

5-МАВЗУ: ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

Кўриладиган масалалар.

1. Термодинамиканиннг иккинчи қонунини моҳияти
2. Айланма жараёнлар ёки цикллари.
3. Термодинамик ф.и.к. ва совитиш коэффициентлари.
4. Карно цикли ва уни хусусиятини тахлили, аналитик ифодаси.

Таянч сўз ва иборалар.

Қонуннинг таърифи; цикллари; термодинамик ф.и.к.; Карно цикли; аналитик ифодаси.

1. Термодинамиканиннг иккинчи қонуни моҳияти.

Термодинамиканиннг биринчи қонуни бирор процесс амалга ошириши туфайли жисм ички энергиясининг ўзгариши, бажарилган иш ва иссиқлик миқдори орасидаги миқдорий боғланишни аниқлайди. Лекин процесс содир бўлиши ёки бўлмагани ва қайси йўналишда содир бўлиши ҳақида аниқ кўрсатма бермайди.

Термодинамиканиннг иккинчи қонуни жуда кўп тажрибаларнинг умумлаштириш маҳсули сифатида вужудга келган бўлиб, табиатда содир бўладиган процессларнинг амалга ошириши мумкин бўлган йўналишини аниқлайди.

Кундалик кузатиш ва тажрибалар иссиқликни ўз-ўзидан фақат иссиқроқ жисмдан совикроқ жисмга ўтиши мумкинлигини кўрсатади. Иш бошқа тур энергиялари каби осон ва тўлиқ иссиқликга айланиши мумкин. Бунга табиат ҳодисаларидан: ишқаланиш, зарба, тормозланиш ва бошқа ҳодисаларни мисол келтиришимиз мумкин.

Бунга тескари бўлган процесс, яъни иссиқликни ишга айланиши ўз-ўзидан содир бўлмайди. Иссиқлик фақат даврий процесс амалга ошириладиган қурилмалар уч элементдан-иситгич, ишчи жисм ва совиткичдан иборат бўлиб, иссиқ ва совик манбалар орасида температуралар фарқи бўлган пайтдагина ишга айланиши мумкин.

Сади Карно 1824 йилда буғ машинасининг ишини ўрганиб, фақат температуралар фарқи бўлгандагина иссиқликдан механикавий иш олиш учун фойдаланиш мумкинлигини аниқлади.

Термодинамиканиннг иккинчи қонунини умумий кўринишда қуйидагича таърифлаш мумкин: ўз-ўзидан содир бўладиган ҳар қандай процесс қайтмас процессдир. Тўғри ва тескари йўналишларда ўтказилганда система дастлабки ҳолатига қайтмайдиган процесслар қайтмас процесс деб аталади. Иккинчи қонуннинг барча бошқа таърифлари бу умумий таърифнинг хусусий ҳолларидан иборат.

Р. Клаузиус 1850 йилда термодинамиканиннг иккинчи қонунини қуйидагича таърифлади: иссиқлик камроқ қизиган жисмдан кўпроқ қизиган жисмга ташқи иш сарфламай туриб ўз-ўзича ўта олмайди.

В. Томсон 1851 йилда қуйидаги таърифни таклиф этди:двигателга келтирилган иссиқликнинг хамасини бутунлай ишга айлантириб бўлмайди. Бу иссиқликнинг бир қисми температураси пастроқ бўлган ташқи жисмларга ўтади.

М. Планк қуйидаги таърифни таклиф этди: барча иши биронта юкни кўтариш ва иссиқлик манбаини совитишдан иборат бўлган даврий ишлайдиган машина қуриб бўлмайди: Даврий ишлайдиган машина деганда узлуксиз равишда циклик процесда иссиқликни ишга айлантирувчи машинани тушуниш керак.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни куядиган чеклашлар мавжуд бўлмаганда эди, бу ҳол лоақал битта иссиқлик манбаи бўлганида ҳам иссиқлик двигатели қуриш мумкинлигини билдирар эди. Бундай двигатель, масалан, океандаги сувнинг совиши ҳисобига ишлай олган бўлур эди. Шу тарзда ишлайдиган иссиқлик машинасини В.Ф. Освальд ўринли қилиб иккинчи тур абадий двигатель деб атади. Иссиқликнинг даврий такрорланадиган процесда бир қисмигина механикавий ва бошқа турлардаги ишга айланиши мумкин: унинг бошқа қисми мукаррар равишда совиқ манбага берилиши керак. Демак иккинчи тур абадий двигатель қуриб бўлмайди.

2. Айланма жараён ёки цикллар.

Узлуксиз ишлаб турадиган иссиқлик машинасини барпо қилиш учун кўрилган термодинамик жараёнларнинг бирортасидан ҳам фойдаланиб бўлмайди, улар бирор афзалликка эга бўлса ҳам. Машинани узлуксиз ишлашини таъминлаш учун жисмни кенгайишидан сўнг уни сиқиб бошланғич ҳолатига келтириш керак, ундан кейин кенгайиш жараёни қайтарилади. Бундан фойдали иш олиш учун сиқишда бажарилган иш кенгайишда бажарилган ишдан кам бўлиши керак, бундай бўлиши учун сиқиш чизиги кенгайиш чизигидан пастда ётиши керак (5.1 расм). Ишчи жисм ўзининг ҳолатини сиқиш ва кенгайишида ўзгартириб ва даврий равишда бошланғич ҳолатига қайтиб бекик жараён ҳосил қилиши *айланма жараён ёки цикл* дейилади.

Агарда термодинамик жараёнларнинг айримлари тўғри (кенгайиш жараёни) ёки тескари (сиқиш жараёни) бўлса, айланма жараён ёки цикл ҳам тўғри ва тескари бўлиши мумкин.

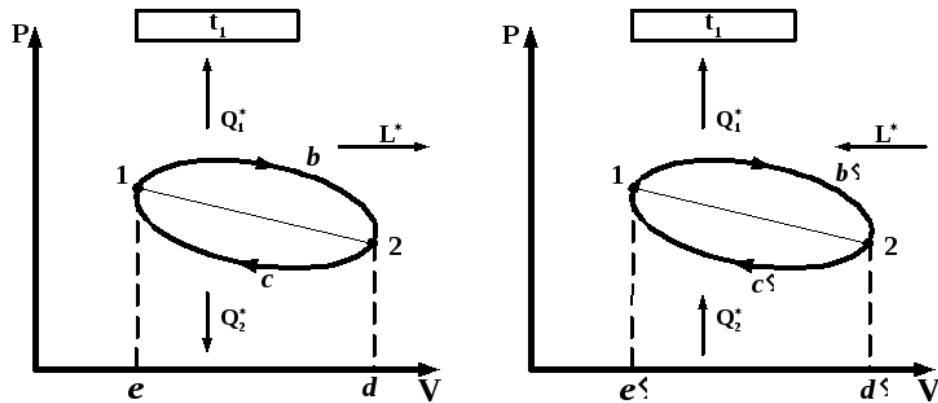
Иш бажариладиган даврий жараёнлар турли иссиқлик машиналарида амалга оширилади.

Иссиқлик машинаси цикли иши $P\theta$ -диаграмада қулай тушунтирилади (5.1-расм). Иссиқлик двигатели циклида (5.1, а-расм). температураси T_1 бўлган иссиқлик манбаидан Q_1 иссиқлик олинади. Температураси T_2 , бўлган совиқ манбага ($T_2 < T_1$) Q_2 иссиқлик берилади, бу иссиқлик миқдорлари фарқи $Q_1 - Q_2$ фойдали ишга айланади $L > 0$ ва у ташқи истеъмолчига узатилади.

Иссиқлик двигателлари процесларининг моҳияти шундан иборатки, бериладиган Q_1 ва олинадиган Q_2 иссиқлик миқдорларининг тенг бўлмаслиги, кенгайишда олинадиган ва сиқишга сарфланадиган ишлар миқдорини бир-биридан

фарқ қилишига олиб келади. Бунда кенгайиш иши ҳамма вақт сиқилиш ишидан катта бўлади.

Йўналиши соат миллари йўналишига мос тушадиган, юқорида кўриб чиқилган айланма цикл тўғри цикл дейилади. У барча иссиқлик двигателлари учун умумийдир. Иссиқлик двигателларига ички ёнув двигателлари, буғ ва газ турбиналари киради.



5.1-расм. Иссиқлик машиналари цикллари:
а-иссиқлик двигателлари; б-совитиш машиналари.

Диаграммада (5.1-расм). 1в2 йўлда газ Q_1 иссиқлик берилганда кенгайиш иши бажаради ва у 1в2 d1 юза билан аниқланади. 2с1 йўлда газдан Q_2 иссиқлик олинганда e1c2d юза билан аниқланадиган сиқилиш иши сарфланади. 1в2 с юза ташқи истеъмолчига бериладиган L ишни ифодалайди.

Иссиқлик двигателларининг самарадорлик даражаси термик фойдали иш коэффициенти η_t билан аниқланади. Цикл ишининг ишчи жисмга, циклда берилган иссиқлик миқдорига нисбати циклнинг термик фойдали иш коэффициенти деб аталади:

$$\eta_t = \frac{L}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (5.1)$$

Термик ф.и.к. у ёки бу циклнинг такомиллашганлик даражасини характерлайди: η_t қанчалик катта бўлса, бир хил иссиқлик берилганда, шунчалик кўп иш бажарилади, яъни цикл шунчалик мукамал бўлади.

Совитиш машинаси циклида (4.1, б-расм). температураси паст T_2 бўлган совиқ манбадан Q_2 иссиқлик олиниб, температураси T_1 бўлган иссиқ манбага Q_1 ва циклда келтирилган иш L га эквивалент бўлган Q_1 иссиқлик берилади. Совитиш машиналари цикли тескари цикл дейилади ва йўналиши соат миллари йўналишига тескари бўлади. Тескари циклни амалга ошириш натижасида иссиқлик, совиқ манбадан олиниб иссиқ манбага берилади.

Совитиш машиналарининг самарадорлиги совитиш коэффициенти деб аталадиган ва совиткичдан олинган иссиқлик миқдорини циклни амалга ошириш учун ташқи жисмлар бажарган ишга нисбати тарзида ифодаланувчи катталиқ билан аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{L} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (5.2)$$

Совитиш коэффиценти қиймати бир бирлик иш сарфлаш натижасида совиткичдан қанча миқдорда иссиқлик олинишини ифодалайди.

3. Карно цикли ва уни хусусиятини тахлили, аналитик ифодаси.

Реал цикларнинг ҳаммаси-қайтмас жараёндин, шунинг учун бу циклда ишлайдиган иссиқлик машинилари ҳам қайтмас циклар бўлиб ҳисобланади, демак нотурғун цикл.

Бундай цикларнинг тадқиқотини соддалаштириш графикда тасвирлаш мумкин бўлиши учун улар турғун жараёнлардан ташкил этиши керак.

Иссиқлик двигателнинг Карно-цикли-қайтар, яъни турғун айланма жараён. Икки иссиқлик манбаи орасида ўзгармас ҳароратда (T_1 иссиқлик берувчи ва T_2 -иссиқлик қабул килувчи) ва ишчи жисм-идеал газ билан циклни содир қилади.

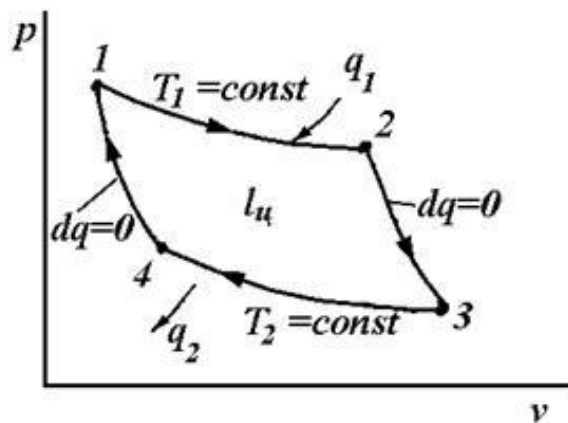
Карно цикли икки изотермадан ва икки адиабатдан ташкил топган ва қуйидаги тартибда кечади (5.3-расм).

Иссиқлик манбаидан q_1 , иссиқлик бериш билан 1-2 изотермик кенгайиш.

Газнинг ҳароратини T_1 дан T_2 гача пасайишида 2-3 адиабатик кенгайиш.

Совиткичга q_2 иссиқликни бериш билан 3-4 изотермик сиқиш.

Газнинг ҳароратини T_2 дан T_1 гача кўтаришда 4-1 адиабатик сиқиш.



5.3-расм.

Карно цикли қуйидагича кечади. 1 нуқтада газни кўрсаткичлари P_1, V_1, T_1 деб белгиланади. Бу вақтда ишчи жисм ҳарорати T_1 бўлган иссиқлик берувчи билан боғланади. Поршенни ўнга қараб силжишида цилиндрдаги газнинг босими камаяди, солиштирма ҳажми ортади. Поршен 2 нуқтага келгунча келтирилган ходиса давом этади. 2 нуқтада кўрсаткичлари P_2, V_2, T_2 бўлади. Бу жараёнда ҳарорат ўзгармас бўлади. Чунки ишчи жисмни ва иссиқлик берувчини ҳарорати 1-2 кенгайиш жараёнида бир ҳил. Шундай қилиб, 1-2 жараён изотермик жараён бўлади. Бу жараёнда иссиқлик берувчидан ишчи жисмга q_1 солиштирма иссиқлик ўтади.

Цилиндр 2 нуқтада ташқи муҳит билан тўлиқ изоляция қилинади, поршенни ўнга силжишида босимни кейинчалик камайиши 2-3 адиабат бўйича кечади, яъни ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмасдан кечади. Поршен ўнг тамондаги чекка нуқтага (3) келганда кенгайиш жараёни тугайди, газни босими ва солиштирма ҳажми P_3, V_3 га тенглашади, ҳарорат эса T_2 гача камаяди, иссиқлик қабул қилувчини ҳароратига тенглашади. Поршенинг бу ҳолатида изоляғия олиниб, цилиндрдаги ишчи жисм иссиқлик қабул қилувчи билан боғланади. Агарда поршенга таъсир қилаётган босимини оширсак, ишчи жисмни ҳарорати T_2 ўзгармаган ҳолда поршен чапга силжайди. Демак бу сиқиш жараёни изотермик бўлади. Бу жараёнда солиштирма иссиқлик q_2 ишчи жисмдан иссиқлик қабул қилувчига ўтади.

Поршен чапга (ҳаракати) кўчиши натижасида кўрсаткичлари P_4, V_4 , ва T_2 бўлган 4 нуқтада иссиқлик қабул қилувчидан ажралади.

Ишчи жисмни кейинчалик сиқилиши 4-1 адиабат бўйича ҳароратни кўтарилиши билан кечади. Иссиқлик қабул қилувчини ишчи жисмдан ажралган вақтидаги нуқтани шундай қабул қилиш керакки бунда поршенни чап чекка нуқтага келиши таъминлансин яъни-ишчи жисмни кўрсаткичларини бошланғич қийматлари P_1, V_1, T_1 бўлган ҳолатга.

Ихтиёрий циклнинг ифодаси $\eta_1 = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$ га изотермик жараённинг q_1 ва q_2 ларнинг қийматлирини ўрнига кўйиб Карно циклининг термик ф.и.к. оламыз.

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Демак Карно циклининг термик ф.и.к. цикл кечадиган ҳароратларнинг нисбатига боғлиқ экан.

Карнонинг регенератив цикли.

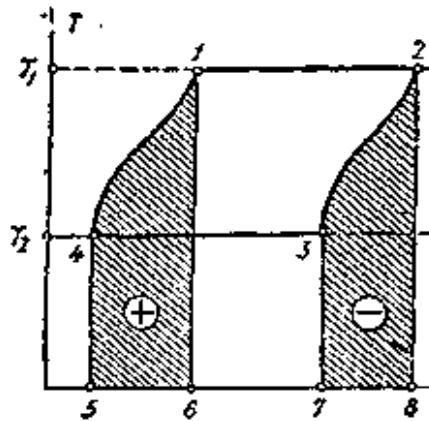
Иссиқлик двигателлари цикларининг яна битта муҳим ҳилини анализ қиламыз. 5.4-расмдаги $T-S$ диаграммада тасвирланган ва иккита изотерма ҳамда иккита ихтиёрий эквидистант эгри чизиқлардан иборат қайтар цикли кўриб чиқамиз.

4-1 ва 2-3 эгри чизиқлар эквидистантдир ва бу эгри чизиқларни мос бўлган қайтар жараёнларни амалга ошириш учун кўп сонли циклик манбалари бўлиши зарур. 2-15 жараёнда иш жисмидан иссиқлик олинади (-) бу иссиқлик миқдори 2-8-7-3-2 юза билан аниқланади ва 4-1 жараёнда иш жисмига келтириладиган (+) иссиқликка тенг бўлади, бу иссиқлик миқдори эса бир хил катталиқдаги 1-5-6-4-1 юза билан аниқланади. Иссиқлик манбаларини регенераторлар деб аталадиган иссиқлик манбаларига алмаштириш мумкин, бу регенераторлар 4-1 жараёнда иссиқлик манбаларига 2-3 жараёнда иш жисмдан қайтиб қелган иссиқликнинг ўзини беради. Циклнинг содир бўлиши натижасида чексиз кўп сонли регенераторлардан ҳар кайсиси пировардида иссиқлик олмайди ва иссиқлик бермайди. Цикл ичида иш жисмга келтирилган $Q_1 = T_1(S_2 - S_1)$ иссиқлик 1-2-8-6-1 юза билан, олинадиган $Q_2 = T_2(S_3 - S_4)$ иссиқлик 3-2-6-5-4-3 юза билан тасвирланади. 4-1 ва 3-2 эгри чизиқлар эквидистант бўлганлигидан

$$S_2 - S_1 = S_3 - S_4 \quad \text{бундан}$$

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \eta_1^{k-p, K_u}$$

Кўриб чиқилган цикл иссиқликни тўла регенерағиялаш цикли ёки регенератив цикл деб аталади. Юза (+) нинг юза (-) га нисбати билан аниқланадиган регенерағия даражаси бу циклда бирга тенг; регенерағия даражаси бирдан кичик бўлса, цикл чала регенерағияли цикл деб аталади. Регенерағиялаш даражасининг ортиши циклни Карно циклига яқинлаштиради ва кўриб чиқилган ҳолдан кўринишича, чегарада η_1^{k-p, K_m} бўлади.

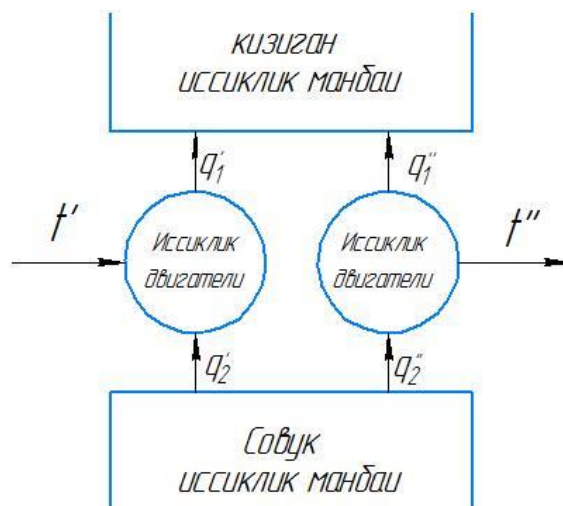


5.4-расм.

Карно назарияси.

Иккита иссиқлик манбаи орасида амалга ошириладиган қайтар циклниң термик ф.и.к. бу циклни амалга оширишда фойдаланилган иш жисмининг хоссасига боғлиқ бўлмайди.

Бу теорема тескарисидан исбот қилинади. Иссиқлик двигателиниң биронта иш жисми 1 ёрдамида иккита иссиқлик манбаи орасида амалга ошириладиган қайтар циклни кўриб, чиқамиз: бу циклниң термик ф.и.к. ни η'_T билан белгилаймиз. Шундан кейин иссиқлик двигателиниң бошқа иш жисми ёрдамида худди ўша иссиқлик манбалари орасида амалга ошириладиган қайтар циклини кўриб чиқамиз; бу двигател циклиниң термик ф.и.к. (уни η''_T орқали белгилаймиз) биринчи двигател циклиниң термик ф.и.к. идан фарқ қилади деб фараз этамиз бунда аниқлик учун $\eta''_T > \eta'_T$ бўлади деб ҳисоблаймиз.



5.5-расм.

Энди, иккинчи двигател тўғри циклни амалга оширмоқда, яъни иссиқ манбадан Q_1'' иссиқликни олиш ва совуқ манбага Q_2'' иссиқликни бериш ҳисобига $l_{\text{ц}}''$ иш бажармоқда деб фараз қилайлик. Бу билан бир йўла худди шу иссиқлик манбалари орасида бириичи двигател тескари циклни амалга оширмоқда, яъни бирор ташқи манбадан $l_{\text{ц}}$ иш келтирилиш ҳисобига совуқ манбадан Q_2' иссиқликни олиб, иссиқ манбага $Q_1' = l_{\text{ц}}' + Q_2'$ иссиқлик узатади. Айнан бир ҳил иссиқлик манбалари орасида амалга ошириладиган бу циклларнинг тизими 6.1-расмда келтирилган. Агар бу двигателлардан бирининг циклида қатнашаётган иш жисми миқдори берилган бўлса, у ҳолда, бошқа двигателдаги иш жисми миқдорини Q_1'' иссиқликка тенг бўладиган қилиб танлаш мумкин. Термик ф.и.к. нинг циклда қатнашаётган иш жисми миқдорига мутлақо боғлиқ эмаслиги тушунарли - у, 1 кг иш жисми иштирок этадиган цикл учуи ҳам 100 кг иш жисми иштирок этадиган цикл учун ҳам бир ҳил бўлади.

Биринчи двигател циклида иш жисмига ташқаридан келтириладиган ишга мувофиқ қўйидагига тенг:

$$l_{\text{ц}}' = \eta_T' Q_1'$$

Иккинчи двигател циклида бажариладиган иш қўйидаги тенг:

$$l_{\text{ц}}'' = \eta_T'' Q_1''$$

Биз шартланиб олганимиздек

$$\eta_T'' > \eta_T' \quad Q_1'' = Q_1'$$

бўлганлигидан у ҳолда, бинобарин

$$l_{\text{ц}}'' > l_{\text{ц}}' \text{ ёки, худди шунинг ўзи}$$

$$l_{\text{ц}}'' - l_{\text{ц}}' = \Delta l \text{ бўлади.}$$

Бу ерда Δl -иккинчи двигател циклида олинган иш миқдорининг биринчи двигател циклида ташқаридан келтирилган иш миқдориадан ортиқлиги.

Биринчи ва иккинчи двигателлар циклининг термик ф.и.к. ифодаларини таққослашдан

$$\eta'_T = \frac{Q'_1 - Q'_2}{Q'_1} \quad \text{ва} \quad \eta''_T = \frac{Q''_1 - Q''_2}{Q''_1}$$

$\eta''_T > \eta'_T$ тенгсизликни ҳисобга олиб қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{Q''_1 - Q''_2}{Q''_1} > \frac{Q'_1 - Q'_2}{Q'_1} \quad \text{энди} \quad Q'_1 = Q''_1 \quad \text{бўлганлигидан}$$

$$Q''_1 - Q''_2 > Q'_1 - Q'_2 \quad \text{ва} \quad Q'_2 > Q''_2 \quad \text{ларга эга бўламиз.}$$

Бинобарин тескари циклда совуқ манбадан олинган иссиқлик миқдори тўғри циклини амалга ошириш натижасида совуқ манбага берилган иссиқлик миқдорига қараганда кўп бўлади. Иссиқ манбага келганда $Q'_1 = Q''_1$ бўлганлигидан иссиқ манбада (запас) жамғарилган энергия миқдори ўзгармайди. Шундай қилиб, биз қуйидаги ҳулосага келамиз: кўриб чиқилаётган иккита-тўғри ва тескари қайтар цикллар амалга оширилиши натижасида совуқ манбадан иссиқлик ($\Delta Q = Q'_2 - Q''_2$) олинади ва бунда шу иссиқлик миқдорига эквивалент бўлган иш ($\Delta l = \Delta l'' - \Delta l'$) бажарилади, ваҳоланки, иссиқ манбанинг иссиқлик ҳолатида ҳеч қандай ўзгаришлар содир бўлмайди.

Бу ҳулоса термодинамиканинг иккинчи қонунининг Планк берган таърифига тескаридир. Бинобарин, биз кўриб чиқаётган турли иш жисмлари билан айнан бир хил иссиқлик манбаларининг орасида амалга оширилади. Кўриб чиқаётган қайтар цикллар термик ф.и.к. ининг катталиги турлича бўлади деб дастлабки қилган фаразимиз нотўғри бўлиб чиқди. Шундай қилиб Карно назарияси исботланди.

Мавзу оид назорат саволлари.

1. Айланма циклда берилган иссиқликни ҳаммасини ишга айлантириш мумкинми?
2. Термодинамиканинг иккинчи қонунини асосий таърифи.
3. Иссиқликни ишга узлуксиз айлантириш учун қандай шароит керак бўлади?
4. Цикл ёки айланма жараён деб нимага айтилади?
5. Карно цикли қандай жараёнлардан ташкил топган?
6. Карнонинг циклини ф.и.к. бирга тенг бўлиши мумкинми?
7. Карнонинг тескари цикли бўйича қандай машиналар ишлайди?
8. Карно назариясини моҳияти.