

5 – MA'RUZA. IZOXORIK JARAYONLAR

REJA:

1. *Ideal gaz holati o'zgarishi haqida asosiy tushinchalar.*
2. *Izoxorik jarayon xolat tenglamasi*
3. *Izoxorik jarayonda entropiya o'zgarishi*
4. *Real gazlarda kechadigan izoxorik jarayon*

1. *Ideal gaz holati o'zgarishi haqida asosiy tushinchalar.*

Mahlumki, ishchi jismga berilgan issiqlik miqdori jarayon xarakteriga, turiga bog'liq. Texnikada nazariy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi asosiy jarayonlar mavjud: doimiy xajmda amalga oshuvchi izoxorik jarayon; doimiy bosimda amalga oshuvchi izobarik jarayon; doimiy haroratda amalga oshuvchi izotermik jarayon; tashqi muhit bilan issiqlik almashmaydigan adiabatik jarayon.

Bundan tashkari ma'lum sharoitlarda yuqoridagi va boshqa jarayonlarni umumlashtiruvchi bir gurux jarayonlar borki, ular politropik jarayonlar deb atalib, issiqlik sigimi o'zgarmasligi (doimiyligi) bilan xarakterlanadi.

Ushbu jarayonlarni tadqiq qilishning umumiy usullari quyidagicha:

- a. Ishchi jismni berilgan jarayonning boshlangich va oxirgi xolat parametrlarini bog'lovchi jarayon tenglamasi keltirilib chikariladi;
- b. Gaz xajmini o'zgarish ishi hisoblab topiladi;
- v. Jarayonda gazga keltirilgan (yoki olingan) issiqlik miqdori aniqlanadi;
- g. Sistema ichki energiyasi o'zgarishi topiladi;
- d. Jarayonda sistema entropiyasi o'zgarishi topiladi.

Sistemaning o'zgarmas solishtirma hajmi $V = \text{const}$ da yuz beradigan termodinamik hodisalar majmuiga izoxorik jarayon deyiladi. Jarayonni tasavvur qilish uchun tsilindrning eng yuqori qismi va porshen kallagining yuzasi bilan chegaralangan hajm (yonish kamerasiga)ga ish moddasini kiritib, porshenni qo'zg'almas xolatda saqlaymiz.

Tashqaridan q issiqlik miqdori kiritilgunga qadar gazning parametrlari P_1, V_1, T_1 bo'ladi, issiqlikni qabul qilgandan so'ng esa P_2, V_2, T_2 . Ikki holat uchun holat tenglamasini tuzamiz:

$$P_1 V_1 = RT_1$$

$$P_2 V_2 = RT_2$$

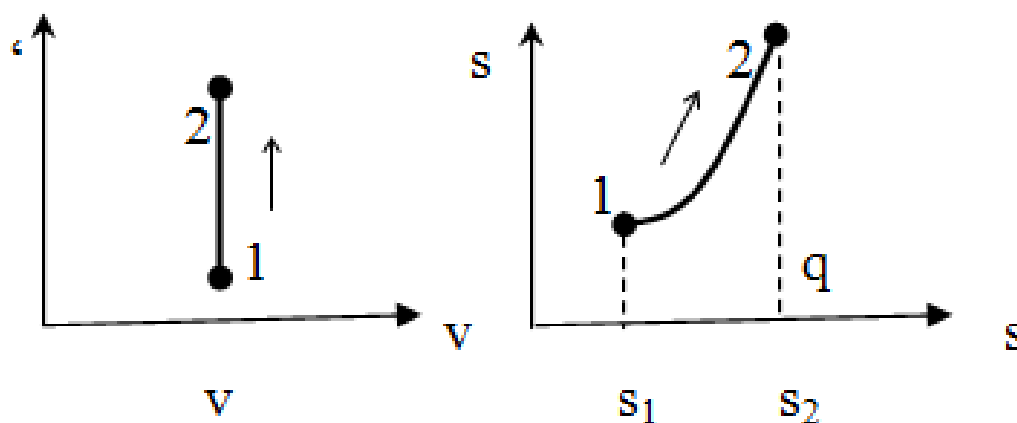
Tengliklarning nisbatlaridan Sharl qonuni ifodasi hosil bo'ladi, chunki $V_1=V_2=const$.

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

Demak izoxorik jarayonlarda bosimlar nisbati absolyut temperaturalar nisbatlariga teng bo'ladi, ya'ni bosim o'zgarishi bu jarayondagi absolyut temperaturalar nisbatlariga teng bo'ladi, ya'ni bosim o'zgarishi bu jarayondagi absolyut temperatura o'zgarishiga to'g'ri mutanosibdir.

Izoxorik jarayon diagrammasini PV, TS koordinatalarida ifodalaymiz. Termodinamikaning birinchi qonunidan ma'lumki, sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori q shu sistema ichki energiyasining o'zgarishi ($U_2 - U_1$) va tashqi kuchlarga qarshi bajarilgan ish (A) ga sarf bo'ladi, ya'ni

$$q = (U_2 - U_1) + A.$$



5.1-rasm. Izoxorik jarayonni p-v va T-s diagrammalarda ifodalanishi

Bu tenglikni differentsial shaklda ifodalab, izoxorik jarayonda gaz bajargan elementar ishni uning termodinamik parametrlaridan foydalanib yozamiz:

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

Izoxorik jarayonda gaz hajmining o'zgarishi $dV = V_1 - V_2 = 0$, o'z navbatida $dA = PdV = 0$ bo'lganligidan: $dq = du$

Demak izoxorik jarayonda sistemaga berilgan dq issiqlik miqdori shu sistema ichki energiyasining o'zgarishiga sarflanar ekan.

Termodinamik sistemaning izoxorik jarayondagi ichki energiyasining o'zgarishini issiqlik sig'imi orqali ifodalaymiz.

Ma'lumki bir kilomol modda massasini 1^0 isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori shu moddaning issiqlik sig'imi deyiladi. Yuqoridagilarni e'tirof etib izoxorik jarayondagi issiqlik miqdorini topamiz:

$$dq_V = C_V dT + P dV = C_V dT = du$$

Izoxorik jarayonda $T_2 > T_1$ bo'lsa issiqlik sistemaga uzatiladi, $T_2 < T_1$ bo'lganda issiqlik chiqadi.

Ushbu jarayondagi entropiyani o'zgarishini aniqlaymiz. Yuqoridagi tenglikni har ikkala tomonini T ga bo'lib, keyin Klayperon tenglamasidan foydalanib soddalashtiramiz:

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

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.

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

Sistema (gaz) ning holati cheksiz kichik o'zgargandagi entropiya o'zgarishini ifodalaydi.

Bu tenglikni integrallab, gaz holatining oxirgi o'zgarishi uchun entropiya o'zgaruvchanligi ifodasini hosil qilamiz:

$$S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Izoxorik jarayonda $V=\text{const}$ bo`lganligi uchun tenglikni o`ng tomonining ikkinchi qismi 0 ga teng bo`ladi. Shuning uchun izoxorik jarayonda entropiyaning o`zgarishini quyidagicha yozamiz:

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

Endi, izoxorik jarayonda bajarilgan ishning kattaligini aniqlaymiz. Termodinamikaning birinchi qonunidan ma`lumki, $V=\text{const}$ bo`lganida

$$V_2 - V_1 = 0 \quad L = PdV = 0$$

Demak, izoxorik jarayonda gaz ish bajarmaydi.

Real gazlarda kechadigan termodinamik jarayonlar:

Sodir bo`ladigan termodinamik jarayonlarni bilmasdan turib suv bug`idan bug`-kuch qurilmalarida samarali foydalanib bo`lmaydi. Bu jarayonlarni qisqagina ko`rib chiqamiz.

O`zgarimas hajmda joylashgan suv bug`iga bssqlik miqdori uzatib, bu to`yingan bug`ni to`yingan quruq va o`ta qizdirilgan bug`ga aylantirish mumkin. Lekin, har qanday temperaturadagi bug`ni sovutganimizda kondesatsiyalanish davrida suyuq faza miqdori ortib borsada, bug` 100% suyuqlikka aylanmasdan suyuqlik ustida ma`lum miqdorda bug` qoladi. Shuning uchun izoxorik jarayonning PV diagrammasi noldan boshlanmaydi.

Har qanday past bosimda ham suyuqlik sirti ustida ma`lum miqdordagi to`yingan bug` bo`ladi.

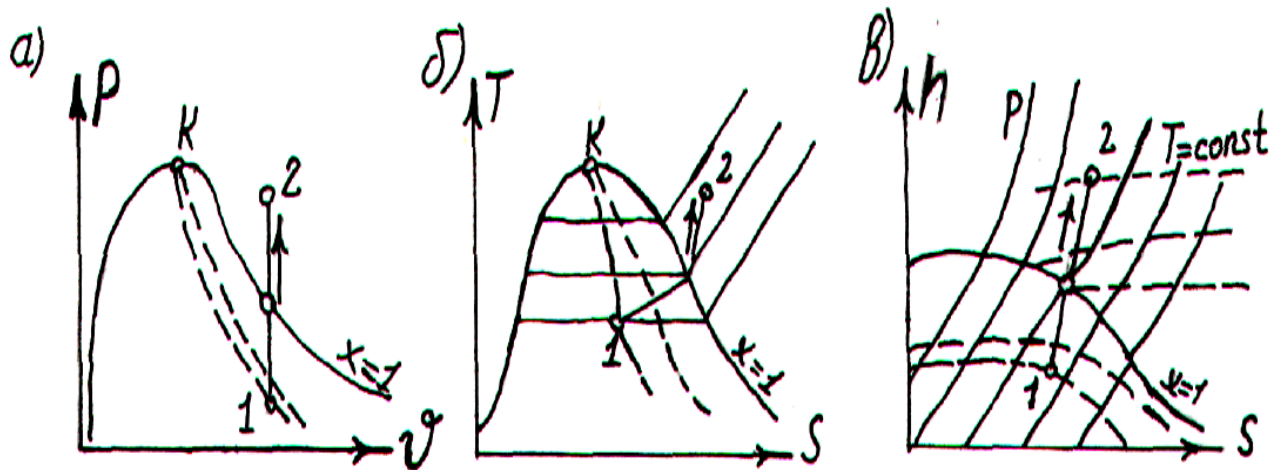
Demak termodinamikaning birinchi qonuniga ko`ra $V=\text{const}$ bo`lganda suv bug`ining bajargan ishi $L=0$ bo`ladi. Bug`ga uzatilgan q issiqlik miqdoriuning ichki energiyasining o`zgarishiga sarf bo`ladi:

$$q = \int_1^2 dq = \int_1^2 du = u_2 - u_1$$

yoki

$$q = (i - PV)_2 - (i - PV)_1.$$

Suv bug`ining TS diagrammasidan ko`rinib turibdiki, bug`ga uzatilgan issiqlik miqdori *a12b* nuqtalar bilan chegaralangan yuzaga son qiymati jihatidan teng. Suv bug`ining $V=\text{const}$ bo`lgan jarayondagi P,T parametrlari o`zgarganda, uning entropiyasi va ental`piyasi o`zgaruvchan bo`ladi.



6.2 rasm. Suv bug'ı bilan bo'ladigan izoxorik jarayon

Masala. Boshlang'ich parametrlari $P_1=6,8 \text{ MPa}$ va $t_1=12^\circ\text{S}$ bo'lgan $V=3001$ hajmdagi idishda karbonat angidrid (CO_2) $t_2=85^\circ\text{S}$ gacha qizdirilgan.

Gazning keyingi bosimini, massasini va qizdirish uchun sarflangan issiqlik miqdorini izoxorik jarayon uchun aniqlang. $C_V=\text{const}$ deb qabul qiling.

Yechish

a) Izoxorik jarayon uchun gazning keyingi bosimi.

$$P_2 T_1 = P_1 T_2 ;$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{6,8 \cdot 358}{285} = 8,55 \text{ MPa}$$

Karbonat angidridning massasini ideal gazlarning holat tenglamasidan aniqlaymiz.

$$P_1 V_1 = M R T_1$$

$$M = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{6,8 \cdot 10^6 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{189 \cdot 285} = 38 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori

$$Q_v = MC_v(t_2 - t_1) = 38 \cdot 0,66(85 - 12) = 1834 \text{ kJ}$$

$$C_v = \frac{\mu c_v}{\mu} = \frac{29,31}{44} = 0,66 \text{ kJ / kg} \cdot ^\circ \text{ S}$$

Hajmi $V=0,6 \text{ m}^3$ bo`lgan idishda harorati $t_1=20^\circ\text{C}$, $P_1=5 \text{ bar}$ bosim ostida havo qamalgan. Idishning sovishi natijasida, havo 105 kJ issiqlik yo`qotdi. Issiqlik sig`imini o`zgarmas deb qabul qilib, havoning keyingi bosimini va haroratini aniqlang.

Yechish

Holat tenglamasidan havoning massasini aniqlaymiz:

$$M = \frac{PV}{RT} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 0,6}{287 \cdot 293} = 3,57 \text{ kg}$$

Sarflangan issiqlik miqdori:

$$Q = MC_{vm}(t_2 - t_1)$$

$$\text{Bundan: } t_2 = \frac{Q}{MC_{vm}} + t_1 = \frac{-105}{3,57 \cdot 0,723} + 20 = -40,7 + 20 = -20,7$$

Ikki atomli gazlar uchun $\mu C_{vm} = 20,93$

$$C_{vm} = \frac{\mu C_{vm}}{\mu} = \frac{20,93}{28,96} = 0,723$$

Izoxorik jarayon uchun holat tenglamasidan:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} = 5 \frac{273-20,7}{293} = 4,3 \text{ bar}$$

Izoxorik jarayondagi parametrlar bog'lanishi
$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$
$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$
$p_1 \cdot v_1 = p_2 v_2$
$\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \frac{T_2}{T_1}$

Izoxorik jarayondagi bajarilganish ifodasi
$\ell = 0$
$\ell = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
$\ell = \frac{1}{k-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$
$\ell = P(V_2 - V_1)$
Izoxorik jarayondagi entalpiya ifodasi
$\Delta h = c_p \cdot (T_1 - T_2)$
$\Delta h = 0$
$\Delta h = c_{II} \cdot (T_2 - T_1)$
$\Delta h = c_p \cdot (T_2 - T_1)$
Izoxorik jarayondagi entropiya o'zgarishi ifodasi
$\Delta S = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$
$\Delta S = 0$
$\Delta S = m \cdot c_p \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$
$\Delta S = m \cdot c_v \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$
Izoxorik jarayondagi issiqlikni ifodasi
$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta T$
$Q = m \cdot (c_v + R) \cdot \Delta T$
$Q = m \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$
$Q = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$
Sharl qonuni ifodasi

$$V = \text{const} \frac{p_i}{T_i} = \text{const}$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$T = \text{const} \quad p_i \cdot v_i = \text{const}$$

$$p = \text{const} \frac{v_i}{T_i} = \text{const}$$

Nazorat savollari:

1. Izoxorik jarayonda xolat parametrlarini bo'g'lanishi.
2. Sharl qonuni
3. Izoxorik jarayonda issiqlik miqdori qanday aniqlanadi
4. Izoxorik jarayonda entropiya o'zgarishini tushintiring
5. Izoxorik jarayonda PV, TS diagrammalari

Adabiyotlar

1. Нашокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача М., 1980. 5-19 б.
2. С.Нурматов va boshqalar. Issiqlik texnikasi Toshkent 2006.