

4-МАВЗУ: ИДЕАЛ ГАЗЛАРНИНГ ТЕРМОДИНАМИК ЖАРАЁНЛАРИ.

Кўриладиган масалалар.

1. Термодинамик жараёнлар.
2. Изхорик жараён.
3. Изобарик жараён.
4. Изотермик жараён.
5. Адиабатик жараён.
6. Политропик жараёнлар.

Таянч сўз ва иборалар.

Тадқиқотлар услуби; политропли жараён; изохорли жараён; изобарли жараён; изотермикли жараён; адиабатли жараён.

1. Термодинамик жараёнлар.

Термодинамиканинг биринчи қонуни иссиқлик миқдорини, ички энергиянинг ўзгаришини ва газни ташқи ишини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади, бироқ жисмга берилаётган ва ундан олинаётган иссиқлик миқдори жараёнини характерига боғлиқ.

Техникада назарий тадқиқотлар ва амалий ишлар учун катта аҳамиятга эга бўлган асосий жараёнларга қуйидаги жараёнлар киради: ўзгармас ҳажмда кечадиган **изохор жараён**; ўзгармас босимда кечадиган **изобар жараён**; ўзгармас ҳароратда кечадиган **изотермик жараён**; ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмасдан кечадиган **адиабат жараён**.

Булардан ташқари, маълум шароитда асосий жараёнларини умумлаштирувчи жараёнлар гуруҳи ҳам мавжуд. Бу жараёнлар **политропик жараёнлар** деб аталиб, жараёнда иссиқлик сиғимини доимилиги билан характерланади.

Барча жараёнлар учун тадқиқотларни умумий услуби ўрнатилади, улар қуйидагилардан иборат:

PV иа TS диаграммаларада жараённи эгри тенгламалари келтириб чиқарилади; жараёнинг бошланишида ва охирида ишчи жисмнинг асосий кўрсаткичлари орасида боғлиқлиги ўрнатилади;

Идеал газни ҳамма жараёнлари учун маъқул бўлган формула орқали ички энергияни ўзгаришини аниқлаш:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \int_{t_1}^{t_2} C_V dt = C_{Vm} \int_0^{t_2} t_2 - C_{Vm} \int_0^{t_1} t_1$$

ёки ўзгармас ҳажмда;

$$U_2 - U_1 = C_V (t_2 - t_1);$$

Газнинг ҳажмини ўзгариш иши асосий ифода орқали ҳисобланади

$$l = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} f(V)dV;$$

Жараёнда иштироқ этувчи иссиқлик миқдори қўйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q_{1,2} = \int_{t_1}^{t_2} C_X dt = C_{Xm} \int_0^{t_2} dt - C_{Xm} \int_0^{t_1} dt;$$

Ҳамма идеал газлар учун мақбул бўлган ифода орқали жараёнда энталпияни ўзгариши аниқланади

$$i_2 - i_1 = C_{Pm} \int_0^{t_2} dt - C_{Pm} \int_0^{t_1} dt$$

ёки доимий иссиқлик сифими учун

$$i_2 - i_1 = C_p(t_2 - t_1)$$

Идеал газ учун энтропияни ўзгариши қўйидаги ифода орқали аниқланади.

$$S_2 - S_1 = C_v \ln T_2 / T_1 + R_l V_2 / V_1$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln T_2 / T_1 - R_l P_2 / P_1$$

Кўриладиган жараёнлар қайтар жараёнлар деб қаралади.

2. Изохор жараён.

Ўзгармас ҳажмда кечадиган жараёнлар изохор жараён деб аталади ($dV = 0$ ёки $V = const$). Жараёнинг эгри чизиғи изохор чизиғи деб аталади (4.1-рас.м).

Идеал газнинг ҳолат тенгламасига асосан $PV = RT$ $V = const$ бўлганда $P/T = R/V = f(V) = const$ ни оламиз.

4.1-расм. $V = const$ бўлганда PV ва TS диаграммалари.

Ўзгармас ҳажмда газни босими абсолют ҳароратга туғри пропорционал ҳолатда ўзгаради.

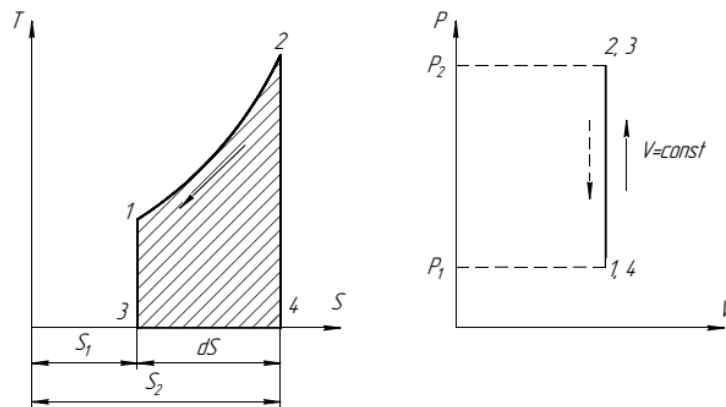
$$P_1 / P_2 = T_1 / T_2 \quad (7.1)$$

$V = const$ бўлганда газни ташқи иши йўлга тенг, чунки $dV = 0$

Демак
$$l = \int_{V_1}^{V_2} PdV = 0$$

Ташқи муҳитга берилиши мумкин бўлган фойдали иш қўйидагига тенг бўлади.

$$l' = \int_{P_1}^{P_2} VdP = V(P_2 - P_1)$$



4.1-расм.

Жараёнда иштирок этувчи иссиқликнинг миқдори.

$$q_{V,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} (du/dt)_V dt = \int_{t_1}^{t_2} C_V dt = C_V (t_2 - t_1) = U_2 - U_1 - \text{ўзгармас иссиқлик сиғимда}$$

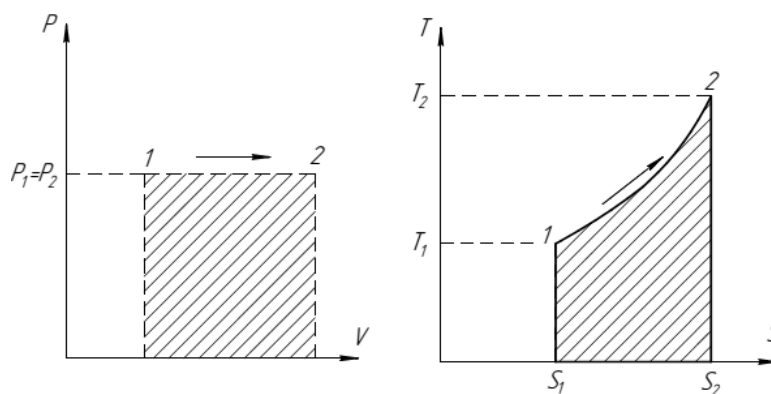
$$q_{V,1x-2} = U_2 - U_1 = C_{Vm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{Vm} \Big|_0^{t_1} t_1 \quad - \quad (7.2) \quad \text{ўзгарувчан иссиқлик сиғимда}$$

энтропиянинг ўзгариши

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} (ds/dt)_V dT = C_V \ln T_2 / T_1 = C_V \ln P_2 / P_1 \quad (7.3)$$

3. Изобар жараён.

Ўзгармас босимда кечадиган жараён изобар жараён деб аталади. (4.2-расм).



4.2-расм. $P=const$ бўлганда жараённинг PV ва TS диаграммалари.

Изобар жараёни учун идеал газнинг ҳолат тенгламасидан

$$V/T = R/P = \varphi(p) = const$$

Бу нисбат Гей-Люссак қонуни деб аталади.

1-2 жараён учун

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 = \rho_2/\rho_1 \quad (4.4)$$

Газнинг бир хил миқдордаги ҳажми изобар жараёнда абсолют ҳароратга тўғри пропорционалда ўзгаради. Газни кенгайишида унинг ҳарорати ортади, сиқишда-камаяди.

Ҳажмнинг ўзгаришидаги солиштирма иш қуйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$l = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1) \quad \text{ёки} \quad (4.5)$$

$$l = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1) \quad (4.6)$$

$P = \text{const} (dP = 0)$ бўлганда термодинамиканинг биринчи қонунини асосий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга.

$$dq_p = C_p dt = di$$

Иссиқлик сиғими ўзгармас бўлгандаги изобар жараёнда жисмга берилган иссиқлик миқдори тенг бўлади.

$$q_{p,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} (di/dt)_p dt = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt = C_p(t_2 - t_1) = i_2 - i_1 \quad (4.7)$$

Иссиқлик ўзгарувчан, бўлганда

$$q_{p,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt = C_{pm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{pm} \Big|_0^{t_1} t_1 = i_2 - i_1 \quad (4.8)$$

$q_{1,2}$ берилган иссиқликнинг $P(V_2 - V_1)$ га тенг бўлган қисми кенгайиш ишига ўтади қолгани жисмни ички энергиясини оширади.

Ўзгармас иссиқлик сиғимидаги қайтар изобар жараёнда энтропияни қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$S_2 - S_1 = C_p \ln T_2/T_1 - R \ln P_2/P_1$$

$P = \text{const}$ бўлганда $\ln P_2/P_1 = 0$, шунинг учун,

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} (ds/dt)_p dt = \int_{T_1}^{T_2} (C_p/T)_p dT = C_p \ln T_2/T_1 = C_p \ln V_2/V_1 \quad (7.9)$$

3. Изотермик жараён.

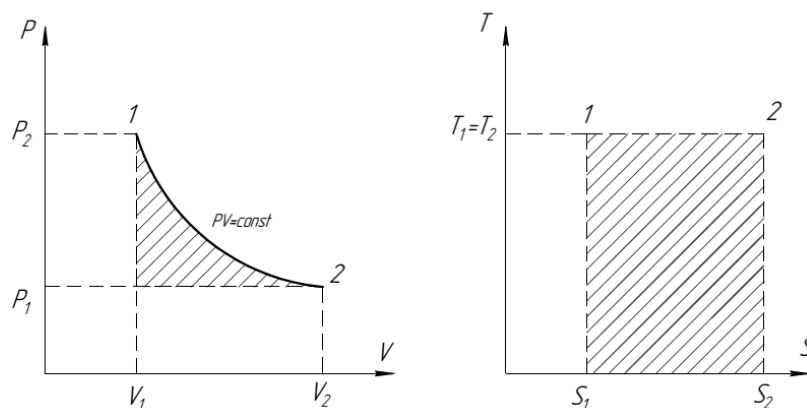
Ўзгармас ҳароратда кечадиган жараёнлар изотермик жараён деб аталади ($T = \text{const}$ ёки $dT = 0$). Идеал газнинг изотермик жараёни учун

$$PV = RT = \psi(T) = \text{const}$$

ёки

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{ва} \quad P_1/V_1 = P_2/V_2 \quad (4.10)$$

Ўзгармас ҳароратда газнинг ҳажми босимига тескари пропорционалда ўзгаради.



4.3-расм. Изотермик жараённинг PV ва TS диаграммасы

PV -диаграммада изотермик жараён тенгламасы гиперболола (шаклига) кўринишига эга.

$T=const$ бўлганда термодинамиканинг биринчи қонуни асосий, тенгламасы содда кўринишга эга.

$$dq = dl + dl \quad \text{ва} \quad q_{1,2} = l_{1,2}$$

Ишчи жисмга берилган иссиқлик миқдори сон жиҳатидан ҳажми ўзгаришидаги ишига тенг. Ҳажмнинг ўзгаришидаги солиштирма иши қуйидагига тенг.

$$l = \int_{V_2}^{V_1} P dV$$

Изотермик жараёнда $PV = P_1V_1$ ёки $P = P_1V_1/V_2$ бўлгани учун

$$l = P_1V_1 \int_{V_2}^{V_1} dV/V \quad \text{тенгламани интеграллаб қуйидагини оламиз}$$

$$l = P_1V_1 \ln V_2/V_1 = q \quad (4.11)$$

Изотермик жараёнда иссиқлик сифими

$$C_T = dq/dt = dq/0 = \pm\infty$$

Идеал газнинг энталпияси ва ички энергияси ўзгармайди, яъни $di=0$ ва $du=0$.

Энтропияни ўзгариши

$$S_2 - S_1 = C_V \ln T_2/T_1 + R \ln V_2/V_1 \quad \text{бундан}$$

$$S_2 - S_1 = R \ln V_2/V_1 \quad \text{ва} \quad S_2 - S_1 = R \ln P_1/P_2 \quad (4.12)$$

Изотермик жараёнда иштирок этувчи иссиқлик энтропия (S_2-S_1) ни абсолют ҳарорат T га кўпайтмасига тенг

$$q = T(S_2 - S_1)$$

4. Адиабатик жараён.

Иссиқлик берилмай ва олинмай кечадиган жараён, яъни, ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайдиган жараён адиабатик жараён деб аталади. Бу жараён учун $dq=0$ ва $q=0$ бўлиши шарт. $dq=0$ бўлганда термодинамиканинг биринчи қонуни

тенгламаси.

$$C_p dT - VdP = 0 \quad \text{ва} \quad C_v dT + PdV = 0 \quad \text{бўлади.}$$

Биринчи тенгламани иккинчи тенгламага бўлиб

$$C_p dT / C_v dT = - \frac{VdP}{PdV} \quad \text{еки} \quad k \frac{dV}{V} = - \frac{dP}{P}$$

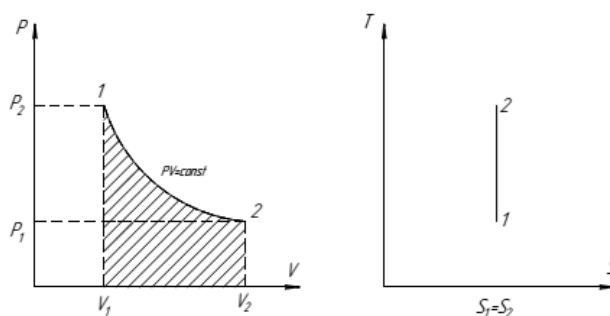
$k = \text{const}$ ($C_p = \text{const}$ ва $C_v = \text{const}$) лигини ҳисобга олиб бу тенгламани интегралласак.

$$k \int_{V_2}^{V_1} dV/V = - \int_{P_2}^{P_1} dP/P \quad \text{ва} \quad k \ln V_2/V_1 = \ln P_1/P_2 \quad \text{ларни оламиз}$$

Бу тенгламани потенфирлаб.

$$(V_2/V_1)^k = P_1/P_2 \quad \text{ва} \quad P_1 V_1^K = P_2 V_2^K \quad \text{ларни оламиз}$$

Бундан адиабат тенгламаси $PV^K = \text{const}$ бўлади (4.13) бу ерда k -адиабат кўрсаткич



4.4-расм. Адиабатик жараёнининг PV ва TS диаграммалари

Адиабат жараёнда асосий кўрсаткичларнинг ўзаро боғлиқлигини кўриб чиқамиз.

Адиабат тенгламасидан

$$P_1/P_2 = (V_2/V_1)^k \quad \text{ва} \quad V_1/V_2 = (P_2/P_1)^{1/k}$$

Жисмни кўрсаткичларини нисбатини жараённи чекка нуқталари ҳолат тенгламасига кўйиб $(P_2/P_1)(V_2/V_1) = (T_2/T_1)$ тегишли ўзгартиришлар киритиб

$$T_1/T_2 = (V_2/V_1)^{K-1} = (P_1/P_2)^{(K-1)/k}$$

ҳажмни ўзгаришидаги солиштирма иш

$$l = \int_{V_1}^{V_2} PdV \quad \text{адиабат тенламаси} \quad P = P_1 V_1^k / V^K \quad \text{орқали келтириб чиқариш мумкин}$$

$$l = \frac{1}{K-1} \left(\frac{P_1 V_1^k}{V_1^{K-1}} - \frac{P_2 V_2^k}{V_2^{K-1}} \right) \quad \text{бунда}$$

$$l = \left[\frac{1}{K-1} \right] (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (7.14) \quad \text{бу ифодадан қуйидагини олиш мумкин.}$$

$$l = \left[\frac{P_1 V_1}{K-1} \right] (1 - T_2/T_1); \quad l = \left[\frac{K_1}{K-1} \right] (T_2 - T_1)$$

Ҳароратларни нисбатини ҳажм ва босим нисбатлари билан

алмаштирамиз.

$$l = [P_1/V_1(k-1)] \left[1 - \left(P_2/P_1 \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = [RT_1/(k-1)] \left[1 - (V_1/V_2)^{k-1} \right]$$

Қайтар адиабат жараён учун $dq=0$ шунинг учун $dS=dq/T=0$ ва $S_2=S_1=const$ (4.15).

5. Политропик жараён.

Юқорида кўриб чиқилган термодинамик процессларда газнинг ҳолат параметрларидан бири доимо ўзгармас ($P=const$, $\mathcal{G}=const$, $T=const$, $S=const$) бўлиб қолар эди.

Ҳақиқий процессларда эса газнинг ҳолати ўзгарганда унинг барча параметрлари ўзгаради.

Бундай процессларни ифодаловчи эгри чизиқлар **политропалар** дейилади.

Тизим (газ)нинг солиштирма иссиқлик сиғими ($C=const$) ўзгармас бўлган термодинамик жараён политропик жараён дейилади.

Политроп гречка *Polі*-кўп ва *trops*-йўл сўзларидан олиган бўлиб, турли туман бурилиш, кўп бўрилиш деган маънони билдиради.

Тизимнинг солиштирма иссиқлик сиғими ўзгармасда, унинг ҳолат кўрсаткичлари ўзгаради.

Политроп жараён тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$PV^n=const \quad (4.16)$$

бу ерда $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$ - политроп кўрсаткичи; C -политроп жараёнда

қатнашаётган тизимнинг солиштирма иссиқлик сиғими; C_p ва C_v - жараёнда қатнашаётган тизимнинг (газ) ўзгармас босими ва ҳажмдаги солиштирма иссиқлик сиғимлари.

Турли политропик процесслар учун политропа кўрсаткичи $n + \infty$ дан $-\infty$ гача бўлган ҳар қандай қийматларни қабул қилиши мумкин.

Политроп жараённинг иссиқлик сиғими $C=const$ бўлгандаги ҳолати учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидагича ёзилади:

$$dq = CdT = C_v dT + PdT \quad \text{ёки}$$

$$(C - C_v)dT = pdV$$

Политропик процесс тушунчаси бизга маълум бўлган қолган барча термодинамик процессларни умумлаштиради:

Кўрсаткичи $n=0$ бўлган политропик процесс одатдаги изобарик процесдан иборатлиги (4.16) дан кўриниб турибди:

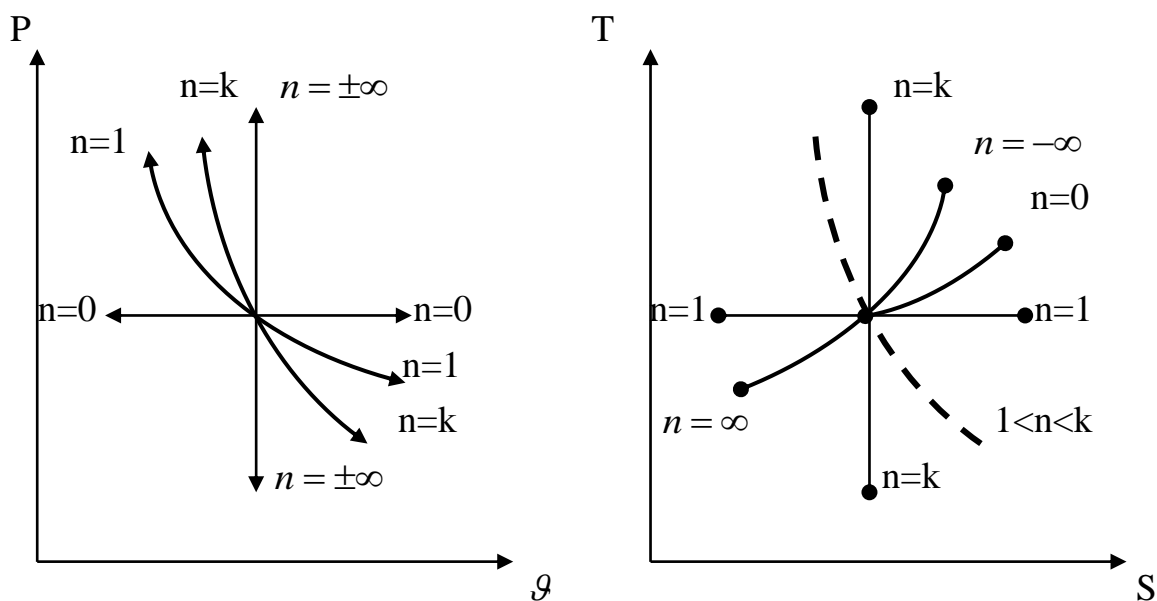
$$P=const$$

Кўрсаткичи ∞ бўлган политропик процесс изохорик процесдир, яъни:

$$P^n \mathcal{G} = const; \quad P^\infty \mathcal{G} = const; \quad P^0 \mathcal{G} = const; \quad \mathcal{G} = const;$$

Кўрсаткичи $n=1$ бўлган политропа тенгламаси Бойль-Мариоттнинг идеал газдаги изотермик процесс тенгламасига мос келади яъни:

$$P\varrho = const;$$



4.5-расм.

4.5-расмда $P\varrho$ ва TS -диграммда турли политропик процессларнинг эгри чизиқлари чизилган.

Курсткичи $n=k$ бўлган политропа тенгламаси Пуассоннинг адиабата тенгламасига айланади:

$$P\varrho^k = const;$$

Термодинимик тизим сифатида идеал газ қабул қилинса, политроп жараёнида бажарилган иш тенгламасининг босим ва ҳажм билан боғланган ифодасини идеал газнинг тенгламасидан фойдаланиб, қўйидаги кўринишга келтириш мумкин:

$$l = \frac{1}{n-1}(P_1V_1 - P_2V_2) \quad (4.17)$$

Политроп жараённи амалга ошириши учун керак бўлган иссиқлик миқдори

$$q = C(T_2 - T_1) \quad (4.18)$$

Бу ерда C -политроп жараённи иссиқлик сифими.

Политроп жараён энтропиясининг ўзгарши қўйидагига тенг

$$S_2 - S_1 = C_V(n-k)\ln\frac{V_1}{V_2} \quad \text{ёки} \quad S_2 - S_1 = \frac{C_V}{n}(n-k)\ln\frac{P_2}{P_1} \quad (4.19)$$

$$S_2 - S_1 = C_V \frac{n-k}{n-1} \ln\frac{T_2}{T_1} \quad (4.20).$$

Мавзуга оид назорат саволлари.

1. Термодинамик жараёнларнинг таърифи.
2. PV -диаграммада жараёнларнинг тасвирланиши.
3. Жараёнларнинг тенгламалари.
4. Ҳар бир жараён учун газнинг ҳажмини ўзгариш ишини ифодаси.
5. Қандай жараён политропли жараён дейилади?
6. Қандай политроп жараёнларда ички энергия ортади, қандайларида камаяди?
7. Нима учун жисмни адиабитли кенгайишида ҳарорат камаяди ва сиқишда ортади?
8. Асосий жараёнлар учун политроп кўрсаткичини миқдори нимага тенг?