

§ 15. Цеплавая рухавікі. Прынцып дзеяння цеплавых рухавікоў і іх ККД. Экалагічныя праблемы выкарыстання цеплавых рухавікоў

Людзі даўно заўважылі, што пры выкананні механічнай работы ўнутраная энергія цел можа змяняцца, і навучыліся гэта выкарыстоўваць. Напрыклад, можна сагрэць рукі, паціраючы далоні адна аб адну, або здабыць агонь трэннем аднаго кавалка дрэва аб другі. Значна больш часу спатрэбілася чалавецтву, каб навучыцца выкарыстоўваць змяшэнне ўнутранай энергіі цел для выканання механічнай работы. Толькі ў другой палове XVIII ст., параўнальна нядаўна па гістарычных мерках, з'явіліся першыя практычна карысныя ўніверсальныя прылады для ажыццяўлення гэтай мэты — паравыя машыны. Вынаходства паравой машыны, а пасля і рухавіка ўнутранага згарання мела выключна важнае значэнне. Цяпер немагчыма ўявіць наша жыццё без аўтамабіляў, самалётаў, караблёў і іншых складаных канструкцый, у якіх змяшэнне ўнутранай энергіі паліва пры згаранні і яго акісляльніка часткова пераўтвараецца ў механічную работу.

Незваротнасць працэсаў у прыродзе. Першы закон тэрмадынамікі дапускае самаадвольны пераход энергіі як ад больш нагрэтага цела да менш нагрэтага, так і наадварот. Мае значэнне толькі тое, каб памяншэнне ўнутранай энергіі аднаго цела было роўнае павелічэнню ўнутранай энергіі другога цела. На самай справе самаадвольны пераход энергіі ад менш нагрэтага да больш нагрэтага цела ў прыродзе не адбываецца. Напрыклад, немагчыма назіраць, каб пры апусканні халоднай лыжкі ў гарачы чай лыжка ахалоджвалася яшчэ больш, перадаючы пэўную колькасць цеплаты гарачаму чаю. Як вы не раз пераконваліся на практыцы, заўсёды пэўная колькасць цеплаты самаадвольна пераходзіць ад гарачага чаю да халоднай лыжкі, пакуль у сістэме «чай — лыжка» не ўстанавіцца цеплавая раўнавага з аднолькавай тэмпературай ва ўсіх частках сістэмы.

Сцвярджаючы, выказанае Р. Клаўзіусам у 1850 г. пра тое, што немагчымая самаадвольная перадача колькасці цеплаты ад менш нагрэтага цела да больш нагрэтага, атрымала назву *другі закон тэрмадынамікі*.

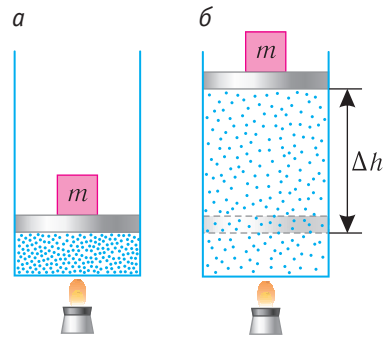
Другі закон тэрмадынамікі канстатуе той факт, што *колькасць цеплаты самаадвольна можа пераходзіць толькі ад больш нагрэтых цел да менш нагрэтых*.

Гэты навуковы факт і вызначае адзіна магчымы напрамак самаадвольнага праходжання цеплавых працэсаў — яны ідуць у бок да стану цеплавой раўнавагі.

Цеплавая рухавікі.

Цеплавая рухавікі — рухавікі, у якіх адбываецца ператварэнне часткі ўнутранай энергіі паліва пры згаранні ў механічную работу.

У якасці спрошчанай мадэлі цеплавога рухавіка разгледзім цыліндр, у якім знаходзіцца газ (паветра) пад поршнем. Змесцім на поршань цэла масай m і будзем награвець газ у цыліндры (мал. 84, а). Ціск газу ўзрастае, поршань пачынае рухацца і падывае цэла на пэўную вышыню Δh (мал. 84, б). Пры гэтым аб'ём газу павялічваецца, гэта значыць сіла ціску газу выконвае работу ($A > 0$). Аднак у дадзеным выпадку прылада прыдатная толькі для аднаразовага выканання работы, таму такія прылады не знаходзяць прымянення.

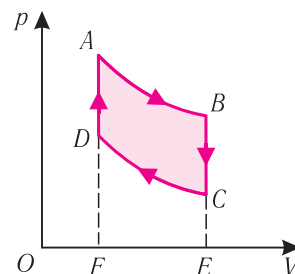


Мал. 84

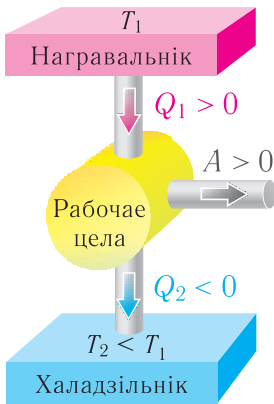
Рабочае цэла — цэла, якое выконвае работу пасля атрымання колькасці цеплаты Q_1 ад **награвальніка**, што знаходзіцца пры тэмпературы T_1 , і павінна ў канчатковым выніку вярнуцца ў зыходны стан, каб зноў пачаць такі самы працэс. Такім чынам, **першы прынцып дзеяння цеплавых рухавікоў** — цыклічнасць (бесперапыннасць) іх работы.

Для вяртання поршня ў зыходнае становішча газ неабходна сціснуць да першапачатковага аб'ёму. Пры гэтым знешняя сіла выконвае работу па сцісканні. Але калі сцісканне будзе адбывацца пры той жа тэмпературы, што і расшырэнне газу, то работа знешніх сіл будзе роўная работе сілы ціску газу пры яго расшырэнні. У выніку поўная работа газу за адзін цыкл (расшырэнне — сцісканне) будзе роўная нулю. Таму **другі прынцып дзеяння цеплавых рухавікоў** — сцісканне газу павінна адбывацца пры больш нізкай тэмпературы T_2 , чым яго расшырэнне (мал. 85). У гэтым выпадку поўная работа газу за цыкл дадатная ($A > 0$) і лікава роўная плошчы фігуры $S_{ABCD} = S_{ABEF} - S_{DCEF}$.

Такім чынам, перад сцісканнем рабочае цэла неабходна ахаладзіць. Гэта ажыццяўляецца шляхам перадачы колькасці цеплаты Q_2 трэцяму цэлу — **халадзільніку**. Са сказанага вынікае, што для работы цыклічнага цеплавога рухавіка, акрамя



Мал. 85



Мал. 86



нагрэвальніка і рабочага цела, неабходная наяўнасць халадзільніка.

Схема цеплага рухавіка прыведзена на малюнку 86. Цеплавы рухавік складаецца з нагрэвальніка, рабочага цела (як правіла, газ) і халадзільніка (атмасфера або вада пры тэмпературы навакольнага асяроддзя — каля 300 К). Энергія, якая выдзяляецца пры згаранні паліва ў нагрэвальніку, перадаецца рабочаму целу (газу) шляхам цеплаперадачы. Пры расшырэнні газу частка яго ўнутранай энергіі ідзе на выкананне работы. Некаторая колькасць цеплаты непазбежна перадаецца халадзільніку.

Каэфіцыент карыснага дзеяння (ККД) цеплага рухавіка — адносіны карысна выкарыстанай энергіі $E_{\text{карысн}}$ да агульнай колькасці энергіі E , атрыманай сістэмай:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{E_{\text{карысн}}}{E}.$$

Вызначаны такім чынам ККД цеплых рухавікоў называюць *эфектыўным ККД*. Пры гэтым $E = Q_{\text{поўн}}$, дзе $Q_{\text{поўн}}$ — колькасць цеплаты, якая выдзяляецца пры поўным згаранні паліва.

Ступень дасканаласці пераўтварэння пэўнай часткі ўнутранай энергіі нагрэвальніка ў механічную работу, што адбываецца ў цыліндрах цеплага рухавіка, характарызуюць *тэрмічным (тэрмадынамічным) каэфіцыентам карыснага дзеяння*.

Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплага рухавіка — адносіны работы $A_{\text{ц}}$, якая выконваецца рабочым целам за цыкл, да колькасці цеплаты Q_1 , атрыманай ім ад нагрэвальніка:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{A_{\text{ц}}}{Q_1}.$$

Калі Q_2 — колькасць цеплаты, аддадзенай рабочым целам халадзільніку ($Q_2 < 0$), то $A_{\text{ц}} = Q_1 + Q_2 = Q_1 - |Q_2|$ і

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}. \quad (15.1)$$

З формулы (15.1) вынікае, што тэрмічны ККД цеплавога рухавіка залежыць ад працэсаў, у якіх удзельнічае рабочае цела, і заўсёды меншы за адзінку.

Рэальныя цеплавые рухавікі маюць наступныя сярэднія значэнні тэрмічнага ККД: дызельны рухавік — 40 %; газатурбінныя ўстаноўкі — 25–30 %; паравая турбіна — 40 %.

У аўтамабільных рухавіках унутранага згарання эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння вызначаюць па эксперыментальнай механічнай магутнасці P рухавіка і колькасці паліва, якая спальваецца за адзінку часу. Так, калі за прамежак часу Δt спалена паліва масай m , якое мае ўдзельную цеплату згарання q , то

$$\eta_{э} = \frac{P\Delta t}{qm}.$$

Значэнне цеплавых рухавікоў і экалагічныя праблемы іх выкарыстання. Найбольшае значэнне мае выкарыстанне цеплавых рухавікоў у энергетыцы і на транспарце. Цеплавые рухавікі — паравыя турбіны (мал. 87) — ставяць на цеплавых і атамных электрастанцыях, дзе энергія пары ператвараецца ў механічную энергію ротараў генератараў электрычнага току. У першым выпадку пару высокай тэмпературы атрымліваюць за кошт згарання паліва, а ў другім — за кошт энергіі, якая выдзяляецца падчас ядзерных рэакцый.

Вынаходства рухавіка ўнутранага згарання адыграла велізарную ролю ў аўтамабілебудаванні, ва ўдасканаленні сельскагаспадарчай і будаўнічай тэхнікі. Карбюратарныя рухавікі ўнутранага згарання ўстанаўліваюць на аўтамабільях, матацыклах, верталётах і самалётах, дызельныя (мал. 88, а) — на цеплаходах, цеплавозах, трактарах, магутных аўтамабільях. Стварэнне рэактыўнага рухавіка (мал. 88, б) дазволіла падняць самалёты на вялікую вышыню, павялічыць скорасць і далёкасць іх палётаў.



Мал. 87

а



б



Мал. 88

Аднак інтэнсіўнае выкарыстанне цеплавых рухавікоў у энергетыцы і на транспарце адмоўна ўплывае на навакольнае асяроддзе.

Падчас работы цеплавых рухавікоў у паветра выкідваецца вялікая колькасць гарачай пары або газу, што прыводзіць да цеплага забруджвання атмасферы. Шырокае выкарыстанне розных відаў паліва цягне за сабой павелічэнне ў атмасферы вуглякіслага газу (дыяксід вугляроду CO_2). Злучаючыся з вадзяной парай у атмасферы, вуглякіслы газ утварае вугальную кіслату, якая нават пры малых канцэнтрацыях, выпадаючы ў выглядзе кіслотнага дажджу, за стагоддзі разбурае цэглу, метал, мрамур.

Згаранне паліва на цеплавых электрастанцыях вядзе да назапашвання ў атмасферы чаднага газу (аксід вугляроду CO), які з'яўляецца атрутай для жывых арганізмаў. Напрыклад, пры згаранні 1 т бензіну ўтвараецца 60 кг аксиду вугляроду. Падчас работы аўтатранспарту разам з аксідам вугляроду ў атмасферу трапляюць злучэнні свінцу. Пры гарэнні паліва выкарыстоўваецца кісларод з атмасферы, што прыводзіць да паступовага змяншэння яго канцэнтрацыі ў паветры і, акрамя таго, утварэння аксідаў азоту (NO_x). Раствараючыся ў дажджавой вадзе, яны ператвараюцца ў азотную кіслату, а рэагуючы з разнастайнымі прымесямі, што змяшчаюцца ў паветры, утвараюць таксічныя злучэнні, якія выпадаюць на паверхню вады і сушы з кіслотнымі дажджамі. Гэта выклікае засаленне глебы, адкрытых і падземных вадаёмаў, гібель лясоў, парушэнне хімічнага саставу ў экасістэмах. Акрамя таго, у «кіслай» вадзе лепш раствараюцца такія атрутныя рэчывы, як кадмій, ртуць, свінец, якія знаходзяцца ў глебе і донных адкладах, а гэта ўплывае на чысціню вады, якую спажываюць людзі і жывёлы.

Пры палётах самалётаў і запусках ракет адбываецца разбурэнне азопавага слоя атмасферы, які засцерагае ўсё жывое на Зямлі ад лішку ультрафіялетавага выпраменьвання Сонца.

Вырашэнне праблем, якія ўзнікаюць пры згаранні паліва ў цеплавых рухавіках, вучоныя і канструктары бачаць:

а) у экалагізацыі тэхналагічных працэсаў (стварэнне безадходных і малаадходных тэхналогій, якія выключаюць пападанне ў атмасферу шкодных рэчываў); ачыстцы газавых выкідаў у атмасферу (улоўліванне і перапрацоўка вуглякіслага газу, аксідаў азоту і іншых таксічных рэчываў);

б) павелічэнні каэфіцыента карыснага дзеяння цеплавых рухавікоў, у прыватнасці, шляхам стварэння ўмоў для найбольш поўнага згарання паліва;

в) замене цеплавых рухавікоў на больш экалагічна чыстыя рухавікі, напрыклад электрычныя.

Дадаткова да пералічанага ў многіх краінах свету ў заканадаўчым парадку прыняты гранічна дапушчальныя нормы ўтрымання таксічных кампанентаў у

выхлапных газах. У Рэспубліцы Беларусь правіламі дарожнага руху забаронена эксплуатацыя аўтамабіляў, утрыманне аксідугляроду ў адпрацаваных газах якіх перавышае 1,5 %. Для выяўлення такіх транспартных сродкаў уведзена сістэма інструментальнага кантролю пры праходжанні дзяржаўнага тэхнічнага агляду.

Рацыянальная арганізацыя аўтамабільнага руху ў гарадах (будаўніцтва скарасных магістралей, дадатковых развязак і эстакад, што спрыяе змяншэнню колькасці святлафораў і ліквідацыі затораў) таксама дазволіць зменшыць шкодныя выкіды ў атмасферу пры эксплуатацыі транспартных сродкаў.



Колькасць цеплаты самаадвольна можа пераходзіць толькі ад больш нагрэтых цел да менш нагрэтых

Рухавікі, у якіх адбываецца ператварэнне часткі ўнутранай энергіі паліва пры згаранні ў механічную работу, называюць цеплавымі рухавікамі

Першы прынцып дзеяння цеплавых рухавікоў — цыклічнасць (бесперапыннасць) іх работы

Другі прынцып дзеяння цеплавых рухавікоў — сцісканне газу павінна адбывацца пры больш нізкай тэмпературы, чым яго расшырэнне

Цеплавы рухавік складаецца з нагрэвальніка, рабочага цела і халадзільніка

Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплавога рухавіка — адносіны работы, якая выконваецца рабочым целам за цыкл, да колькасці цеплаты, атрыманай ім ад нагрэвальніка:

$$\eta_t = \frac{A_{ц}}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}$$





1. Прывядзіце прыклады найбольш тыповых незваротных працэсаў.
2. Што называюць цеплавым рухавіком? Якія прыныцы пакладзены ў аснову стварэння цеплавых рухавікоў?
3. Для чаго прызначаны нагрэвальнік, халадзільнік і рабочае цела цеплага рухавіка?
4. Ці можа эфектыўны ККД цеплага рухавіка стаць роўны адзінцы, калі трэнне ў частках рухавіка звесці да нуля?
5. Ці можна ахаладзіць паветра ў пакоі, калі адкрыць дзверцы працуючага халадзільніка?



Прыклады рашэння задач

Прыклад 1. Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплага рухавіка $\eta_t = 20\%$. Вызначце работу, выкананую ім за цыкл, калі колькасць цеплаты, перададзена халадзільніку, $Q_2 = -1,2$ кДж.

Дадзена:

$$\eta_t = 20\%$$

$$|Q_2| = 1,2 \text{ кДж} =$$

$$= 1,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$A_{ц} = ?$

Рашэнне. Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплага рухавіка

$$\eta_t = \frac{A_{ц}}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1},$$

дзе Q_1 — колькасць цеплаты, атрыманая рабочым целам ад нагрэвальніка. Тады

$$Q_1 = \frac{|Q_2|}{1 - \eta_t}.$$

$$\text{Такім чынам, } A_{ц} = \eta_t Q_1 = \frac{\eta_t |Q_2|}{1 - \eta_t}.$$

$$A_{ц} = \frac{0,20 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{0,80} = 0,30 \text{ кДж.}$$

Адказ: $A_{ц} = 0,30$ кДж.

Прыклад 2. Кожны з чатырох рухавікоў рэактыўнага самалёта на шляху $s = 5,0 \cdot 10^3$ км развівае сярэдняю сілу цягі $\langle F \rangle = 0,11$ МН. Вызначце аб'ём газу, зрасходаванай на гэтым шляху, калі эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння рухавіка $\eta_s = 24\%$. Шчыльнасць і ўдзельная цеплата згарання газу $\rho = 8,0 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ і $q = 4,3 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ адпаведна.

Дадзена: $s = 5,0 \cdot 10^3 \text{ км} =$ $= 5,0 \cdot 10^6 \text{ м}$ $\langle F \rangle = 0,11 \text{ МН} =$ $= 1,1 \cdot 10^5 \text{ Н}$ $\eta_э = 24\%$ $\rho = 8,0 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $q = 4,3 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Рашэнне. Паводле азначэння, эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння, $\eta_э = \frac{A_{\text{карысн}}}{Q_{\text{поўн}}}$, дзе $A_{\text{карысн}} = 4\langle F \rangle s$ — карысная работа, выкананая ўсімі чатырма рухавікамі самалёта; $Q_{\text{поўн}} = q\rho V$ — колькасць цеплаты, якая выдзяляецца пры поўным згаранні газы на шляху s . Тады $\eta_э = \frac{4\langle F \rangle s}{q\rho V}$, адкуль $V = \frac{4\langle F \rangle s}{\eta_э q\rho}$.
$V = ?$	$V = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot 5,0 \cdot 10^6 \text{ м}}{0,24 \cdot 4,3 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 8,0 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 2,7 \cdot 10^2 \text{ м}^3.$
Адказ: $V = 2,7 \cdot 10^2 \text{ м}^3$.	

Практыкаванне 11

1. За цыкл рабочае цела цеплавога рухавіка атрымлівае ад награвальніка колькасць цеплаты $Q_1 = 800 \text{ Дж}$ і перадае халадзільніку колькасць цеплаты $Q_2 = -600 \text{ Дж}$. Вызначце тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплавога рухавіка.

2. Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплавога рухавіка $\eta_t = 20\%$. Вызначце колькасць цеплаты, якая перададзена рабочаму целу ад награвальніка, калі за цыкл рабочым целам выканана работа $A_{\text{ц}} = 300 \text{ Дж}$.

3. Матацыкл на працягу пэўнага прамежку часу рухаецца са скорасцю, модуль якой $v = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Пры гэтым расход бензіну на шляху $s = 100 \text{ км}$ складае $V_0 = 4,0 \text{ л}$. Вызначце сярэдняю магутнасць рухавіка матацыкла, калі эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння рухавіка $\eta_э = 25\%$. Шчыльнасць і ўдзельная цеплата згарання бензіну $\rho = 7,1 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ і $q = 46 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ адпаведна.

4. Для работы рухавіка электрагенератара, эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння якога $\eta_э = 20,0\%$, падрыхтавана цыстэрна дызельнага паліва аб'ёмам $V = 62,0 \text{ м}^3$. Вызначце, на колькі рабочих дзён хопіць гэтага паліва, калі сярэдняя магутнасць рухавіка падчас работы $\langle P \rangle = 150 \text{ кВт}$ і працягласць рабочага дня рухавіка $t = 7,00 \text{ г}$. Шчыльнасць і ўдзельная цеплата згарання дызельнага паліва $\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ і $q = 42,0 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ адпаведна.



Абагульненне і сістэматызацыя ведаў

АСНОВЫ

Унутраная энергія макраскапічнага цела — алгебраічная сума кінетычнай энергіі цеплавога руху ўсіх часціц, якія ўтвараюць цела, і патэнцыяльнай энергіі іх узаемадзеяння

Змяненне ўнутранай энергіі ідэальнага газу пры пераходзе тэрмадынамічнай сістэмы з аднаго стану ў другі залежыць толькі ад значэнняў параметраў гэтых станаў і не залежыць ад працэсу пераходу

Унутраная энергія і яе змяненне для дадзенай масы ідэальнага аднаатамнага газу

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{3}{2}kTN = \frac{3}{2}kT\nu N_A = \\
 &= \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}pV \\
 \Delta U &= \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \\
 &= \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)
 \end{aligned}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$\begin{aligned}
 p &= \text{const} \\
 Q &= \Delta U + p\Delta V
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \text{const} \Rightarrow \\
 A &= 0 \\
 Q &= \Delta U
 \end{aligned}$$

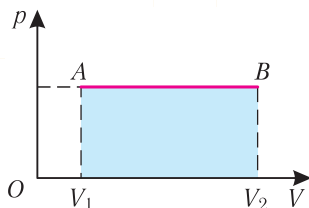
Тэрмічны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплавога рухавіка

$$\eta_t = \frac{A_{ц}}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}$$

ТЭРМАДЫНАМІКІ

Работа, выкананая над разгляданым целам, ёсць работа сіл, прыкладзеных да гэтага цела з боку ўсіх астатніх (знешніх) цел, з якімі яно ўзаемадзейнічае і якія ажыццяўляюць перадачу энергіі

Сіла ціску газу і знешнія сілы выконваюць работу толькі ў працэсе змянення аб'ёму газу. Работа газу лікава роўная плошчы фігуры, абмежаванай графікам залежнасці ціску ад аб'ёму, восьсю OV і прамымі, якія адпавядаюць значэнням аб'ёмаў V_1 і V_2 . Плошча фігуры (работа газу) залежыць ад віду працэсу



Пры ізабарным працэсе ($p = \text{const}$)
 $A = p\Delta V$

Першы закон тэрмадынамікі

Цеплавая рухавікі

Эфектыўны каэфіцыент карыснага дзеяння цеплавога рухавіка

$$\eta_s = \frac{Pt}{qm}$$

Колькасць цеплаты — колькасць унутранай энергіі, якой цела абменьваецца з навакольным асяроддзем пры цеплаабмене — самаадвольным працэсе перадачы энергіі ад цела з большай тэмпературай целу з меншай тэмпературай без выканання работы

$$Q = qm$$

$$Q = cm(T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{п}} = Lm, \\ Q_{\text{к}} = -Lm$$

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m, \\ Q_{\text{кр}} = -\lambda m$$

Цеплаабмен пры пераходзе з аднаго стану ў другі

$$\Delta U = A' + Q$$

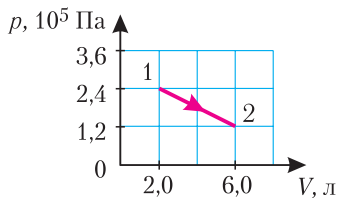
$$T = \text{const} \Rightarrow \Delta U = 0 \\ Q = A$$



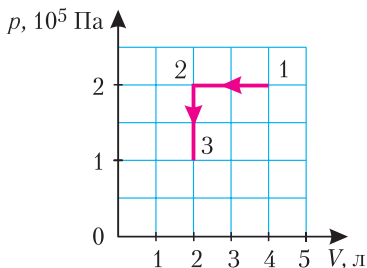
Заданні для самакантролю

1. Вызначце адносіны ўнутранай энергіі неону да ўнутранай энергіі гелію, колькасць рэчыва якіх $\nu_{\text{He}} = 1$ моль і $\nu_{\text{Ne}} = 3$ моль, калі яны знаходзяцца пры аднолькавай тэмпературы.

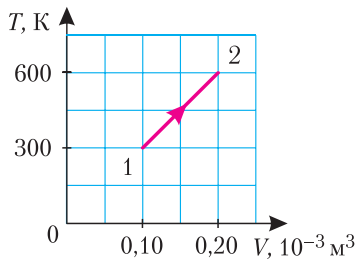
2. На малюнку 89 прыведзены графік працэсу пераходу ідэальнага аднаатамнага газу са стану 1 у стан 2. Вызначце прырашчэнне ўнутранай энергіі газу ў гэтым працэсе.



Мал. 89



Мал. 90



Мал. 91

8. Гелій, узяты ў колькасці $\nu = 2,00$ моль, ізабарна расшыраецца. Пры гэтым сіла ціску газу выконвае работу $A = 7,20$ кДж. Канцэнтрацыя атамаў газу

3. На малюнку 90 прыведзены графік працэсу пераходу ідэальнага аднаатамнага газу пэўнай масы са стану 1 у стан 3. Вызначце адносіны значэнняў унутранай энергіі газу ў пачатковым і канчатковым станах.

4. У балоне знаходзіцца ідэальны аднаатамны газ, колькасць рэчыва якога $\nu = 2,4$ моль, тэмпература $T_1 = 420$ К. У выніку ізагорнага пераходу з аднаго стану ў другі ціск газу зменшыўся ад $p_1 = 860$ кПа да $p_2 = 655$ кПа. Вызначце прырашчэнне ўнутранай энергіі газу.

5. Пры ізабарным сцісканні азоту N_2 знешняя сіла выканала работу $A' = 400$ Дж. Пры гэтым абсалютная тэмпература газу паменшылася ад $T_1 = 480$ К да $T_2 = 300$ К. Вызначце масу азоту.

6. Графік цыклічнага працэсу ў ідэальным газе складаецца з адрэзкаў прамых, якія злучаюць пункты з каардынатамі $A (1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}; 1,5 \text{ л})$, $B (1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}; 4,5 \text{ л})$ і $C (0,60 \cdot 10^5 \text{ Па}; 1,5 \text{ л})$. Вызначце работу, выкананую сілай ціску газу за цыкл.

7. На малюнку 91 прыведзены графік расшырэння ідэальнага газу, узятага ў колькасці $\nu = 1,0$ моль. Вызначце работу, выкананую сілай ціску газу пры яго пераходзе са стану 1 у стан 2.

ў канчатковым стане ў $\alpha = 3,00$ раза меншая, чым у пачатковым, а яго маса не мяняецца. Вызначце пачатковую тэмпературу гелію.

9. На малюнку 92 прыведзены графікі залежнасці тэмпературы ад часу для цвёрдых крышталічных цел A і B . Карысная магутнасць награвальнікаў у абодвух выпадках аднолькавая, а страты энергіі можна не ўлічваць. Выберыце два правільныя сцвярджэнні.

1) Тэмпература цела A расце ў чатыры разы хутчэй, чым тэмпература цела B .

2) Цела A атрымлівае ў два разы большую колькасць цеплаты, чым цела B .

3) Целы A і B могуць складацца з аднаго рэчыва, але маса m_A цела A ўдвая меншая, чым маса m_B цела B .

4) Целы A і B могуць мець аднолькавую масу, але ўдзельная цеплаёмістасць c_A цела A ў цвёрдым стане ўдвая меншая, чым удзельная цеплаёмістасць c_B цела B у цвёрдым стане.

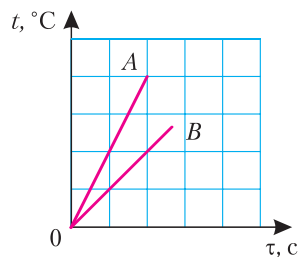
5) Целы A і B могуць мець аднолькавую масу, але ўдзельная цеплаёмістасць c_A цела A ў цвёрдым стане ўдвая большая за ўдзельную цеплаёмістасць c_B цела B у цвёрдым стане.

10. Жалезны асколак падае са стану спакою з вышыні $h = 800$ м. Модуль скорасці руху асколка ў момант падзення на паверхню Зямлі $v = 35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вызначце прырашчэнне тэмпературы асколка за час падзення. Удзельная цеплаёмістасць жалеза $c = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Страты энергіі ў навакольнае асяроддзе не прымаць пад увагу.

11. У цеплаізаляваную пасудзіну з вадой, маса і тэмпература якой $m_B = 1,6$ кг і $t_{0B} = 8,0$ °C адпаведна, апусцілі кавалак лёду масай $m_L = 0,80$ кг. Пасля таго як устанавілася цеплая раўнавага, выявілася, што маса лёду павялічылася на $\Delta m = 20$ г. Вызначце пачатковую тэмпературу лёду. Удзельная

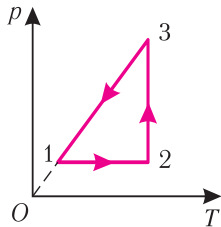
цеплаёмістасць вады $c_B = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; для лёду: удзельная цеплаёмістасць $c_L = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, удзельная цеплата плаўлення $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, тэмпература плаўлення $t_{пл} = 0,0$ °C. Цеплаёмістасць пасудзіны не прымаць пад увагу.

12. У цеплаізаляванай пасудзіне знаходзіцца вада масай $m_1 = 1,2$ кг, тэмпература якой $t = 0$ °C. З пасудзіны адпампоўваюць вільготнае паветра, у выніку чаго вада ў пасудзіне крышталізуецца. Вызначце масу ўтворанага лёду. Удзельная цеплата параўтварэння вады пры тэмпературы $t = 0$ °C складае $L = 2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, а ўдзельная цеплата плаўлення лёду $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.



Мал. 92

13. Пры перадачы ідэальнаму аднаатамнаму газу колькасці цеплаты $Q = 60$ Дж яго тэмпература павялічылася пры пастаянным ціску на $\Delta T = 10$ К. Вызначце колькасць рэчыва газу.



Мал. 93

14. Пры ізобарным расшырэнні гелію масай $m = 20$ г яго аб'ём павялічыўся ў $\alpha = 2,0$ раза. Пачатковая тэмпература гелію $T_1 = 300$ К. Вызначце работу, выкананую сілай ціску газу пры яго расшырэнні, і атрыманую газам колькасць цеплаты.

15. З ідэальным газам пэўнай масы ажыццёўлены працэс, графік якога прыведзены на малюнку 93. Вызначце: а) на якіх участках графіка работа газу дадатная; б) на якіх участках графіка газ атрымліваў энергію, а на якіх — аддаваў. Запоўніце табліцу ў шшытку.

Участак графіка	Работа сілы ціску газу	Колькасць цеплаты	Прырашчэнне ўнутранай энергіі газу
1→2			
2→3			
3→1			



Тэмы практных заданняў да часткі «Малекулярная фізіка»

1. Парадак і хаос у свеце малекул.
2. Роля дыфузіі ў прыродзе.
3. Вымярэнне тэмпературы і залежнасць яе значэння ад знешніх фактараў.
4. Крышталі ў прыродзе і жыцці чалавека.
5. Выпарэнне і кандэнсацыя ў прыродзе.
6. Значэнне выпарэння ў жыцці жывых істот.
7. Вільготнасць паветра і яе ўплыў на здароўе чалавека.
8. Прыродныя з'явы: утварэнне туману і выпадзенне расы.
9. Цеплавыя рухавікі і іх уплыў на навакольнае асяроддзе.
10. Аўтамабільны транспарт і экалогія.
11. Эвалюцыя аўтамабільных рухавікоў.
12. Вечны рухавік: міф ці рэальнасць?

