

## Termodinamika



- Gaz molekulasining issiqlik harakati energiyasi (ichki energiya)

$$W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT \quad (1)$$

Bunda  $i$  – molekularining erkinlik darajasi bo'lib bir atomli gazlar uchun 3ga, va ikki atomli gazlar uchun 5ga va 3 yoki undan ko'p atomli gazlar uchun 6ga teng.

Moddaning 1 mol miqdori temperaturasini  $1^\circ C$  ga oshirish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdori molyar issiqlik sig'imi deyiladi va  $C$  harfi bilan belgilanadi.

Moddaning 1kg miqdorini temperaturasini  $1^\circ C$  ga oshirish uchun kerak bo'ladigan issiqlik miqdori solishtirma issiqlik sig'imi deyiladi va  $c$  harfi bilan belgilanadi.

- Ular orasida quyidagicha bog'lanish mavjud.

$$C = \mu c \quad (2)$$

- Hajm o'zgarmaganda moddaning molyar issiqlik sig'imi:

$$C_v = \frac{i}{2} R \quad (3)$$

- Bosim o'zgarmaganda moddaning molyar issiqlik sig'imi esa:

$$C_p = C_v + R \quad (4)$$

Shu o'rinda, erkinlik darajasi  $i$  ga yuqoridagi qiymatlarni mos holda bir, ikki yoki ko'p atomli moddalar uchun qo'yib  $C_v$  va  $C_p$  molyar issiqlik sig'irlarining qiymatlarini hisoblash mumkin.

- Modda molekulasi o'rta arifmetik tezligi va ehtimolligi eng yuqori bo'lgan tezligi:

$$\bar{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}; g_i = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad (5)$$

- Termodinamikasining birinchi qonuniga ko'ra tizimga berilgan issiqlik miqdori uning ichki energiyasini o'zgarishiga va tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga sarflanadi:

$$dQ = dW + dA \quad (6)$$

- Shu o'rinda tizim A ishni hajmini o'zgartirish uchun tashqi kuchlarga qarshi bajaradi. Shuning uchun:

$$dA = PdV \quad (7)$$

(6) dagi  $dW$  – ichki energiyasini o'zgarishi esa

$$dW = \frac{I}{2} \frac{m}{\mu} R dT \quad (8)$$

- Adiabatik jarayonda gaz bosimi bilan uning hajmi orasidagi boglanishni ifodalovchi tenglama Piasson tenglamasi deyiladi:

$$PV^\chi = \text{const} \text{ yoki } \frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\chi \quad (9)$$

bunda  $\chi = \frac{C_p}{C_v}$  - adiabata ko'rsatkichi deyiladi. Issiqlik molekulasi foydali ish koeffitsienti

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (10)$$

Bunda  $Q_1$  – ishchi jismning isitgichdan olgan issiqlik miqdori,  $Q_2$  – sovutgichga berilgan issiqlik miqdori.

- Karlo siklining  $FIK$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (11)$$

Bunda  $T_1$  – isitgichning temperaturasi,  $T_2$  – sovutgichning temperaturasi.

### ***Masala yechish namunalari***

1.  $1.5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  bosimda bo'lgan  $2l$  hajmli idishdagi ikki atomli gaz molekulalari issiqlik harakatinining energiyasi nimaga teng?

Berilishi:  $V = 2l = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ,  $p = 150 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

Topish kerak:  $W = ?$

Yechilishi: Ushbu holatdagi gaz uchun Mendeleyev – Klaneyron tenglamasi:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{(a). (1) ga ko'ra gazning ichki energiyasi } W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT \quad \text{(b). (a) ga ko'ra}$$

(b) dan:  $W = \frac{i}{2} PV$ . Ushbu tenglamadan qidirilayotgan kattalik hisoblanadi.

Javob :  $W = 750 \text{ J}$

1. 1)  $V = \text{const}$  va 2)  $P = \text{const}$  bo'lganda kislorod solishtirma issiqlik sig'imi topilsin.

Kislorod uchun a)  $V = \text{const}$  va b)  $P = \text{const}$  hol uchun solishtirma issiqlik sig'imi  $C$  ni topish kerak.

Yechilishi: (3) ga ko'ra  $V = \text{const}$  hol uchun  $C_v = \frac{i}{2} R$ , bundan  $i=5$  uchun

$$C_v = \frac{5}{2} 8.31 = 2.5 \cdot 8.31 \cdot 20.8 \frac{\text{J}}{\text{molK}}, \quad \text{(1)ga ko'ra } C = \mu c \text{ yoki } c = \frac{C}{\mu} \text{ bo'lganligidan:}$$

$$C_v = \frac{c_v}{\mu} = \frac{20.8}{32 \cdot 10^{-3}} = 650 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}. \text{ Huddi shu usulda hisoblanadi:}$$

$$\text{a) } C_p = C_v + R \text{ yoki } C_p = \frac{C_v \mu + R}{\mu} = 910 \text{ J / kgK}.$$

3.  $300 \text{ mm.sim.ust}$  bosimda zichligi  $0.3 \text{ g/l}$  bo'lgan gaz molekulalarining o'rtacha arifmetik, o'rtacha kavadratik va ehtimolligi eng katta tezliklari topilsin.

Berilishi :  $p = 40 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ,  $\rho = 0.3 \text{ kg / m}^3$ .

Topish kerak:  $\sqrt{\bar{g}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$  (a). (5) tenglamaga ko'ra esa:  $\bar{g} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ ,

$g_{ii} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$  (b). Ikkinchi tomonda holat tenglamasiga ko'ra  $PV = \frac{m}{\mu}RT$  dan

$$\frac{RT}{\mu} = \frac{PV}{m} = \frac{P}{\frac{m}{V}}, \text{ (a) va (b) tenglamalarga qo'llasak } \sqrt{\bar{g}^2} = \sqrt{\frac{3P}{S}}, \bar{g} = \sqrt{\frac{8P}{\pi S}}, g_{ii} = \sqrt{\frac{2P}{S}}$$

Ushbu tenglamalar orqali qidirilayotgan kattaliklarning son qiymatlari hisoblanadi. Javob :  $\sqrt{\bar{g}^2} = 628 \text{ m/s}$ ,  $g_{ii} = 513 \text{ m/s}$ ,  $\bar{g} = 580 \text{ m/s}$

4. Temperaturasini  $27^\circ\text{C}$  bo'lgan 6.5g vodorod  $p=\text{const}$  bosimda tashqaridan berilayotgan issiqlik hisobiga ikki marta kengaygan. 1) Gazning kengayishi ishi, 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi, 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin.

Berilishi :  $m = 6.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ,  $T = 700\text{K}$ ,  $V_2 = 2V$ ,  $p = \text{const}$

Topish kerak  $A = ?$ ,  $\Delta W = ?$ ,  $Q = ?$ .

Yechilishi: Dastlab  $A$  ni quyidagicha topamiz: (7)ga ko'ra  $dA = p dV$  yoki integrallasak  $A = \int_V^{2V} p dV = p(2V - V) = pV$ . Holat tenglamasiga ko'ra  $pV = \frac{m}{\mu}RT$

$$A = \frac{m}{\mu}RT = \frac{6.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8.31 \cdot 300 = 8.1 \text{ kJ}, \text{ endi ichki energiya o'zgarishi uchun (8)ga}$$

ko'ra quyidagini yozamiz:  $\Delta W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T$  (a). Bunda  $i = 5$ ga teng, va  $P = \text{const}$

bo'lganligidan  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  yoki  $\frac{V_2}{T_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2$  uchun  $T_2 = 2T_1$  va  $\Delta T = T_2 - T_1 = 2T_1 - T_1 = T_1$  u

holda (a) dan  $\Delta W = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} RT_1$ . Hisoblaymiz:

$$\Delta W = 2.5 \cdot \frac{6.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8.31 \cdot 300 = 2.5 \cdot 8.1 \cdot 10^3 = 20.25 \text{ kJ} \quad \text{va nihoyat (6) ga ko'ra}$$

$$Q = \Delta W + A = 20.25 \cdot 10^3 + 8.1 \cdot 10^3 = 28.35 \cdot 10^3 \text{ J}.$$

5. Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi har bir siklda  $7.35 \cdot 10^{-3} \text{ J}$  ish bajaradi. Isitgichning temperaturasi  $100^\circ\text{C}$ , sovitgichning temperaturasi  $0^\circ\text{C}$ . 1) Mashinaning f.i.k., 2) mashinaning bir siklda isitgichdan olgan issiqlik miqdori, 3) bir siklda sovitgichga bergan issiqlik miqdori topilsin.

Berilishi :  $A = 73.5 \cdot 10^3 J$      $T_1 = 373K$ ,     $T_2 = 273K$

Topish kerak     $\eta = ?$ ,     $Q_1 = ?$ ,     $Q_2 = ?$

Yechilishi: (11) tenglamaga ko'ra quyidagicha yechamiz:  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$     bunda

$$\eta = \frac{373 - 273}{373} \cdot 100\% = 26.8\% . \quad \text{Ikkinchidan: } \eta = \frac{A}{Q_1} , \quad Q_1 = \frac{A}{\eta} = \frac{73.5 \cdot 10^3}{0.268} = 274 kJ .$$

$$Q_2 = Q_1 - A = 274 \cdot 10^3 - 73.5 \cdot 10^3 = 200 kJ .$$

### ***Mustaqil yechish uchun masalalar***

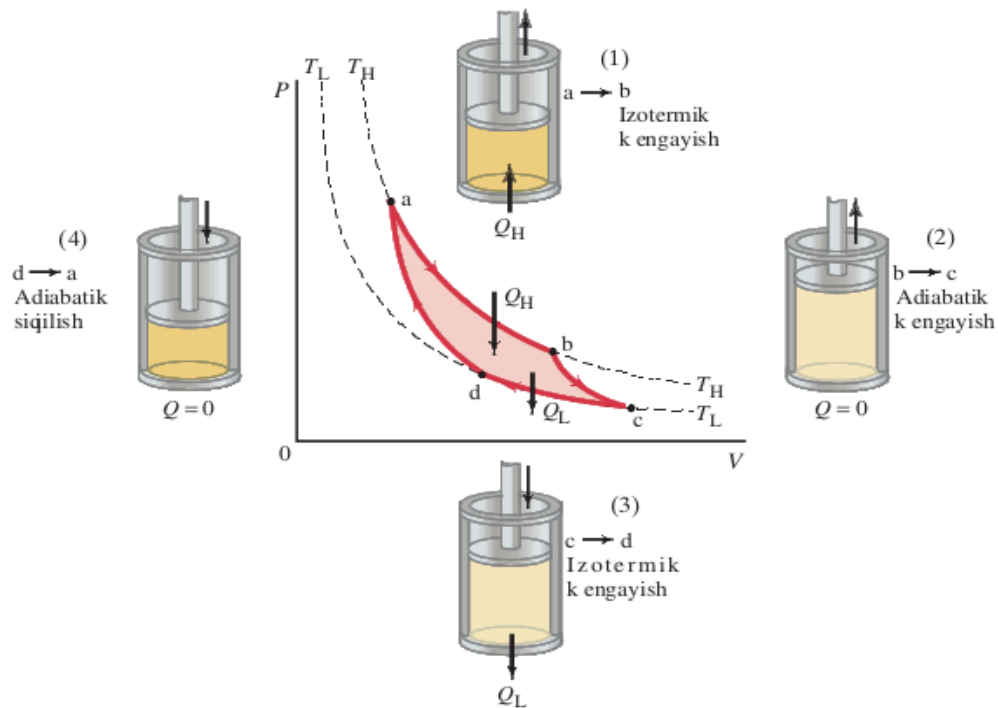
1.  $7^\circ C$  temperaturada  $1kg$  dagi azot molekulalarining aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng? ( $W_{ayl} = 8.3 \cdot 10^4 J$ )
2.  $P = 8 \cdot 10^4 N/m^2$  bosimda zichligi  $\rho = 4 kg/m^3$  bo'lgan  $1kg$  ikki atomli gaz bor. Bu sharoitda gaz molekulalari issiqlik xarakatining energiyaskgi topilsin.  
( $W = 5 \cdot 10^4 J$ )
3. Agar biror ikki atomli gazning normal sharoitda zichligi  $1.43 kg/m^3$  bo'lsa, bu gazning  $c_v$  va  $c_p$  solishtirma issiqlik sig'implari nimaga teng?  
( $c_v = 650 J/kg \cdot grad$      $c_p = 910 J/kg \cdot grad$ )
4. Agar biror gaz bir kilomolining massasi  $\mu = 30 kg/kmol$  ga tengligi va uning uchun  $\frac{c_p}{c_v} = 1.4$  nisbati ma'lum bo'lsa, gazning  $c_v$  va  $c_p$  solishtirma issiqlik sig'imi topilsin. ( $c_v = 693 J/kg \cdot grad$      $c_p = 970 J/kg \cdot grad$ )
5. Massasi  $m = 32g$  bo'lgan kislorodning bosimini o'zgarmas hajmda  $T_1 = 273K$  haroratdan boshlab uch marta orttirish uchun sistemaga berilgan issiqlik miqdori va ajargan ishni toping. Kislorodning o'zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik sig'imi  $c_v = 657 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$ . ( $Q_v = 11479J$ ,  $A_v = 0$ )
6. Normal sharoitda  $2l$  hajmli yopiq idishda  $m$  gramm azot va  $m$  gramm argon bor. Bu gaz aralashmasini  $100^\circ$  isitish uchun unga qancha issiqlik miqdori berish kerak? ( $Q = 155J$ )

7. Qanday temperaturada azot molekulalarining o'rtacha kvadratik tezligi ularning extimolliigi eng katta tezligidan  $50m/sek$  ga ortiq bo'ladi? ( $T=83K$ )
8. Yopiq idishda 20 g azot va 32 g kislorod bor. Bu gaz aralashmasini  $28^0$  ga sovutilganda, uning ichki energiyasining o'zgarishi topilsin. ( $\Delta W = 1000J$ )
9.  $2kmol$  karbonat angidrid gazi o'zgarimas bosimda  $50^0$  isitilgan. 1) Gaz ichki energiyasining o'zgarishi 2) kengayganda bajarilgan ish 3) gazga berilgan issiqlik miqdori topilsin. ( $\Delta W = 2500kJ, A = 830kJ, Q = 3300kJ$ )
10. Hajmi  $V_1 = 70m^3$  bo'lgan xonadagi havo  $p = 100kPa$  o'zgarimas bosimda  $T_1 = 280K$  dan  $T_2 = 300K$  gacha isitilgan bo'lsa, havoning kengayishida bajarilgan ishni toping. ( $A_p = pV_1(\frac{T_2}{T_1} - 1) = 500kJ$ )
11. Massasi  $m = 14g$  bo'lgan azot  $T = 250K$  haroratli izotermik ravishda  $p_2 = 1atm$  bosimgacha kengayganda bajarilgan ish nimaga teng bo'ladi?  
( $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2} = 720J$ )
12. Ikki atomli gazga 500 kal issiqlik berilganda, u o'zgarimas bosimda kengaygan. Gazning kengayishida bajargan ishi topilsin. ( $A = 600J$ )
13.  $2 \cdot 10^5 N/m^2$  bosim ostida bo'lgan  $17^0C$  temperaturali 5 l hajmni egallagan gaz isitilganda izobarik ravishda kengaygan. Bunda gazning kengayish ishi 20 kGm gat eng bo'lgan. Gaz necha gradusga isitilgan? ( $\Delta t = 57^0$ )
14. Ko'p atomli 1 kmol gaz erkin kengaya olish sharoitida  $100^0$  isitilga. 1) Gazga berilgan issiqlik miqdori 2) gaz ichki energiyasining o'zgarishi 3) kengayishda bajarilgan ish topilsin.  
(1)  $Q = 3.32 \cdot 10^6 J$       2)  $\Delta W = 2.49 \cdot 10^4 J$       3)  $A = 8.31 \cdot 10^5 J$ )
15. 7.5 l kislorod adiabatik 1 l hajmgacha siqilgan va siqilishning oxirida bosim  $1,6 \cdot 10^6 N/m^2$  gat eng bo'lgan. Gaz siqilishgacha qanday bosimda bo'lgan?  
( $P = 9.5 \cdot 10^2 N/m^2$ )
16. Ichki yonuv dvigatelining silindiridagi xavo adiabatik siqiladi va bunda uning bosimi  $P_1 = 1atm$  dan  $P_2 = 35atm$  gacha o'zgaradi. Havoning boshlang'ich temperaturasi  $40^0C$ . Havoning siqilgandan keyingi temperaturasi topilsin.

$$(T = 865K)$$

17. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Agar bir siklda 300 kGm ga teng ish bajarilganligi va sovutkichga 3.2 kkal issiqlik berilgani ma'lum bo'lsa siklning F.I.K aniqlansin. ( $\eta = 18\%$ )

18.1-rasmdan foydalanib Karno siklini tushintiring.



1-rasm

19. Ideal issiqlik mashinasi Karno sikli bo'yicha ishlaydi. Bunda isitkichdan olingan issiqlikning 80% i sovutkichga beriladi. Isitkichdan olingan issiqlik miqdori 1.5 kkal ga teng. 1) Siklning FIK 2) To'la siklda bajarilgan ish topilsin. ( $\eta = 20\%$   $A = 1.26 \cdot 10^3 J$ )

20.  $p = 10^6 Pa$  bosim ostida bo'lgan  $V = 10l$  hajmli havo ikki marta kengaytirilgan. Sistemaning kengayishi: a) izotermik; b) izobarik bo'lgan jarayonlarda bajarilgan ishlarni va oxirgi bosimlarni toping. ( $a) A_T = 702J, p_2' = 0.5MPa, b) A_p = 1kPa, p_2'' = 100kPa$ )

21. Karni sikli bo'yicha ishlovchi ideal issiqlik mashinasi isitkichdan olgan issiqlik miqdorining  $\eta = 70\%$  ini sovutkichga beradi. Agar isitkichning harorati  $T_1 = 430K$  bo'lsa sovutkichning haroratini toping.

22. Karno sikli bo'yicha ishlovchi ideal issiqlik mashinasi isitkichining harorati  $T_1 = 400K$ , sovutkichniki esa,  $T_2 = 300K$ . Agar isitkichning harorati  $\Delta T = 200K$  ga ko'tarilsa, siklning  $FIK$  i qanchaga oshadi?
- $$\left( \frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{(T_1 - T_2 + \Delta T)T_1}{(T_1 - T_2)(T_1 + \Delta T)} \right)$$
23. Teskari Karno sikli bo'yicha ishlaydigan ideal issiqlik mashinasi, xar bir siklda  $3,7 \cdot 10^4 J$  ga teng ish bajaradi. Bunda mashina  $-10^\circ C$  temperaturali jismdan issiqlik olib,  $17^\circ C$  jismga issiqlik beradi. 1) Siklning  $FIK$  2) bir siklda sovuq jismdan olingan issiqlik miqdori 3) bir siklda issiq jismga berilgan issiqlik miqdori topilsin.
- (1)  $\eta = 0.093$  2)  $Q_3 = 360J$  3)  $Q_1 = 397kJ$ )
24. Ideal sovitish mashinasi teskari Karno sikli bo'yicha issiqlik nasosidek ishlaydi. Bunda mashina  $2^\circ C$  temperaturali suvdan issiqlik oladi va uni  $27^\circ C$  temperaturali xavoga beradi. 1) Biror vaqt oralig'ida xavoga berilgan issiqlik miqdorini shuncha vaqtda suvdan olingan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat  $\eta_1$  ko'effitsiyent 2) biror vaqt oralig'ida suvdan olingan issiqlik miqdorini shuncha vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyaga bo'lgan nisbatidan iborat  $\eta_2$  ko'effitsiyent ( $\eta_2$ -mashinaning sovitish ko'effitsiyenti deyiladi). 3) Biror vaqt oralig'ida mashinaning ishlashi uchun sarflangan energiyani shuncha vaqt xavoga berilgan issiqlik miqdoriga bo'lgan nisbatidan iborat  $\eta_3$  ko'effitsiyent ( $\eta_3$  siklning  $FIK$ ) topilsin. Va  $FIK$  larning bog'lanishlari topilsin.
- ( $\eta_1 = 1.09$ ,  $\eta_2 = 11$ ,  $\eta_3 = 0.083$ )
25.  $10^5 N/m^2$  bosimda  $2l$  azot bor. 1)  $P = const$  bo'lganda uning hajmini ikki barobar orttirish uchun 2)  $V = const$  bo'lganda uning bosimini ikki marta orttirish uchun qanchadan issiqlik miqdori berish kerak?
- (1)  $Q = 700J$ , 2)  $Q = 500J$ )