki energiyasi kamayadi, temperaturasi tushadi, xuddi shunday gaz siqilganda ichki energiya ortadi, temperatura ko'tariladi.

NAZORAT SAVOLARI

1. Qanday termodinamik jarayonlarni bilasiz?
2. Izoxor jarayon tahlilini keltiring.
3. Izobar jarayon tahlilini keltiring.
4. Izotermik jarayon tahlilini keltiring.
5. Adiabatik jarayon tahlilini keltiring.
6. Politropik jarayon tahlilini keltiring.

9-MAVZU. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI

Reja

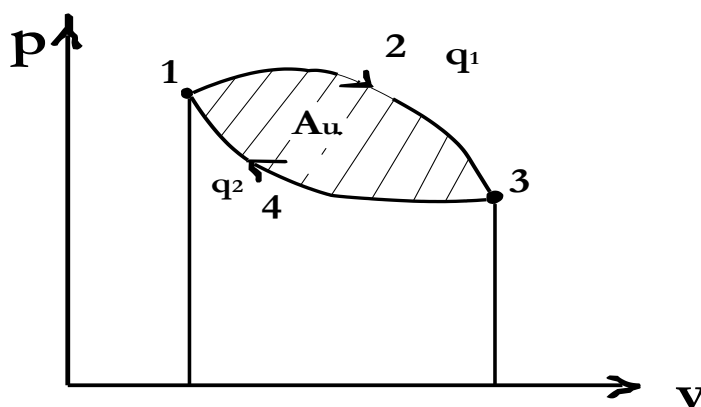
1. Aylanma jarayonlar
2. Karno sikli
3. Termodinamikaning ikkinchi qonuni
4. Ekssergiya

Aylanma jarayon

Termodinamik jarayondagi sistema ish bajarishi uchun unga davriy ravishda ma'lum miqdordagi issiqlik energiyasi yoki ish jismi uzatib turilishi va ishga tula aylanmasdan qolgan issiqlik miqdori sistemadan tashqariga (sovutgichga) uzatilishi kerak. Shunda sikl davriy ravishda takrorlanadi. Ichki yonuv dvigatelini termodinamik jarayonlar ketma-ket va davriy ravishda kechadigan issiqlik mashinasiga misol tariqasida keltirish mumkin. Bu dvigatellarga har doim yangi-yangi ish moddasi yoki issiqlik miqdori ketma-ket uzatib turiladi. Hamda issiqlikning ish bajarmagan qismi sovutgichga (atmosfera) chiqarib yuboriladi.

Birorta ham mashina bir marta kiritilgan ish jismi bilan abadiy ishlaydigan issiqlik mashinasiga misol bo'la olmaydi. Lekin shunga yaqin bo'lgan qurilmalar mavjud bo'lib, ularda ish moddasini dastlabki muvozanat holatiga kaytarish uchun kengayib ish bajarib bo'lgan ish moddasi tashqi kuch (energiya) ta'sirida qo'shimcha ish bajarib siqiladi. Shunda modda dastlabki holatiga qaytadi. Bunday sikllar aylanma jarayonlarda kuzatiladi.

Davriy takrorlanadigan aylanma jarayonning PV diagrammasini quyidagicha tasvirlash mumkin:



4.1-rasm

Ish moddasi q_1 issiqlik miqdorini olgandan so'ng 1,2,3 chizik bo'liab kengayib musbat, 3,4,1 egri chizig'i bo'yicha esa q_2 issiqlik miqdorini sistemadan sovutgichga chiqarish jaraynida manfiy ish bajaradi. Bu ishning miqdori a,1,2,3,b,a nuqtalar bilan chegaralangan yuzaga son qiymati jihatidan teng. Manfiy ishning a,1,4,3,b,a nuqtalar hosil qilgan yuzaga son qiymati jihatidan teng. Demak, foydali ishning qiymati 1,2,3,4,1 nuqtalar hosil qilgan katakli maydoncha yuzasiga teng bo'ladi, ya'ni

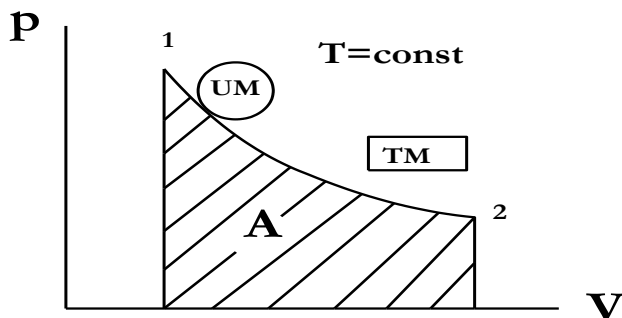
$$q_1 = \Delta U + A_1 \quad -q_2 = -\Delta U - A_2$$

yoki bu tenglamalarni hadma-had qo'shib chiqsak

$$q_1 - q_2 = A_1 - A_2 = A_s$$

As- siklning bajargan ishi

Jarayon qaytar va qaytmas bo'lishi mumkin. Termodinamik jarayondagi asosiy kuch konservativ (elastik, kulon, gravitasiya) bo'lganda jarayon qaytar bo'ladi. Termodinamik jarayonning oxirgi holatiga teskari yo'nalishda ketma-ket holatlar orqali o'tish mumkin bo'lgan jarayon kaytar jarayon deyiladi. Bunday jarayonning PV diagrammasida gaz hajmining kengayish grafigi siqilish grafigi bilan ustma – ust tushadi.



4.2-rasm. UM - issiqlik manbai, TM - tashki muhit

Jarayonlar faqat yo'nalishi bilan farq qiladi.

Termodinamik sistema o'zining oxirgi holatidan qaytar jarayonga teskari yo'nalishda, ketma-ket holatlardan o'tib, hech bo'lmaganda bitta holatdan o'tmasdan, boshlang'ich holatiga qayta olmasa, bunday jarayon qaytmas jarayon deyiladi.

Masalan, suv bug'i kengayib ish bajarib bo'lgandan so'ng o'z-o'zidan siqilib, yana o'zining boshlang'ich holatiga kela olmaydi.

Karno sikli

Karno sikli 2 ta izoterma va 2 ta adiabatadan tashkil topgan.

Sistemaga undagi T_1 temperatura issiqlik manбайдan q_1 issiqlik miqdori uzluksiz keltirib turilishi hisobiga o'zgarmas saqlanadi. Sistemada kechadigan jarayon o'zgarmas ($T=\text{const}$) temperaturada sodir bo'ladi. Qoldiq (ish bajarmagan) issiqlik miqdori q_2 sistemadan uzluksiz ravishda tashki muhit-sovitgichga chiqariladi. q_2 issiqlik miqdori ham $T_2=\text{const}$ temperaturada uzatiladi. Shuning uchun q_1 ning ishorasi musbat, q_2 niki manfiy deb qabul qilingan.

Sistema holati keskin o'zgarganda (gaz kengayganida yoki siqilganida) tashki muhitdan mutlaqo izolyasiyalangan, ya'ni $dq=0$ bo'lishi shart. Shu shart bajarilsa, sistemada kechadigan jarayon adiabatik jarayon bo'ladi.

Diagrammadan ma'lumki, 1,2 nuqtalar oralig'ida sistemaga keltirilgan issiqlik miqdori

$$q_1 = \int_1^2 \Delta q = \int_1^2 \Delta U + \int_1^2 P dV = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (4.1)$$

bo'lsada, sistema sifatida ideal gaz olinganida,uning izotermik jarayonda ichki energiyasining o'zgarishi $dU=U_1-U_2=0$ bo'ladi.Shuning uchun gazning bajargan ishi

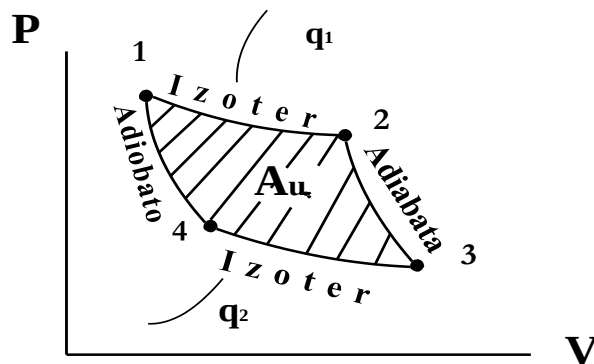
$$A_1 = \int_1^2 P dV = RT_1 \int_1^2 \frac{dV}{V} = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (4.2)$$

sistemaga kiritilgan q_1 issiqlik miqdoriga teng bo'ladi.

Sikl diagrammasining 3,4 nuqtalari oralig'ida sistemadan q_2 issiqlik miqdori tashqi muhitga o'zgarimas T_2 temperaturada chiqariladi.Bu holatda sistemaning q_2 issiqligi ish bajarishga sarflanadi:

$$q_2 = \int_3^4 \Delta q = RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} \quad (4.3)$$

Bajarilgan ish ishoralarini aniqlash maqsadida siklning 4,1 va 2,3 nuqtalari oralig'ida kechadigan adiabatik $\Delta q=0$ jarayonlarni ham qarab chiqamiz.



4.3- rasm. q_2 tashqi muhitga chiqarilgan issiqlik miqdori.
 q_1 - sistemaga kiritilgan issiqlik. miqdori

Adiabatik jarayonda sistema tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydi.Bu holat uchun termodinamikaning birinchi qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$C_v dT + P dV = 0 \quad (4.4)$$

Ish moddasi sifatida ideal gaz olinib,shu gaz adiabatik siqilsa (4,1nuqtalar), uning ichki energiyasi ortadi. Demak,gaz ta'sirida ish bajarilsa,uning ichki energiyasi va absalyut temperaturasi ortar ekan.

Ideal gaz holat tenglamasidan T ni topamiz:

$$T = \frac{PV}{R} = \frac{PV}{C_p - C_v} \quad (4.5)$$

Solishtirish uchun (4.4) tenglikni hadma-had $C_v dT$ ga bulamiz:

$$\frac{dT}{T} + \frac{P}{C_v T} dV = 0 \quad (4.6)$$

Bosim qiymatini (4.5) dan topib (4.6) ga qo'yib,ihchamlaymiz va $\frac{C_p}{C_v} = k$ deb belgilab quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{dT}{T} + (k-1)\frac{dV}{V} = 0 \quad (4.7)$$

(4.7) tenglamani integrallab va potentsirlab adiabatik jarayon tenglamasini hosil qilamiz:

$$TV^{k-1} = \text{const} \quad (4.8)$$

Bu tenglamani sikl uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\text{a) } T_1 V_2^{k-1} = T_2 V_3^{k-1} \quad \text{b) } T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_4^{k-1} \quad (4.9)$$

(4.9) tenglamani hadma-had o'zaro bo'lib, quyidagi tenglikni olamiz:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (4.10)$$

yoki

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (4.11)$$

Siklning foydali ish koeffisienti (FIK) ni yuqoridagi tenglamalardan foydalanib quyidagicha yozish mumkin:

Ifodaga termik FIK formulasi deiladi.

(4.12) formulani (4.1), (4.3), (4.11) tenglamalar asosida sistemaning absalyut temperaturasi orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (4.13)$$

Bu tenglama faqat qaytar sikllar uchun orinlidir.

Demak, Karno siklining termodinamik FIK ishlatilayotgan issiqlikning hossasiga bog'liq bulmasdan fakat issiqlik manbalari absalyut temperaturalarining kui iva yukori kiimatlariga bog'liq bular ekan.

Termodinamika ikkinchi konunining talkini

Termodinamikaning ikkinchi konuni issiqlik dvigatellari FIK ning $\eta > 1$ bo'la olmasligi to'g'risida bo'lib, davriy, yagona issiqlik manбайдan ishlaydigan abadiy (ikkinchi tartibli) dvigatelni yaratib bo'lmasligini isbotlaydi. Bu qonun asosini Sadi Karno bayon etgan.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Termodinamikaning I-qonuni issiqlikni ishga va ishni issiqlikka aylanishini ta'kidlaydi, lekin bu aylanishlarni qaysi sharoitlarda amalga oshishini ko'rsatmaydi.

Termodinamikaning I-qonuni issiq jismdan sovuq jismga issiqlikni o'tishini va aksincha bo'lishi to'g'risidagi savolga javob bera olmaydi. Issiqlik issiq jismdan sovuq jismga o'tadi. Ish bajarish hisobiga issiqlik miqdorini yo'nalishini o'zgartirish mumkin.

Tabiatda ish issiqlikka ishqalanish, zarb va boshqalar hisobiga aylanadi.

Issiqlik mashinalarida issiqlik ishga issiqlik manbai va sovutkichlarda haroratlar farqi mavjudligida aylanadi. Bunda issiqlikning hammasi ishga aylanmaydi.

Termodinamikaning II qonuni issiqlik oqimining yo'nalishini va shart-sharoitlarni ko'rsatadi.

Termodinamikaning II qonunining matematik ifodasi:

$$ds \geq \frac{dQ}{T} \quad (4.14)$$

bu yerda S - entropiya;

dQ - issiqlik manbaidan olingan issiqlik miqdori;

T - issiqlik manbaining mutloq harorati.

Tenglik belgisi qaytar jarayonlar uchun; tengsizlik belgisi qaytmas jarayonlar uchun ishlatiladi.

Termodinamikaning II qonuni ko'p ta'riflarga ega. Ulardan asosiylari quyidagilar:

Sadi Karno ta'rifi: Issiqlikni mexanik ishga aylantirish uchun haroratlar farqi bo'lishi kerak (ya'ni issiqlik manbai va sovutkich).

Klauzius ta'rifi: Issiqlik o'z-o'zicha kompensasiyasiz sovuq jismdan issiq jisimga o'ta olmaydi.

Tomson ta'rifi: issiqlik mashinalariga berilgan issiqlikning hammasini ishga aylantirib bo'lmaydi. Bu issiqlikning bir qismi sovutgichga uzatiladi. Agar issiqlik butunlay ishga aylantirilsa, II turdagi abadiy dvigatellar yaratilgan bo'lar edi, lekin bunday dvigatellarni yaratib bo'lmaydi.

Eksergiya va termodinamik jarayonlarni eksergetik tahlili

Jismning boshlang'ich holati R_1, T_1 dan oxirgi holati o'rab turuvchi muhit bilan muvozanatlashgan holati ko'rsatgichlari R_0 va T_0 gacha bo'lgan qaytar jarayonda maksimal ish olish mumkin. Ishchi jism bajarayotgan maksimal ishlash qobiliyati eksergiya deyiladi va e harfi bilan belgilanadi. Bunda sovutgich sifatida T_0 haroratli tashqi muhit qabul qilinadi va jarayon oxirida ishchi jism o'rab turuvchi muhit bilan termodinamik muvozanatga keladi.

Yopiq tizimlar uchun jismlar energiyasini o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Ishchi jism P, V, T va C ko'rsatgichlar bilan qaytar jarayonni amalga oshirib, o'rab turuvchi muhit bilan termodinamikaning I qonuniga asosan jarayonda ishchi jism ichki energiyasining o'zgarishi unga tashqi issiqlik ta'siri (kiritilishi va chiqarilishi) bilan yoki ish bajarish hisobiga amalga oshirilishi mumkin. Ishchi jisimga issiqlik kiritish (yoki chiqarish) jarayonni muvozanatlash shartini bajarilishi o'rab turuvchi muhitning o'zgarmas harorati T_0 amalga oshiriladi, ya'ni berilgan holat uchun $\delta q = T_0 ds$. Yopiq tizimda jism eksergiyasi ds bajarilgan ishdan o'rab turuvchi muhit bosimini engish uchun sarf bo'lgan ish ($P_0 dV$) ni ayirmasiga teng bo'ladi.

Shunday qilib:

$$de = \delta q - du - P_0 dV = T_0 ds - dU - P_0 dV.$$

Integrallab colishtirma eksergiyani hosil qilamiz:

$$e = T_0 (s_0 - s) - (u_0 - u) - P_0 (V_0 - V) = (u - u_0) - T_0 (s - s_0) + P_0 (V - V_0)$$

yoki

$$e = (h - h_0) - T_0 (s - s_0)$$

bunda h va S_0 —ishchi jismni o'rab turgan muhit bilan muvozanatlashadigan entalpiyasi va entropiyasi.

T_1 haroratli issiqlik manbasidagi o'rab turuvchi muhit harorati T_0 ga teng haroratli issiqlik qabul qiluvchi (sovitgich) dan va ishchi jismdan tashkil topgan izolyasiyalangna tizimda issiqlik manbasidan ishchi jismga q_1 miqdorda issiqlik berilgan bo'lsin. Bu holda olinishi mumkin bo'lgan maksimal Karnoning $T_1 - T_0$ oralig'ida amalga oshadigan qaytar sikli ishga teng bo'ladi:

$$\ell_{\max} = \eta_{t.k} q_1$$

Karno sikli uchun f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

ekanligidan issiqlik oqimi uchun eksergiya ifodasini olamiz.

$$e_q = q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad (4.15)$$

Eksergiya tushunchasi issiqlik apparatlari jarayonlarini mukammallik darajasini tahlil qilish uchun foydalanildi. Issiqlik apparatiga P_1 , T_1 parametri ishchi jism oqimi kiritilganda issiqlik manbasidan q_1 issiqlik olinadi, P_2 , T_2 parametrlar bilan apparatdan chiqariladi, shunda apparatda ℓ_f foydali ish bajariladi. Eksergiya yo'qolishi Δe quyidagi teng:

$$\Delta e = [(e_1 + e_{q_{ii}} - e_2)] - \ell_f \quad (4.16)$$

bunda e_1 va $e_{q_{ii}}$ -jismning va issiqlik oqimining apparatga kirishdagi eksergiyasi

e_2 – apparatdan chiqishdagi eksergiya

ℓ_f – ishchi jism bajargan foydali ish

Eksergiya f.i.k.

$$\eta_e = 1 - \frac{\Delta e}{e_1} \quad (4.17)$$

bunda Δe —kirishdagi va chiqishdagi eksergiyalar farqi;

e_1 – kirishdagi eksergiya.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Aylanma jarayonlar deb nimaga aytiladi?
2. Karno sikli va uning FIK?
3. Termodinamikaning II qonunini nimani izohlab beradi?
4. Termodinamikaning II qonunining analitik ifodasini keltiring.
5. Eksergiya haqida tushuncha bering.
6. To'g'ri va teskari sikl nima?

10-MAVZU. SUV BUG'I.

Reja

1. Bug'lanish va bug'ning termodinamik parametrlari
2. Suv bug'ining P-V diagrammasi
3. Suyuqlik va quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi
4. Nam to'yingan va o'ta qizigan suv bug'ining asosiy parametrlari
5. Suv bug'ining T-S diagrammasi
6. Suv bug'ining h-s diagrammasi
7. Suv bug'i bilan bo'ladigan jarayonlar

Bug'lanish va bug'ning termodinamik parametrlari

Ma'lumki, barcha moddalar harorat va bosimga bog'liq holda qattiq, suyuq va gaz holatida (fazalarda) bo'lishi mumkin. Moddaning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishi **faza o'zgarishi** yoki **fazaviy o'tish** deb ataladi. Masalan, suyuq fazaning gaz fazaga o'tishi - bug' hosil bo'lish; gaz fazaning suyuq fazaga o'tishi esa **kondensasiya** deyiladi.

Bug'lanish: Moddaning suyuq holatdan bug' holatiga o'tishi **bug'lanish** deyiladi. Bunda molekullarning bir qismi suyuqlik yuzasidan ajralib chiqadi va uning ustida bug' hosil qiladi. Bug'lanishda ajralib chiqayotgan molekullar, yuzada qolgan molekullarning tortishish kuchini engadi, ya'ni ular shu kuchlarga qarshi ish bajaradi. Molekullar bu ishni o'zining issiqlik harakati, kinetik energiyasi hisobiga bajaradi. Ma'lumki, hamma molekullar ham bunday ish bajaravermaydi. Kinetik energiyasi ancha katta bo'lgan molekullargina bunday ish bajara oladi.

Agar suyuqlikning harorati o'zgarmas saqlab turilsa, ya'ni unga to'xtovsiz issiqlik keltirib turilsa, u holda uchib chiqayotgan molekullarning soni to'xtovsiz ortib boradi. Lekin, bug' molekullari tartibsiz harakatda bo'lgani uchun, ular suyuqlikdan bug'ga o'tishi bilan bir vaqtda, teskari jarayon - **kondensasiya** ham hosil bo'ladi. Agar, bug'lanish yopiq idishda ketayotgan bo'lsa, u holda, bug' miqdori muvozanat qaror topguncha, ya'ni suyuqlik va bug' miqdorlari o'zgarmas bo'lguncha ortaveradi. Bu vaqt birligi ichida suyuqlikdan chiqib ketgan molekullar soni, shu vaqt ichida suyuqlikka qaytayotgan molekullar soniga teng, degan so'zdir.

Suyuqligi bilan dinamik muvozanatda turgan bug' - **to'yingan bug'** deyiladi. Muvozanat vaqtida bug'ning zichligi o'zgarmas bo'ladi, bu zichlik muayyan bosimga to'g'ri keladi. Bu bosim **to'yingan bug'ning elastikligi** deyiladi.

To'yingan bug'ning bosimi harorat ko'tarilishi bilan ortadi. Harorat qancha yuqori bo'lsa, suyuqlikning shuncha ko'p molekullari gaz fazaga o'tadi va bug'ning muvozanat topgandagi zichligi, binobarin, bosimi shunchalik katta bo'ladi. Suyuqlikka tegib turgan va uning ustidagi bo'shliqni to'yintiradigan bug' - **to'yingan nam bug'** deyiladi.

To'yingan nam bug'-bug' bilan juda mayda suv tomchilarining aralashmasidir. Bug'dagi suyuqlik zarralarining miqdori bug'ning quruq yoki namlik darajasini belgilaydi.

Agar suyuqlik o'zgaras bosimda isitilsa, uning molekularining barcha hajm bo'yicha harakat tezligi ortadi va bug' hosil bo'lishi kuchayadi. Bug' hosil bo'ladigan bosimga qat'iy muvofiq keladigan muayyan haroratda bug'lanish jarayoni qaynash jarayoniga aylanadi.

Qaynash: Suyuqlikning faqat erkin sirtidan emas, balki butun hajmi bo'yicha intensiv ravishda bug'ga aylanishi va bug' pufakchalarining tez hosil bo'lishi va ko'payib borishi - **qaynash** deb ataladi.

Qaynash sodir bo'ladigan harorat va bosim bir-biriga bog'liqdir. Ular **to'yinish harorati** t_m va **to'yinish bosimi** p_m deb ataladi.

Harorat va bosimi to'yinish bosimi va haroratiga teng, lekin tarkibida suv zarralari bo'lmagan bug' - **quruq to'yingan bug'**, deb ataladi.

To'yingan bug'ning bug' saqlami: bug' hosil bo'lish jarayonida nam bug' mikdori kabi, quruq bug'ning mikdori ham 0 dan 1 gacha o'zgarishi mumkin.

Agar 1 kg bug'da X kg quruq bug' va $(1-X)$ kg nam bo'lsa, X - kattalik bug' saqlami yoki bug'ning **quruqlik darajasi** deyiladi, ya'ni bu kattalik nam bug' tarkibida quruq bug' miqdoridir.

$(1-X)$ - kattalik esa **nam saqlami** yoki bug'ning **namlik darajasi** deyiladi.

Masalan, $X=0,85$ bo'lsa, $(1-X)=(1-0,85)=0,15$ bo'ladi, ya'ni to'yingan nam bug'da 85 % quruq bug', 15 % suv bo'ladi.

O'ta qizigan bug': Agar to'yingan quruq bug'ga o'zgaras bosimda issiqlik berilsa, uning harorati ko'tariladi, hajmi ortadi va to'yingan quruq bug', o'ta qizigan bug'ga aylanadi. Bug'ning o'ta qizish darajasi, Δt haroratlar ayirmasidan aniqlanadi:

$$\Delta t = t - t_m \quad (5.1)$$

t - o'ta qizigan bug'ning harorati;

t_m - to'yingan quruq bug'ning harorati.

Suv bug'ining P - V diagrammasi

Bug' hosil bo'lish jarayonini $p-v$ diagrammada tasvirlanishini ko'rib chiqishda quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

a) suyuqlikning 0^0S dagi barcha parametrlari «nol» indeksi bilan (t_0, v_0, i_0, S_0).

b) to'yinish haroratidagi parametrlarni bitta shtrix bilan (t', v', i', S').

v) to'yingan quruq bug' parametrlarini ikkita shtrix bilan (v'', i'', S'').

g) to'yingan nam bug' parametrlarini x indeks bilan (v_x, i_x, S_x).

d) O'ta qizigan bug' parametrlarini indekssiz (v, i, S) belgilaymiz.

Silindrda porshen ostida 1 kg suv bor va uni bug'ga aylantirish kerak, deb faraz qilaylik. Silindrning porsheniga tashqi tomondan yuk - r kuch quyilgan va bu kuch silindr ichida bosimni o'zgaras bo'lishini ta'minlaydi, deb faraz qilaylik.

Diagrammada abssissa o'qiga suvning va hosil bo'lgan bug'ning nisbiy hajmi, ordinatalar o'qiga esa silindrda bosim qo'yilgan. Shuni aytib o'tish kerakki, diagrammadagi egri chiziqlar, suv va bug' hajmlarining haqiqiy nisbatiga mos kelmaydi. Bunga sabab shuki, past bosimlarda suvning hajmi shu bosimda to'yingan bug'ning hajmiga nisbatan hisobga olmas darajada kichik bo'ladi. SHunday qilib, agar diagramma qurishda qat'iy proporsiyalarga rioya qilsak va suvning hajmini abssissalar o'qida millimetrlarda ifodalangan kesma bilan belgilasak, u holda

Shu sababli bug' hosil bo'lishini P-V diagrammada suvning qaynashiga mos keladigan haroratdan boshlaymiz:

Silindrga yana issiqlik keltirilganda suv asta-sekin bug'ga aylanadi. Bug' hosil bo'lish jarayoni o'zgarmas bosimda 1^1-1^{11} izobara bo'yicha boradi. Bu izobara bir vaqtning o'zida izoterma hamdir, chunki shu vaqtda keltirilgan issiqlik suv va bug' haroratini oshirishga emas, balki molekulalar tortishish kuchini engishga va bug'ning kengayish ishiga sarf bo'ladi.

1¹¹ nuqtada suyuqlikning oxirgi zarrasi ham bug'ga aylanadi. Bu nuqtada berilgan 1 kg suv to'lik 1 kg to'yingan quruq bug'ga aylanadi. Silindrda yana bir fazali muxit paydo bo'ladi - bu to'yinish harorati va bosimidan, parametrlari v^{11} , p^{11} , t^1 bo'lgan **to'yingan quruq bug'dir**.

Agar silindrga o'zgarmas bosimda issiqlik keltirilishi davom ettirilsa, u holda to'yingan quruq bug' o'ta qizigan bug'ga aylanishi 1^{11} - 1 izobara bo'yicha davom etadi, bu izobara endi izoterma bo'la olmaydi, chunki keltirilgan issiqlik bug'ning qizishiga va haroratini oshishiga sarf bo'ladi.

41

Endi 1 kg suvni $r_2 > r_1$ bosimda bug'ga aylanish jarayonini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, bosim ortishi bilan qaynash harorati ham ko'tariladi. Suv qaynash harorati $t_2 > t_1$ gacha isib, hajmi $v_2 > v_1$ gacha ko'payadi. Shuning uchun suvning qaynay boshlashini ko'rsatuvchi nuqta 2^1 , 1^1 nuqtadan o'ngga siljiydi. Bosim ortishi bilan to'yingan quruq bug'ning zichligi ortadi $\left(v = \frac{1}{\rho}\right)$, demak solishtirma hajmi

kamayadi. Shuning uchun 2^{11} nuqta 1^{11} nuqtadan chapga siljiydi. Bosimni oshira borsak, to'yingan quruq bug'ning solishtirma hajmi kichiklashib boradi, muayyan haroratda va unga mos keladigan bosimda suv bilan bug' hajmlarining ayirmasi nolga teng bo'lib qoladi. Suvning qaynay boshlash nuqtasi bilan bug' hosil bo'lishining tugash nuqtasi, biror K nuqtada ustma-ust tushadi. Bu K nuqta - moddaning kritik nuqtasi, deb ataladi. Kritik nuqtada suyuqlik bilan uning to'yingan bug'i orasidagi farq yuqoladi. Suyuqlik bilan bug'ning solishtirma hajmi, zichliklari bir xil bo'lib qoladi. Kritik haroratda va undan yuqori haroratlarda suv gazga o'xshab qoladi, bosim ko'tarilganda, uning hajmi kamayadi. Bu holatni, gazzimon holat deyish mumkin.

Shunday qilib, kritik holatdagi modda bir fazali bo'lib, bir vaqtning o'zida ham gaz holatidagi, ham suyuq jismlarning xossalriga ega bo'ladi.

5.1-rasmda I - suyuqlik holati; II-to'yingan bug' holati; III-o'ta qizigan bug' holati.

Suyuqlik va quruq bug'ning asosiy parametrlari. Bug' hosil bo'lish issiqligi

Suvning 0°S haroratda va turli bosimlardagi solishtirma hajmini taqriban $v_0 \approx 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ga teng, deb hisoblash mumkin $\left(v_0 = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ m}^3 / \text{kg}\right)$.

Qaynayotgan suvning solishtirma hajmi v^1 , bosimning ortishi bilan, ya'ni harorat ham ortadi va yuqori bosimlarda 0°S dagi solishtirma hajmidan sezilarli farq qiladi. Masalan, $p = 50 \text{ bar}$ bosimda $v^1 = 0,0012859 \text{ m}^3/\text{kg}$, $p = 220 \text{ bar}$ bo'lsa, $v^1 = 0,00269 \text{ m}^3/\text{kg}$ bo'ladi. Suvning haroratini 0°S dan ma'lum bosimdagi qaynash haroratigacha oshirish uchun sarflanadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$q = h^1 - h_0^1 \quad (5.2)$$

bunda: h^1 - qaynayotgan suvning entalpiyasi;

h_0^1 - suvning 0°S dagi entalpiyasi.

Kritik nuqta k dagi holat parametrlarining qiymatlari quyidagicha:

$P_{kr} = 221 \text{ bar}$; $v_{kr} = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$; $t_{kr} = 374^\circ\text{S}$

Termodinamikada suvning uchlamchi nuqtasidagi entalpiyasi va entropiyasi nolga teng deb qabul qilingan:

$$S_0^1 = 0; h_0^1 = 0. \quad (5.3)$$

Suvning uchlamchi nuqtasidagi parametrlari quyidagiga teng:

$p_A = 0,00611 \text{ bar}$; $v_A = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$; $t_A = 0,01^\circ\text{S}$.

Suvning uchlamchi nuqtadagi ichki energiyasi:

$$U_0^1 = h_0^1 - p_0; V_0^1 = 0 - 0,00611 \cdot 10^5 \cdot 0,001 = -0,611 \text{ J/kg.} \quad (5.4)$$

Bu kattalik juda kichik miqdor bo'lib, 0^0S da suvning ichki energiyasini taqriban $u_0^1 \approx 0$ deb hisoblash mumkin. Qaynayotgan cuyuqlikning entalpiyasi bosimi va haroratiga asosan. to'yingan suv bug'ining jadvalidan aniqlanadi.

Qaynayotgan suvning ichki energiyasi entalpiya ifodasi orqali aniqlanadi:

$$h = u + pv$$

yoki

$$u' = h' - pv' \quad (5.5)$$

Qaynash haroratigacha qizdirilgan suvga yana issiqlik berilishi davom ettirilsa, bug'lanish sodir bo'la boshlaydi. Bug'lanish davomida harorat oxirgi suv tomchisi bug'ga aylanmagunga qadar o'zgarmaydi. Bug'lanish jarayoni ham izotermik, ham izobarik jarayondir.

Tarkibida suv zarrachalari bo'lmagan, bosimi va harorati to'yinish bosimi va haroratiga teng bo'lgan bug'-**quruq to'yingan bug'** deb ataladi.

1 kg suvni to'yinish (qaynash) haroratida to'lik quruq to'yingan bug'ga aylantirish uchun sarflanadigan issiqlik-**bug' hosil bo'lish issiqligi** deb ataladi. Bug' hosil bo'lish issiqligi r xarfi bilan belgilanadi. Bug' hosil bo'lish issiqligi bosim va harorat orqali aniqlanadi.

U ρ - ichki, ψ - tashki bug' hosil bo'lish issiqligiga bo'linadi

Quruq to'yingan bug'ning entalpiyasi:

$$I' = h' + r \quad (5.6)$$

Quruq to'yingan bug'ning ichki energiyasi:

$$U'' = h'' - pv'' \quad (5.7)$$

To'yingan bug'ning holati bitta parametr: bosim yoki harorat bilan aniqlanadi. I' , h' , r , v'' , v' ning kiymatlari suv bug'ining jadvallaridan topiladi.

Nam to'yingan va o'ta qizigan suv bug'ning asosiy parametrlari

Bug' qozonlarida bug'lanish sirtida faqat nam bug' hosil bo'ladi. Nam bug' bosim r yoki to'yinish harorati t_T va quruqlik darajasi X bilan aniklanadi. Nam bug'ning solishtirma hajmi:

$$v_x = v' \cdot x + (1 - x) \cdot v' \quad (5.8)$$

yoki

$$v_x \approx v'' \cdot x \quad (5.9)$$

O'ta qizigan bug' maxsus qurilmalarda nam bug'ga issiqlik berish orqali hosil qilinadi. 1 kg quruq bug'ni o'ta qizigan bug'ga aylantirish uchun sarflanadigan issiqlik **o'ta qizish issiqligi** deyiladi. Bu issiqlik quyidagiga teng:

$$q_n = \int_{t_H}^t c_p dt \quad (5.10)$$

bunda s_r - o'zgarmas bosimda o'ta qizigan bug'ning haqiqiy issiqlik sig'imi.

O'ta qizigan bug'ning ichki energiyasi:

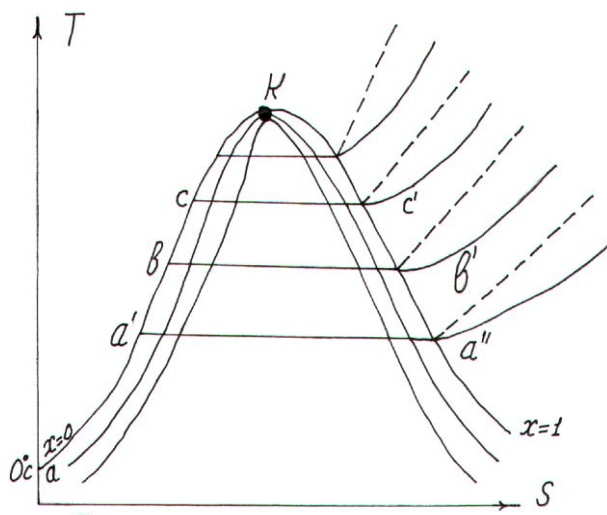
$$u = h - pv \quad (5.11)$$

bunda v - o'ta qizigan bug'ning solishtirma hajmi, m^3/kg .

Entalpiya, entropiya va solishtirma hajm qiymatlari suv bug'ining jadvallaridan aniqlanadi.

Suv bug'ining T - s diagrammasi

Bu diagramma suv bug'i bilan bo'lgan jarayonlarni o'rganishda va ularni hisoblashda katta ahamiyatga egadir. Diagrammaning ahamiyatli tomoni shundaki, chizilgan egri chiziq tagidagi yuza ishchi jismga berilayotgan va undan olib ketilayotgan issiqlikni ifodalaydi.



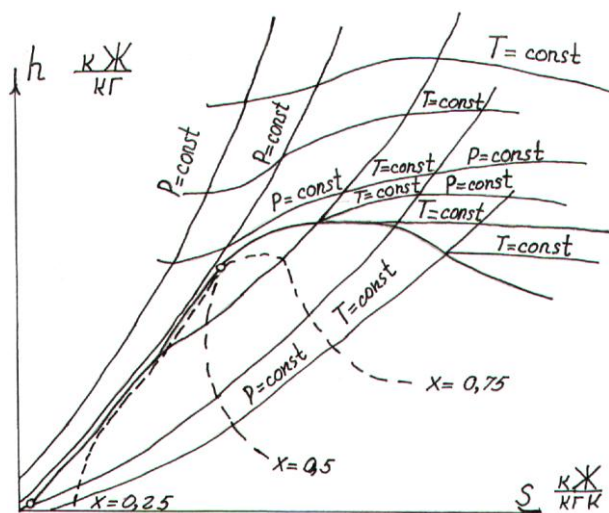
5.2-rasm. Suv bug'ining $T - S$ diagrammasi

Diagrammadagi har bir nuqta jismning aniq holatini xarakterlaydi. Suyuqlikning 0^0S dagi entropiyasi nolga teng bo'lgani uchun T - s koordinatada ordinata o'qida joylashadi. Suvni 0^0S dan to'yinish harorati (t_T) gacha isitilishi aa' jarayoni bilan davom etadi. Bug' hosil bo'lishi jarayoni ($t_T = \text{const}$) gorizontaal $a'a''$ chizig'i bilan ifodalanadi. Bug'ning qizitilishi esa $a''d$ izobara chizig'i bilan ifodalanadi. Lekin bug'ni qizitilish izobarasi suvni isitilish izobarasidan tikroq bo'ladi, buning sababi qizitilish harorati isitilish haroratiga qaraganda yuqoriroqdir. SHunday chiziqlarni o'tkazishni davom ettirsak, chiziqlar K nuqtada birlashadi.

Suv bug'ining $h - S$ diagrammalari

Suv bug'i uchun eng zamonaviy jadval va diagrammalarni professor M.P.Vukalovich ishlab chiqqan. Bu diagrammalar yordamida suv bug'ining to'yinish harorati, bosimi, solishtirma hajmi, entalpiyasi, entropiyasi, quruqlik darajasi kabi parametrlari aniqlanadi. Suv bug'i uchun h - s diagrammani birinchi bo'lib 1904 yilda Mole taklif qilgan. Hozirgi vaqtda issiqlik-texnik hisoblarda M.P.Vukalovich tomonidan tuzilgan h - s diagrammasidan foydalaniladi. h - s diagrammasini qurishda ordinata o'qi bo'ylab entalpiya, abssissa bo'ylab esa, entropiya qiymatlari joylashtirilgan. Koordinata boshi qilib suvning uchlamchi nuqtasi qabul qilingan. Issiqlik jarayonlarini hisoblashda suv bug'ining T - s va h - s diagrammalarini qo'llash issiqlik-texnik hisoblarni ancha soddalash-tiradi. Ko'p hollarda suv bug'ini topish

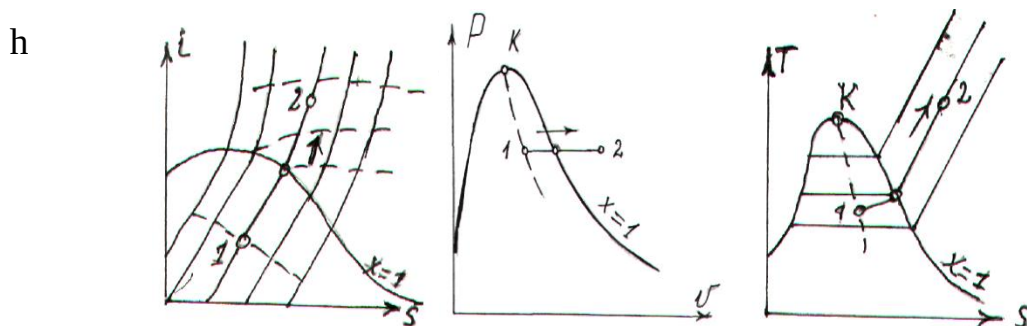
uchun jadvallardan foydalaniladi. Bu jadvallar harorat, bosim bo'yicha suv bug'ining hamma parametrlarini aniqlashga yordam beradi.



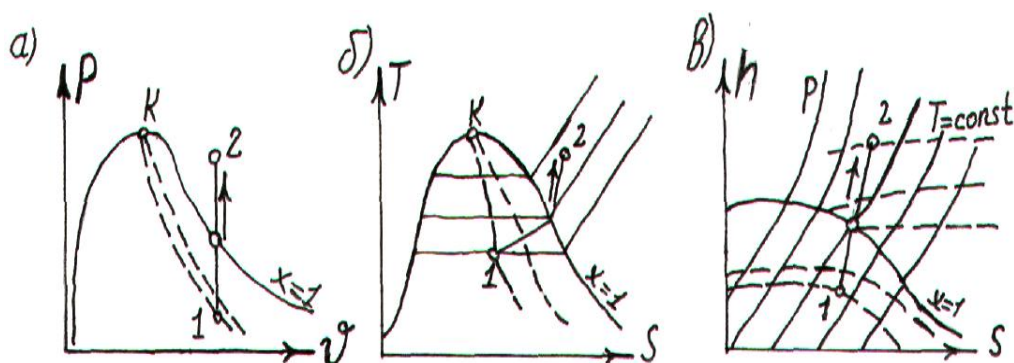
5.3-rasm. Suv bug'ining h-s diagrammasi

Suv bug'i bilan bo'ladigan jarayonlar

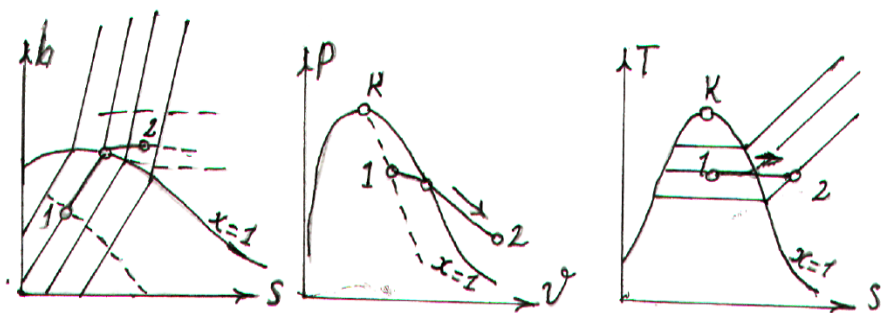
Suv bug'ining to'yingan va o'ta qizigan holatidagi masalalarni Yechishda h-S diagrammadan yoki jadvallardan foydalanish mumkin bo'ladi. Chunki ular eng qulay va aniq qiymat beruvchi uslub hisoblanadi. Suv bug'ini parametrlarini aniqlashda yanada qulay uslub - grafik usuli yordamida suv bug'ini parametrlarini aniqlashdir. Suv bug'i bilan bo'ladigan har bir jarayonni P-V, T-S, h-S diagrammalarda chizilishini ko'rib chiqamiz.



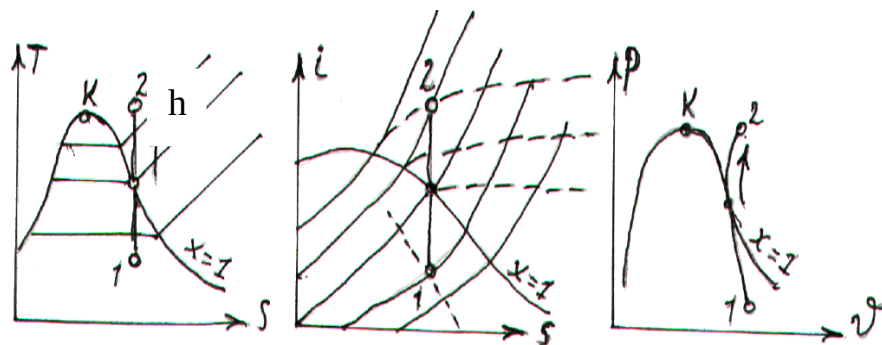
5.4-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izobar jarayon



5.5-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izoxor jarayon



5.6-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan izotermik jarayon



5.7-rasm. Suv bug'i bilan bo'ladigan adiabatik jarayon

NAZORAT SAVOLLARI

1. Suv bug'ining asosiy xossalari nimadan iborat?
2. Suv bug'i necha turga bo'linadi?
3. Nam to'yingan bug' deb nimaga aytiladi?
4. Quruq to'yingan bug' qanday parametrlarga ega bo'ladi?
5. O'ta qizigan bug' qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?
6. Suv bug'ining P-V diagrammasini chizib ko'rsating.
7. Suv bug'ining T-s diagrammasida suyuqlik holatida parametrlarini o'zgarishini tushuntirib bering.
8. Suv bug'ining h-s diagrammasi qanday qulaylikka ega?

Asosiy adabiyotlar

1. S.Kleein., G.Nellis. Thermodynamics, Gambridge,2012
2. Alimova M.M., Mavjudova Sh.S., Isaxodjayev X.S., Raximjonov R.T., Umarjonova F.Sh. “Issiqlik texnikasining nazariy asoslari” fanidan tajriba ishlari to’plami. Uslubiy qo’llanma. 1-qism/ Toshkent, ToshDTU, 2006.
3. Umarjonova F.Sh., Isoxodjaev X.S., Majiudova Sh.S., Alimova L.O., Axtamova S.R., “Issiqlik texnikasi” fanidan laboratoriya ishlari to’plami. Uslubiy qo’llanma.- Toshkent, ToshDTU, 2014-94b
4. Zoxidov R.A., Alimova M.M., Mavjudova SH.S., Issiqlik texnikasining nazariy asoslari. O’quv qo’llanma.-Toshkent: O’zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiriyoti. 2010.
5. Zoxidov R.A., Avezov R.R., Vardiyashvili A.B., Alimova M.M. “Issiqlik texnikasining nazariy asoslari”, o’quv qo’llanma. 1-qism.-T.; TDTU, 2005.
6. Zohidov R.A., Alimov M.M., Majidova Sh. S. Texnik termodinamika va issiqlik uzatilishi fanidan masalalar to’plami.-Toshkent.;TDTU, 2006.

Elektron resurslar

- 1.www.gov.uz- O’zbekiston Respublikasi xukumat portali.
- 2.www.lex.uz- O’zbekiston Respublikasi Qonun xujatlari ma’lumotlari milliy bazasi.
- 3.www.Ziyo.net
- 4.<http://dhes.ime.mrsu.ru>
- 5.<http://rbip.bookchamber.ru>
- 6.www.teplota.org

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-MAVZU. “Termodinamika” faniga kirish.....	4
2-MAVZU. Termodinamik tizim va ishchi jism.....	8
3-MAVZU. Ideal gazning holat tenglamasi. gaz doimiysi.....	11
4-MAVZU. Issiqlik sig’imi.....	14
5-MAVZU. Ideal gaz aralashmalari.....	17
6-MAVZU. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni. Termodinamik jarayonda ish va issiqlik miqdori.....	20
7-MAVZU. Asosiy termodinamik jarayonlar tahlili	25
8-MAVZU. Asosiy termodinamik jarayonlar tahlili.....	30
9-MAVZU. Termodinamikaning ikkinchi qonuni	35
10-MAVZU. Suv bug’i.	39
Asosiy adabiyotlar.....	47