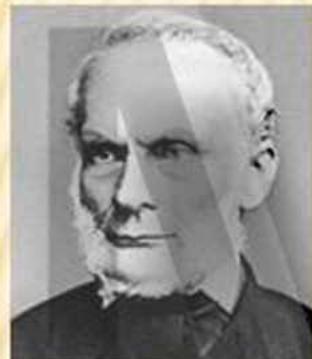


- ❖ По призначенню теплові машини поділяють на теплові двигуни (теплосилові установки) і на холодильні установки.
- ❖ Тепловими двигунами називають непреривно діючі установки, в яких проходить перетворення теплоти в роботу.
- ❖ Холодильними установками називають непреривно діючі установки, які призначені для перенесення теплоти від тіл з меншою температурою до тіл з більшою температурою. В якості робочих тіл в таких установках використовують, як правило, пари низькокиплячих рідин. Безперервний рух теплових машин можна здійснити, якщо робоче тіло буде здійснювати круговий термодинамічний процес або цикл (тобто, робоче тіло безперервно буде проходити через початкові та кінцеві стани).
- ❖ В залежності від характеру корисної дії (ефекту) циклів розрізняють дві групи термодинамічних циклів: прямі (за годинниковою стрілкою) і зворотні (проти...). В прямих циклах, по яких працюють теплові двигуни корисним ефектом являється перетворення теплоти в роботу. В зворотніх циклах відбувається перенесення теплоти від менш нагрітого тіла до більш нагрітого. При цьому затрачується певна робота (енергія).

ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ.

- ❖ Другий закон термодинаміки, доповнюючи перший закон термодинаміки, являється важливим дослідним законом природи і його основна суть заключається у встановлені односторонньої направленості процесів, які відбуваються в природі. Це закон асиметрії природи, який стверджує, що усі природні процеси протікають у напрямку встановлення стану рівноваги. Крім цього, твердження про неможливість отримання роботи за рахунок тіл, які знаходяться в термодинамічній рівновазі, становить основне положення 2-го закону термодинаміки.

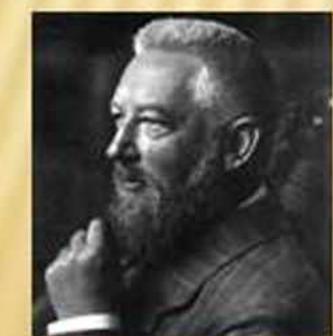
ОСНОВНІ ФОРМУЛЮВАННЯ ДРУГОГО ЗАКОНУ ТЕРМОДИНАМІКИ:



- ❖ Р.Клаузіус (1822-1888): “Теплота не може самочинно переходити від менш нагрітого тіла до більш нагрітого, або – некомпенсований перехід теплоти від тіла з меншою температурою до тіла з більшою температурою – неможливий.”



- ❖ У.Томпсон(1824-1907) (Лорд Кельвін): «Теплоту будь-якого тіла не можливо перетворити в роботу, не виконуючи ніякої іншої дії, крім охолодження цього тіла».



- ❖ В.Освальд (1853-1936): «Не можливо створити вічний двигун 2-го роду».



Л.Больцман (1844-1906): «*Природа намагається до переходу від менш можливих станів до більш ймовірних*».



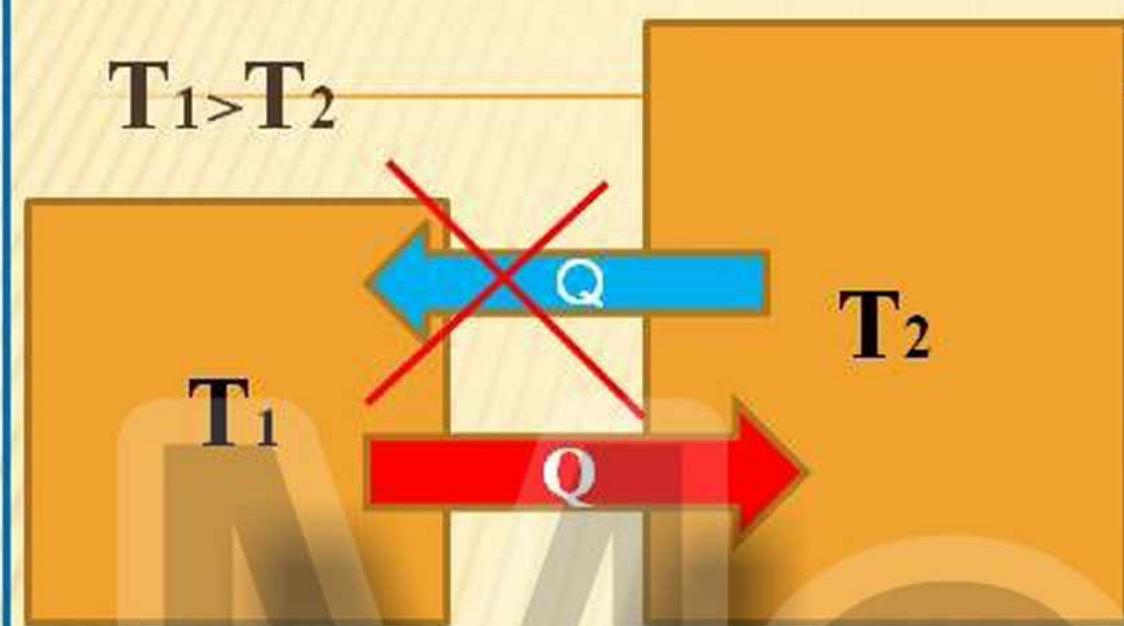
С. Карно (1796-1832): «*Там де є різниця температур - там можливе виконання роботи.*»

- Енергія прагне до розсіювання
- Другий не являється абсолютном законом природи, бо він є дослідним статистичним законом і є справедливим тільки для тіл, які містять велику кількість молекул!!!

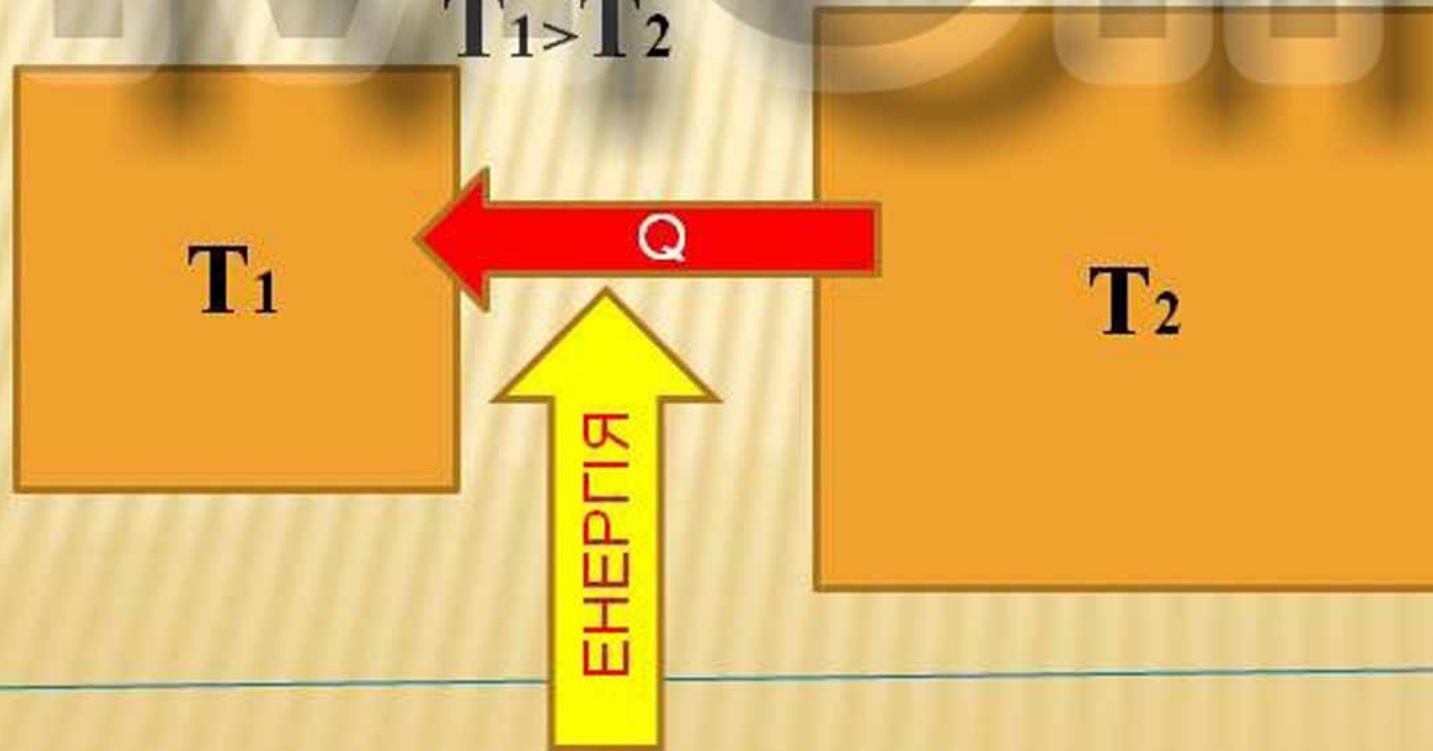
Ізольована
система

Формулювання
Клаузіуса

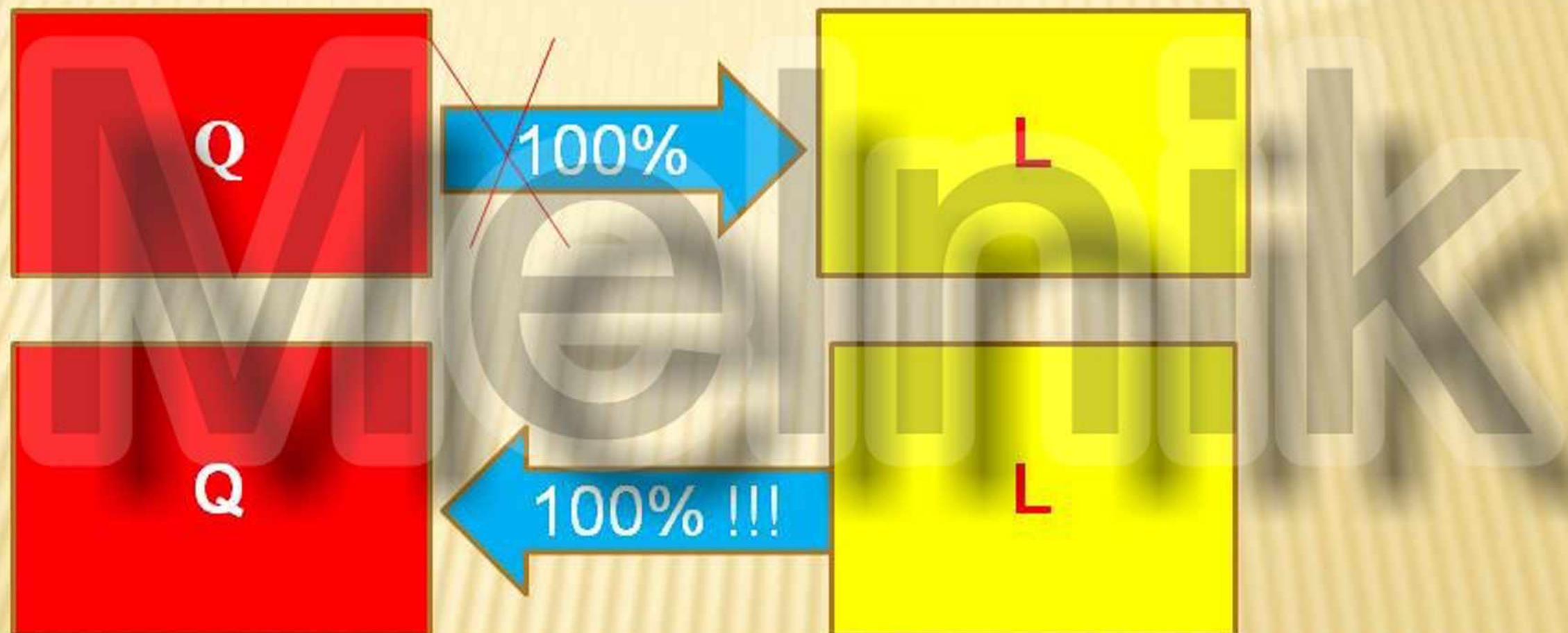
$$T_1 > T_2$$



$$T_1 > T_2$$



- ✖ Теплоту повністю перетворити в роботу неможливо.
- ✖ Робота, через сили тертя, повністю перетворюється (дисипує) в теплоту.



ОБОРОТНІ І НЕОБОРОТНІ ПРОЦЕСИ.

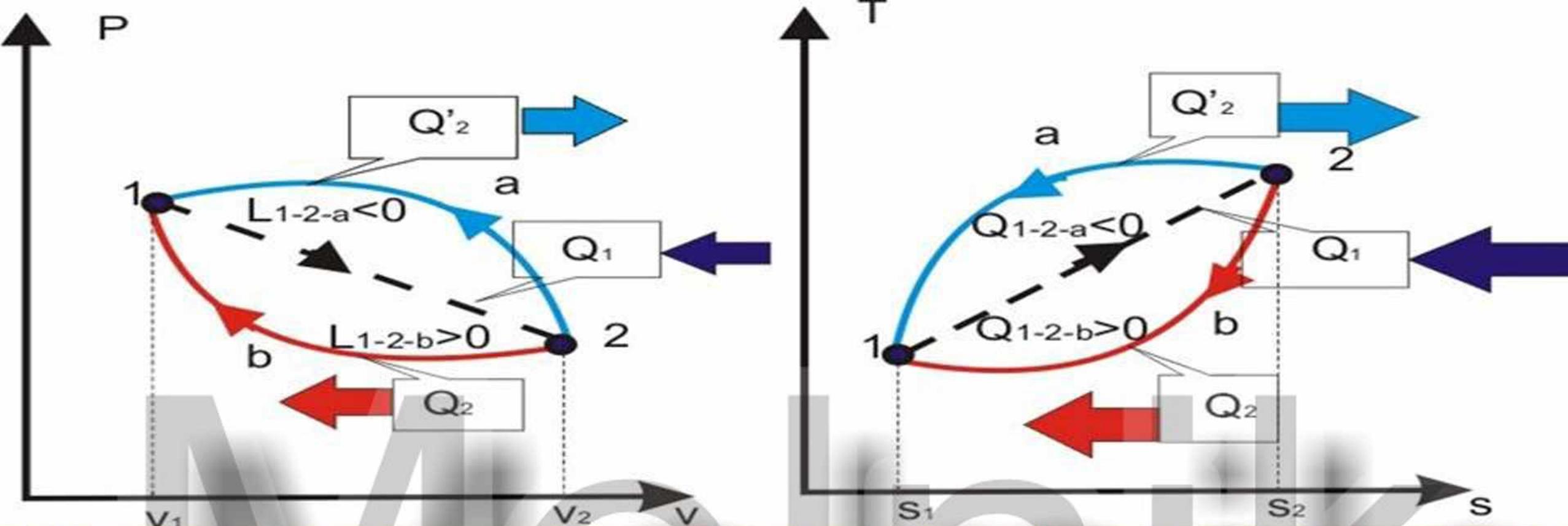
ОБОРОТНІ І НЕОБОРОТНІ ПРОЦЕСИ

- ✖ Оборотним для даної термодинамічної системи називають такий процес, який можна провести в прямому і зворотньому напрямку при умові, що вся термодинамічна система повернеться у початковий стан (або іншими словами: і при цьому ні в системі, ні в навколишньому середовищі не відбудеться ніяких змін). Якщо ця умова не виконується – процес необоротний. Реальні, дійсні процеси, які відбуваються в природі – це необоротні процеси і типовим прикладом такого необоротного процесу може служити процес змішування двох різних газів: після змішування ці гази ніколи самі не зможуть розділитися.
- ✖ Усі нерівноважні процеси являються і необоротними.
- ✖ Якщо хоча б один з процесів циклу являється необоротним, то і сам цикл буде необоротним, незалежно від того чи оборотні усі інші процеси циклу.
- ✖ Ступінь необоротності того чи іншого необоротного процесів може бути різною (напр. тертя з мастилом, та без).
- ✖ Любой реальний термодинамічний процес тим ближчий до рівноважного, чим з меншою швидкістю він відбувається.

- В замкнутих системах необоротні процеси завжди супроводжуються ростом ентропії. У відкритих системах, які можуть обмінюватися енергією або речовиною з навколишнім середовищем, при необоротних процесах ентропія може залишатися постійною або навіть зменшуватися за рахунок обміну ентропією з навколишнім середовищем.
- В ізольованій системі зменшення ентропії неможливе.
- Оборотні (рівноважні) процеси нездійсненні, однак їх вивчення та розгляд досить корисні, бо в деяких випадках реальні процеси можуть бути досить близькими до оборотних і крім цього, оборотність процесу це є певною мірою та границя, до якої може прямувати необоротний процес.

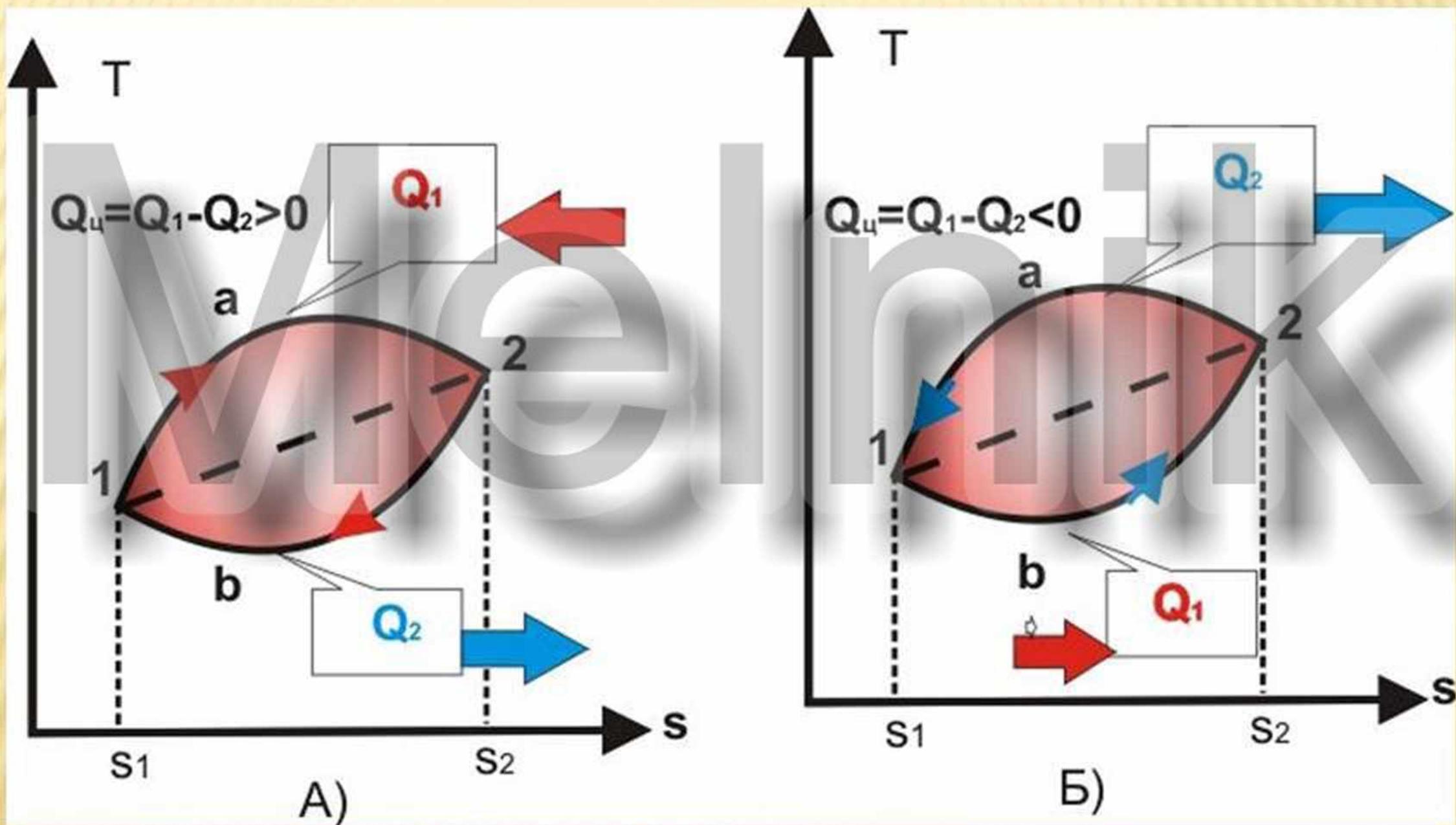
КОЛОВІ ЦИКЛИ.

- ❖ Залежно від призначення цикли бувають прямыми і зворотніми. Прямыми називають цикли в яких виконується робота за рахунок теплоти. За такими циклами працюють усі теплові машини. Зворотні цикли призначені для переносення теплоти від більш холодного тіла до більш гарячого. За такими циклами працюють теплові насоси і холодильні установки.
- ❖ Для здійснення роботи в прямих циклах на одних участках процесу підводиться теплота, а на інших – відводиться. Так як внутрішня енергія являється параметром стану і не змінюється в колових процесах, то вся робота циклу буде здійснюватися згідно з 1 законом термодинаміки за рахунок різниці підведеної та відведеної теплоти.

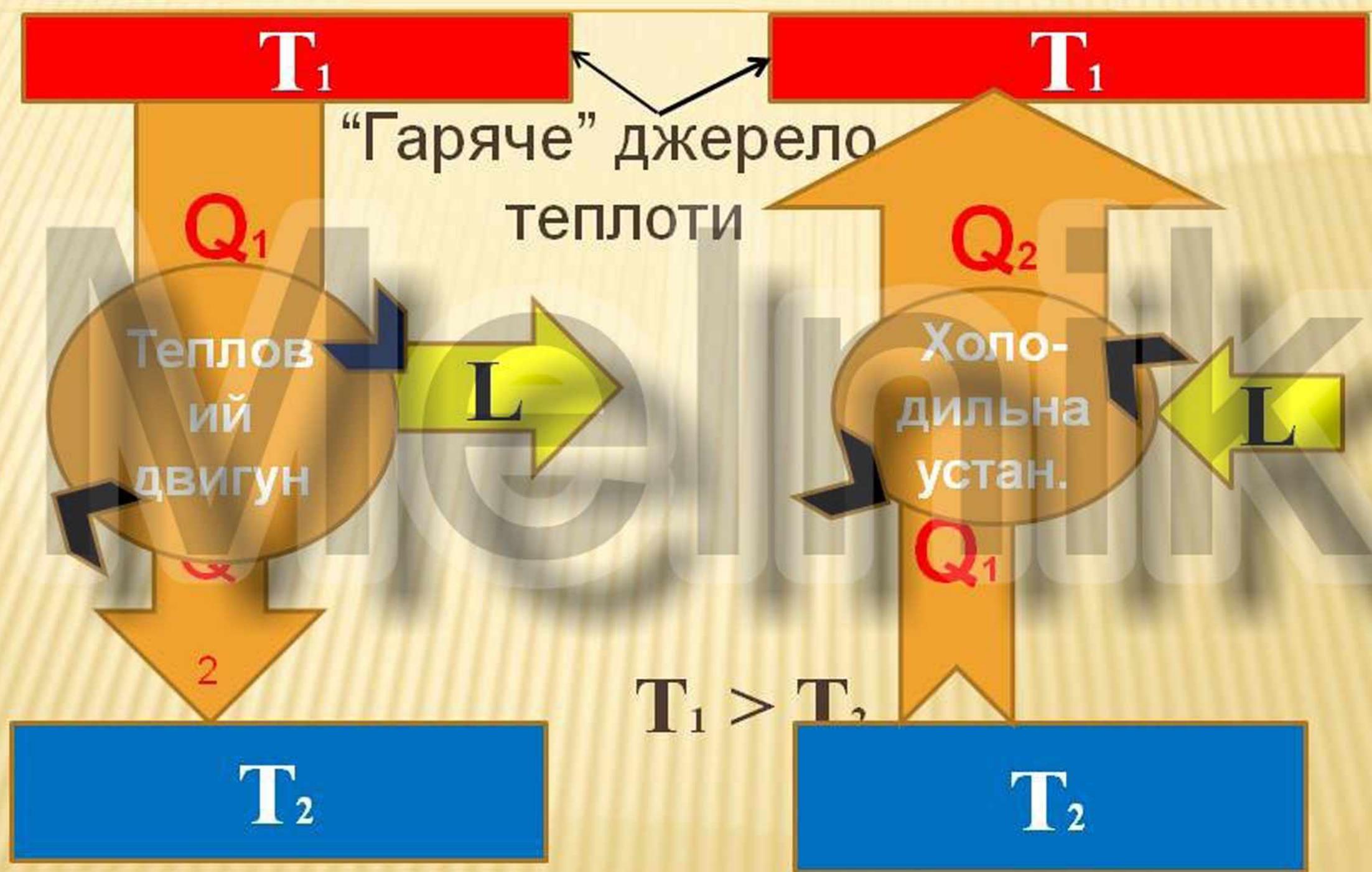


- * 1) лінія розширення 1-2 збігається з лінією стиснення 2-1. Тоді робота стискання($+L$)=роботі розширення($-L$) і сумарна робота $\Delta L = 0$;
- * 2) крива стискання 2-а-1 лежить вище лінії розширення 1-2. При цьому, робота стискання 1-V₁-V₂-2-а-1 буде більшою роботи розширення 1-V₁-V₂-2-1 і сумарна робота процесу буде від'ємною $\Delta L < 0$;
- * 3) крива стискання 2-б-1 лежить нижче лінії розширення і різниця у роботі буде дорівнювати площі 1-2-б-1, тобто, робота процесу буде додатньою. Тобто, тільки в цьому процесі ми зможемо з користю перетворити теплоту в роботу $\Delta L > 0$.
- * Для циклу рівняння 1 закону ТД $\oint \partial Q = \oint dU + \oint \partial L$, а так як $\oint dU = 0$, то $\oint \partial Q = \oint \partial L$ або $\oint Q = Q_1 - |Q_2| = Q_{\text{ц}}$ і $\oint \partial L = \oint pdV = L_{\text{розш}} - L_{\text{стисн}} = L_{\text{ц}}$. Тобто, в роботу перетворилася не вся підведена теплота Q_1 , а різниця між підведеною і відведеною теплотою Q_2 !!!

ПРОТИКАННЯ ПРЯМОГО ТА ЗВОРОТНОГО ЦИКЛІВ НА T-S ДІАГРАМІ

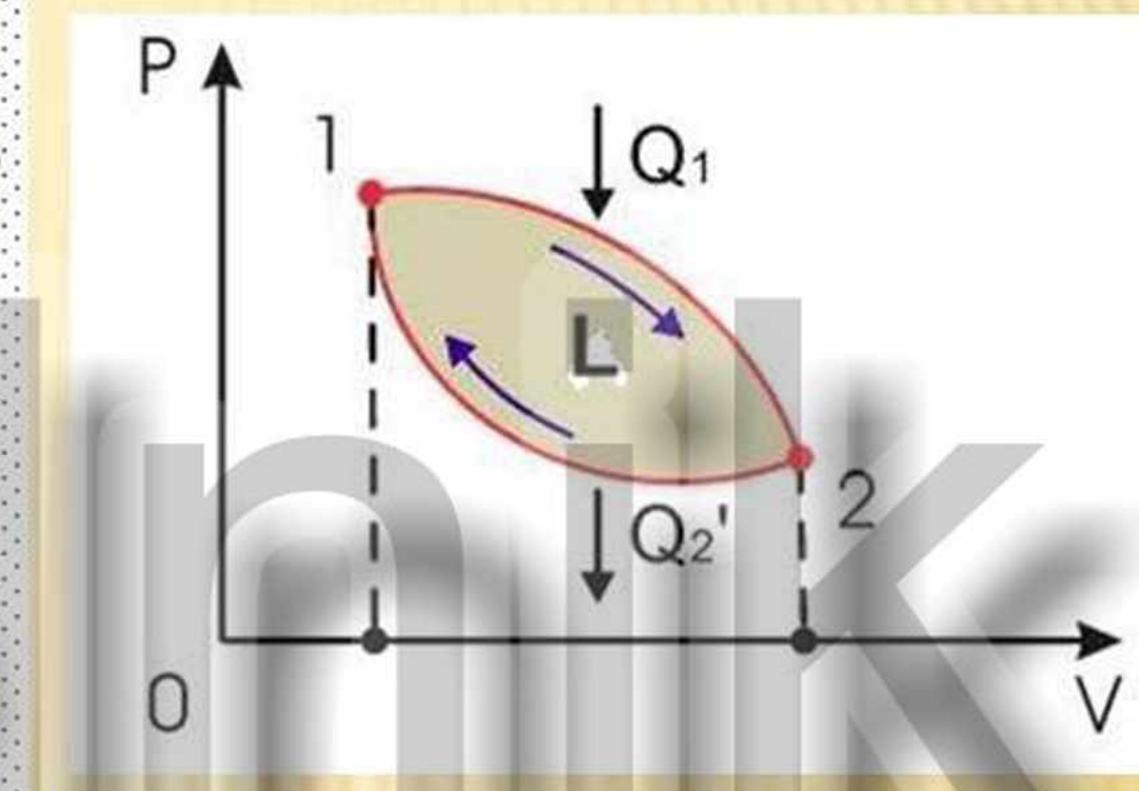
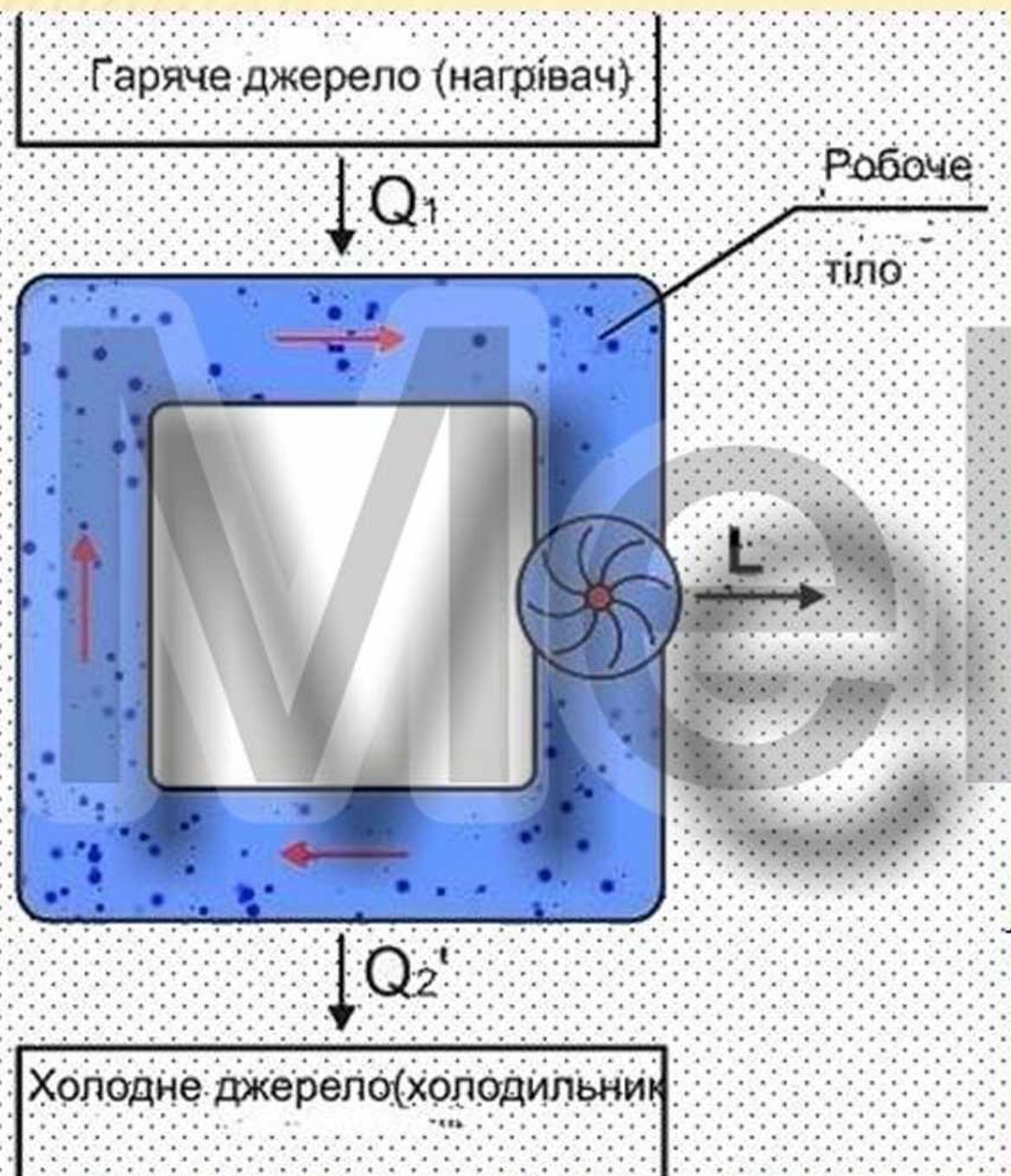


* Тобто, в кругових процесах неможливо повністю перетворити теплоту в роботу – частина щеї роботи (енергії) повинна бути безповоротно віддана холодним джерелам і для подальшого перетворення в роботу вона безповоротно втрачена!!!!



“Холодне” джерело теплоти

СХЕМА ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА ТА ЙОГО ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ



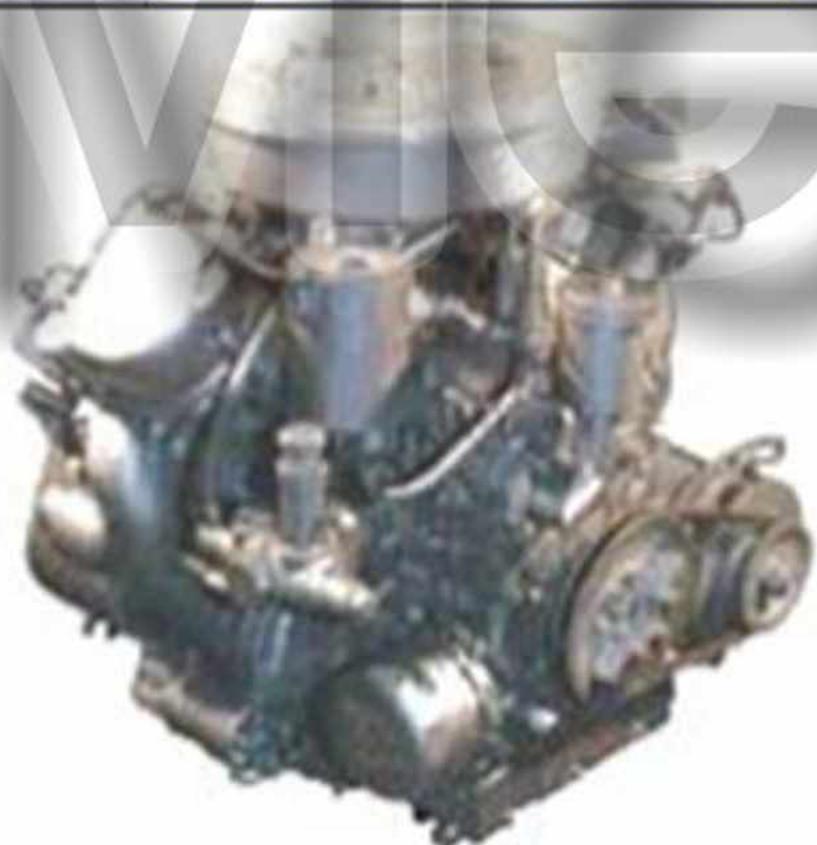
L_{\max} , якщо $Q_1 \rightarrow \max$,
а $Q_2 \rightarrow \min$.

ККД теплового двигуна:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{L}{Q_1}. \quad \eta_t < 1.$$

ККД ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Двигуни внутрішнього
згоряння: ККД $\approx 25\ldots 30\%$



ККД ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ



Газова турбіна,
ККД \approx 25...29%

ККД ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ



Турбореективний
двигун, ККД ≈ 20...30%

ККД ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ



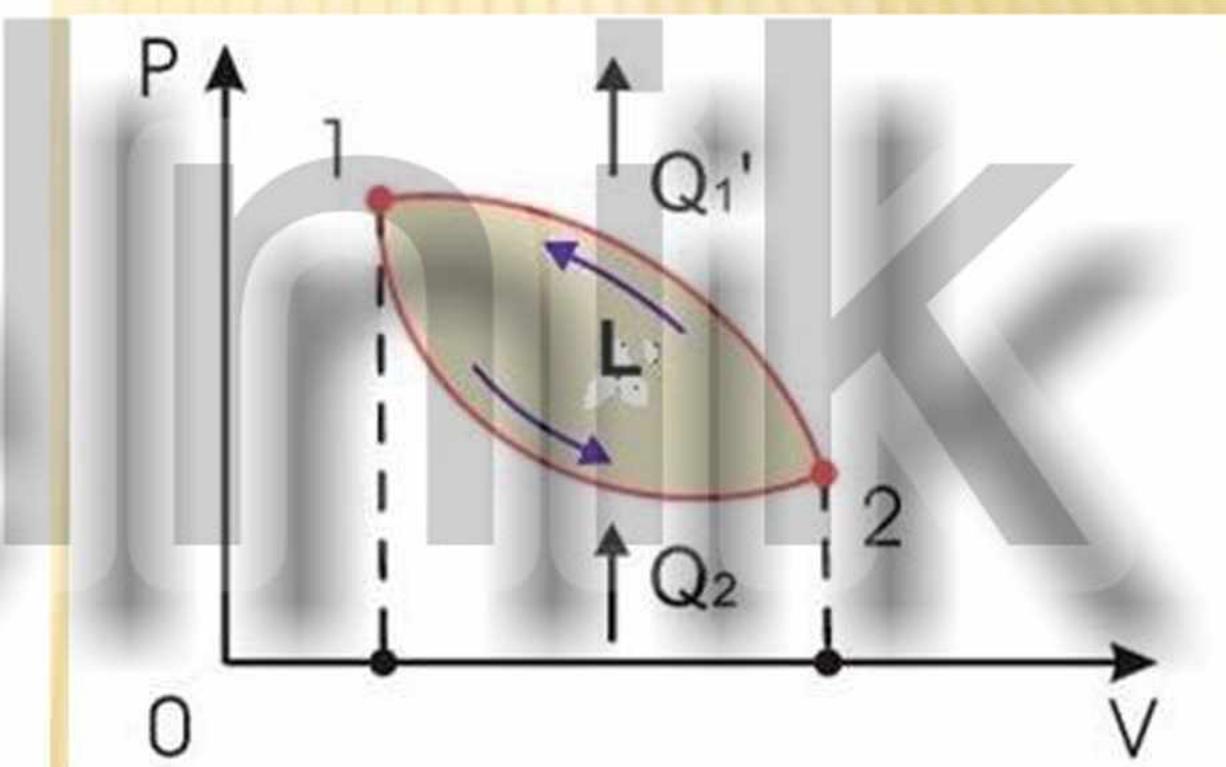
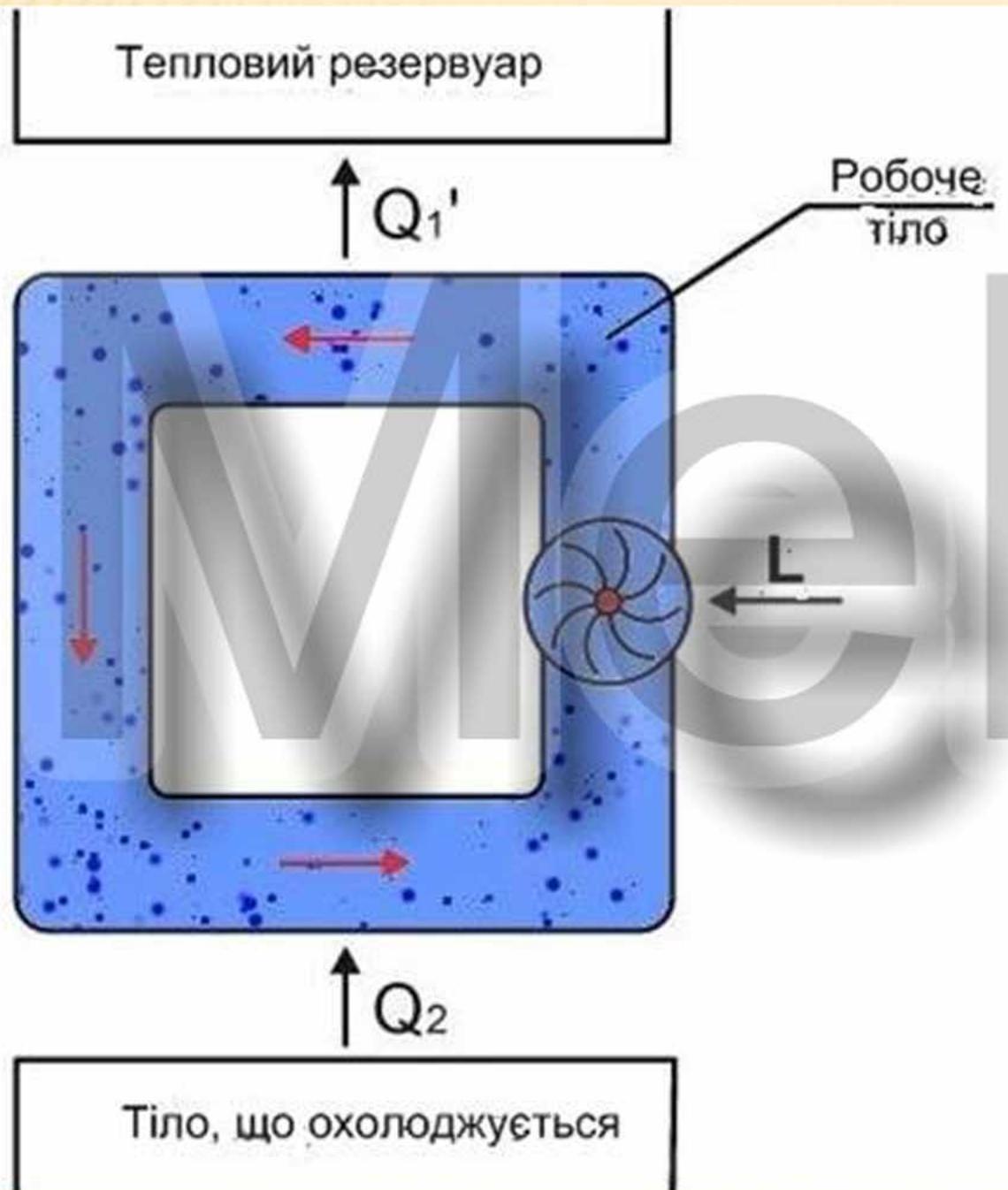
Парова турбіна,
ккд $\approx 25\ldots 40\%$

ККД ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ



Парова машина,
ККД ≈ 15%

СХЕМА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ЇЇ ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ



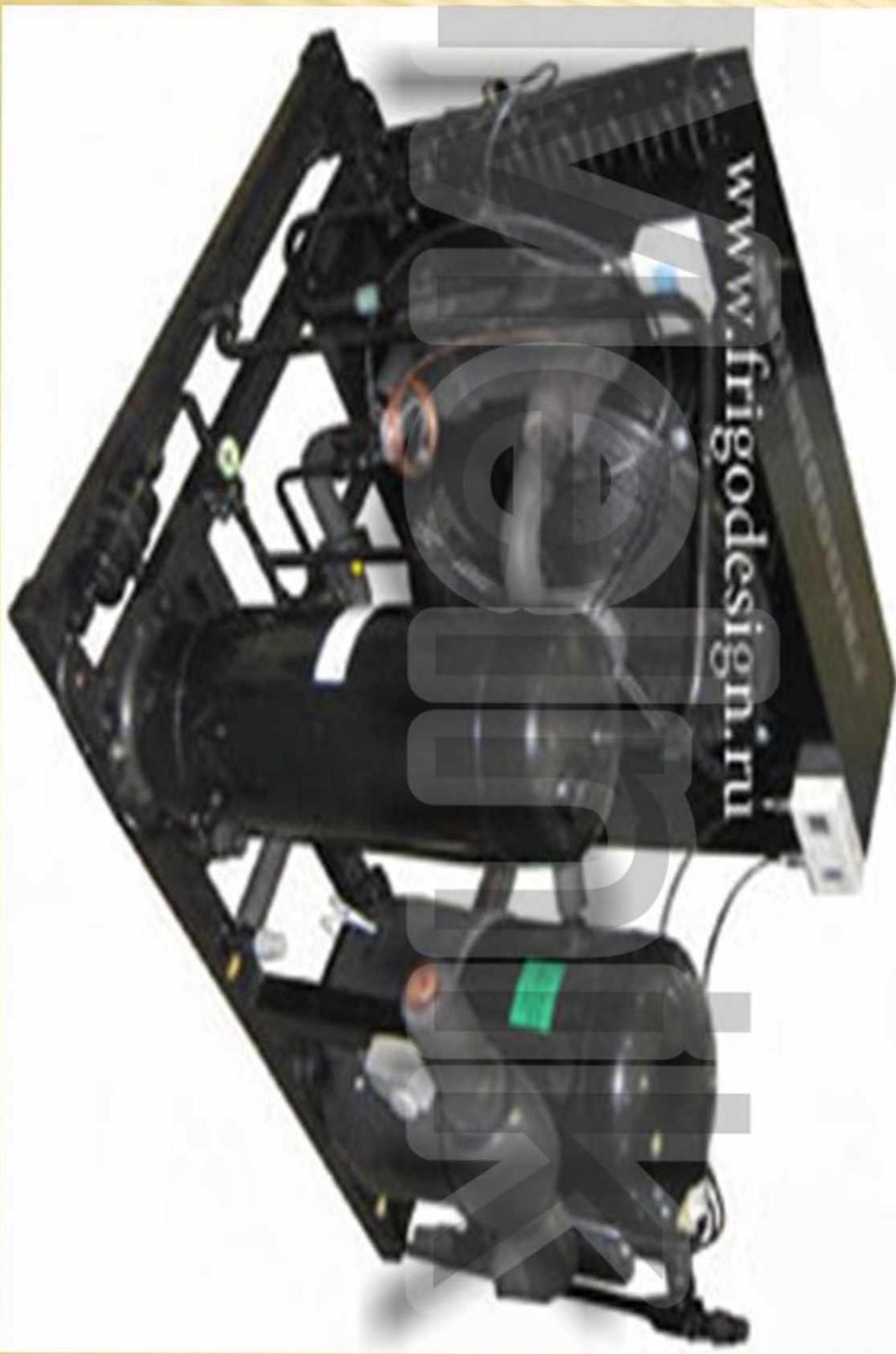
Холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_2}{L}. \quad 0 < \varepsilon > 1.$$

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ПАРОКОМПРЕСОРНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ



ПАРОКОМПРЕСОРНАЯ УСТАНОВКА

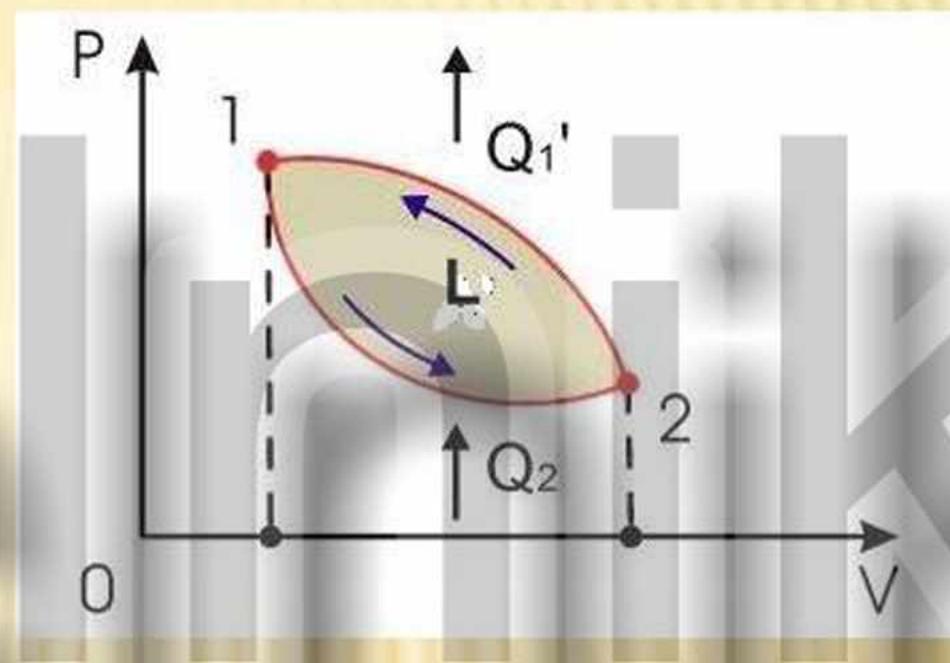


ПРОМISЛОВА ХОЛОДИЛЬНА КАМЕРА

Melior



СХЕМА ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ЙОГО ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ

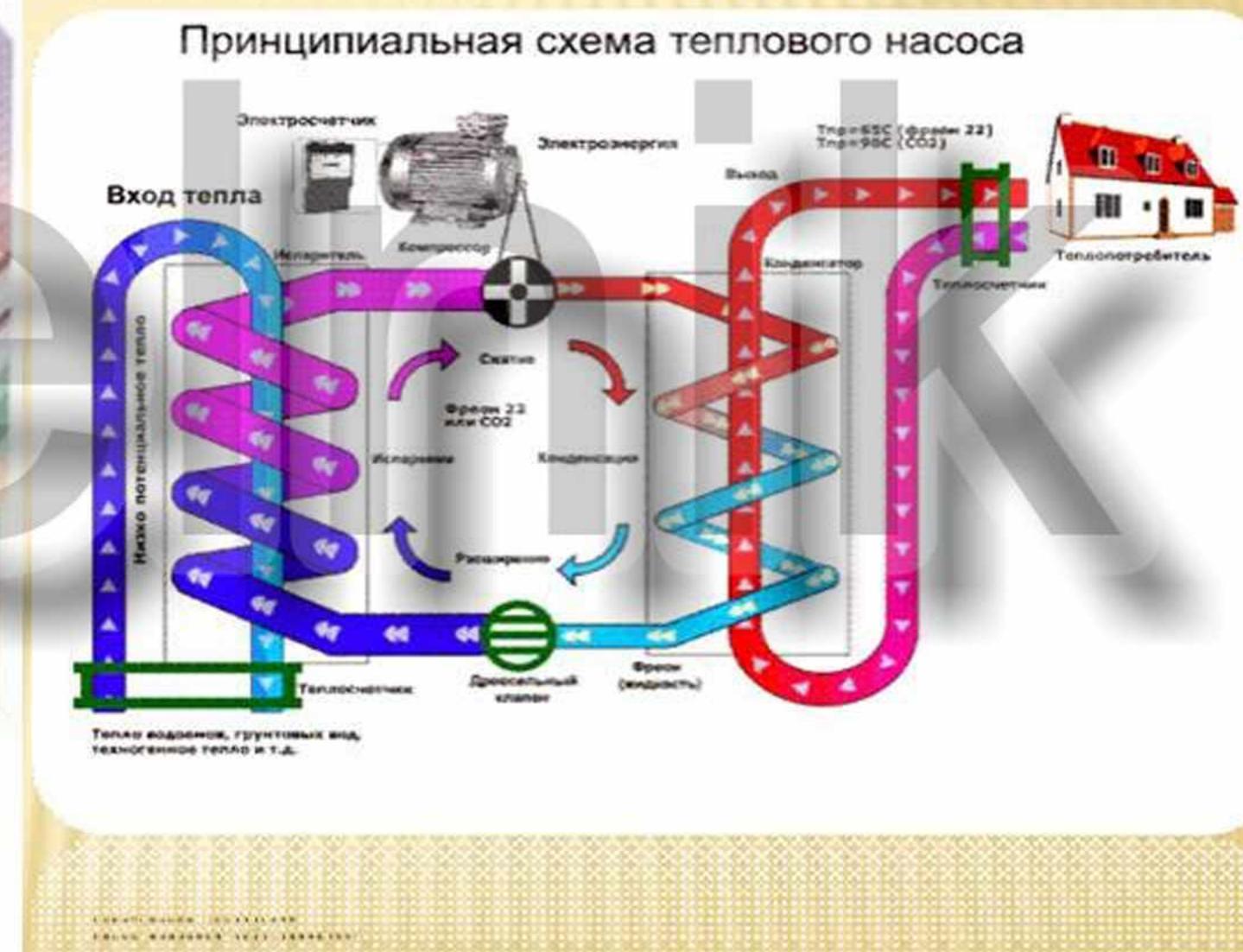


Для визначення ефективності роботи теплових насосів використовують коефіцієнт перетворення енергії:

$$\psi = \frac{Q_1}{L} = \frac{Q_2 + L}{L} = \frac{Q_2}{L} + 1 = \varepsilon + 1$$

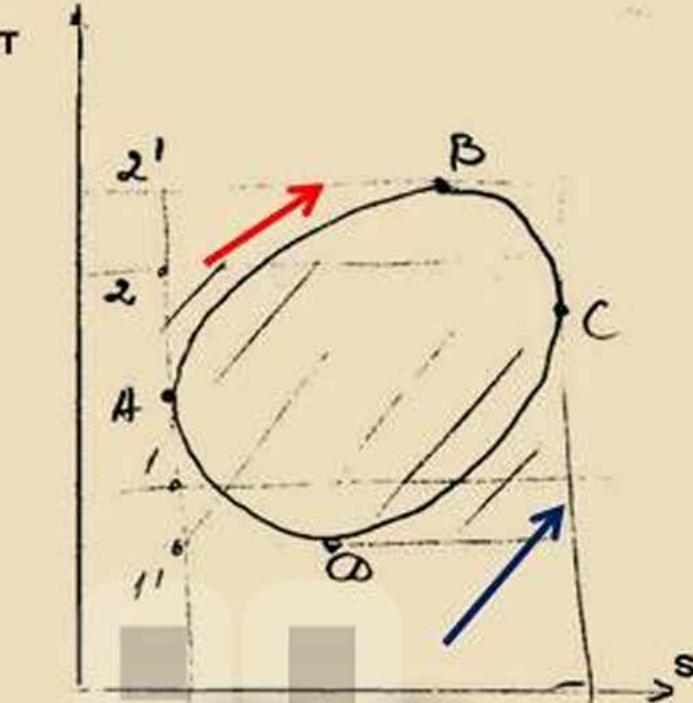
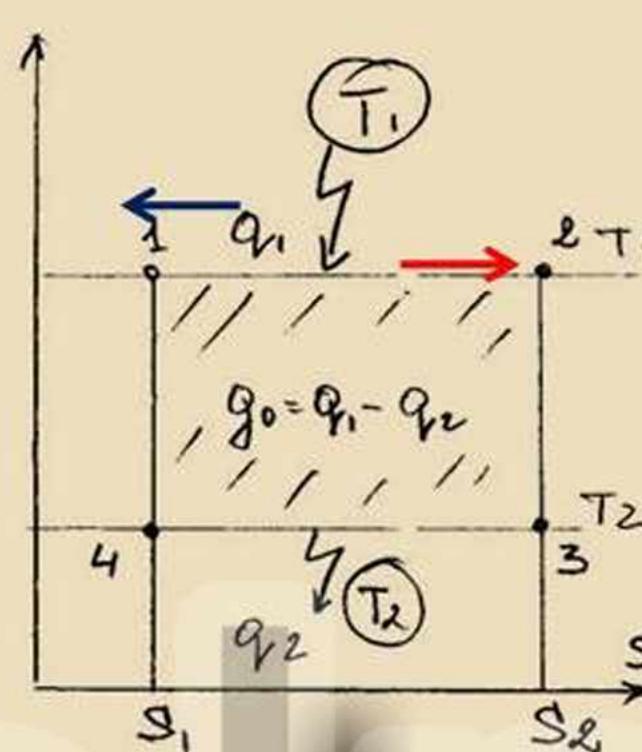
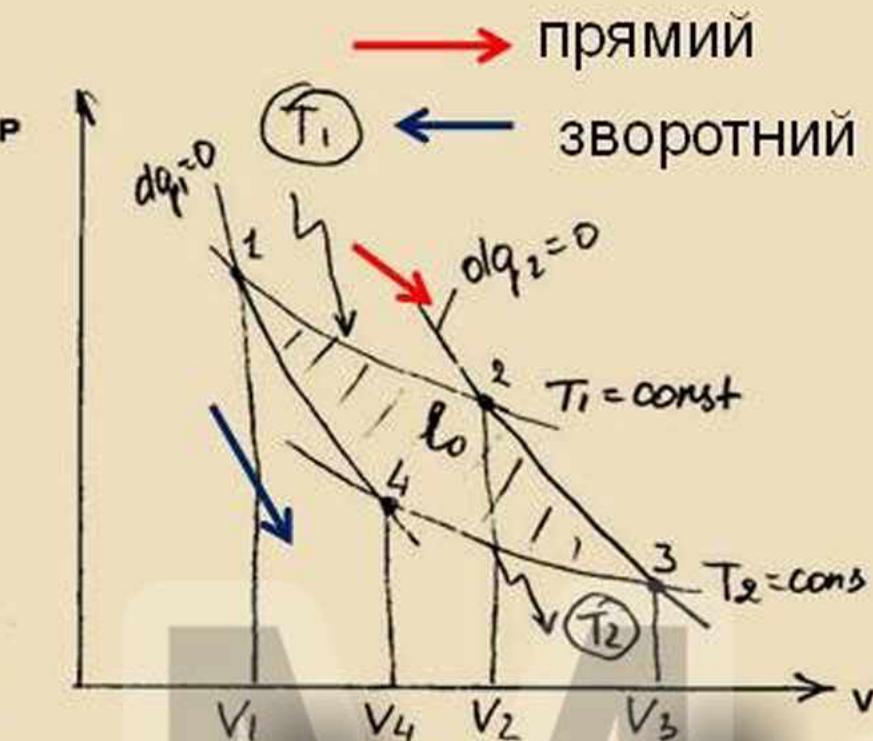
$\psi > 1$

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ТЕПЛОВОГО НАСОСА



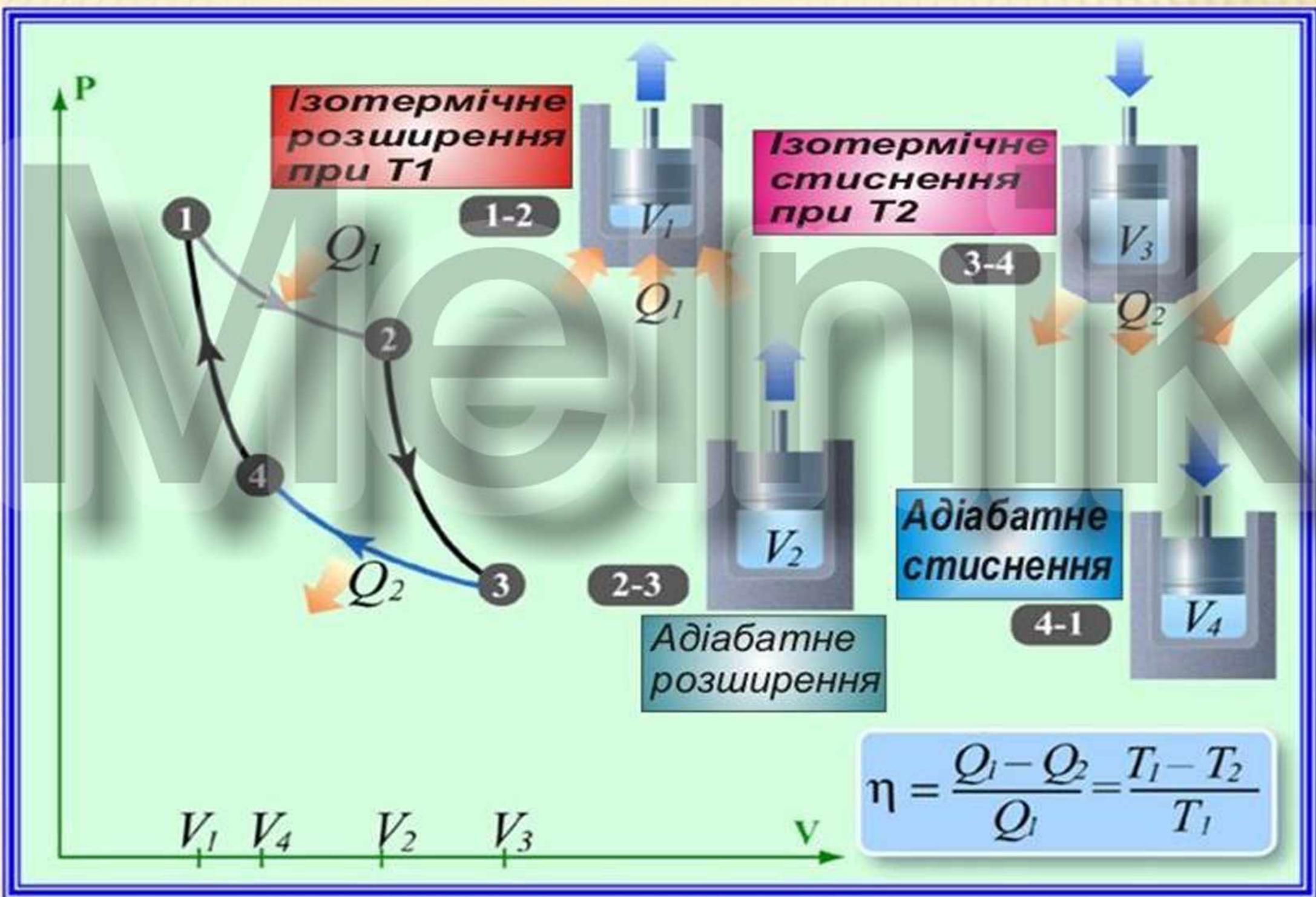
ЦИКЛ КАРНО

- ❖ Для забезпечення максимальної роботи цикл має бути оборотним, тобто, складатися тільки з оборотних термодинамічних процесів, бо тільки тоді не відбувається втрата роботи і знецінення енергії. Кількість джерел теплоти може бути зменшена до двох, якщо теплоту підводити і відводити від робочого тіла за ізотермічних умов, що еквівалентно вимозі протікання таких процесів з безмежно малою швидкістю.
- ❖ Другий процес такого циклу, який може відбуватися без виникнення теплових потоків – це адіабатний процес і якщо він протікає безмежно повільно – то такий процес являється рівноважним і оборотним.
- ❖ Вперше такий цикл, який в подальшому стали називати його іменем, був запропонований в 1824 році французьким інженером Саді Карно.



- ✖ Згідно Другого закону термодинаміки для здійснення циклу треба мати як мінімум два джерела теплоти: гаряче (тепловіддатчик) і холодне (теплоприймач) з постійною температурою T_1 і T_2 . При цьому, при умові збереження зворотності процесу, підведення і відведення тепла має проходити тільки по ізотермам T_1 і T_2 .
- ✖ Враховуючи, що дві ізотерми не можуть утворити замкнутий цикл, а інших джерел теплоти немає, зворотний перехід від T_2 до T_1 можливий тільки по адіабатам 2-3 і 4-1, які не потребують зовнішніх джерел тепла. Це і є цикл КАРНО.
- ✖ Термічний ККД циклу Карно становить:
- прямий цикл: $\eta = \frac{T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_2 - s_1)}{T_1(s_2 - s_1)} = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- зворотній цикл: $\varepsilon = \frac{q_2}{(q_1 - q_2)} = \frac{T_2(s_2 - s_1)}{[T_1(s_2 - s_1) - T_2(s_2 - s_1)]} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

ЦИКЛ КАРНО



ТЕОРЕМИ КАРНО.

- ПЕРША ТЕОРЕМА: термічний ККД циклу Карно залежить тільки від температури гарячого і холодного джерел і не залежить від конструкції машини та властивостей робочого тіла, тобто не залежить від того чи буде робоче тіло ідеальним газом чи реальним.
- ДРУГА ТЕОРЕМА: в даному максимальному інтервалі температур цикл Карно забезпечує найбільшу ефективність.

- ВИСНОВКИ, ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ:
 - Термічний ККД циклу Карно завжди < 1 і не може бути рівним 0, так як не може мати місце $T_2 = 0$ чи $T_1 = \infty$ (бо в природі такі джерела теплоти не існують).
 - Для збільшення термічного ККД любого циклу теплових двигунів необхідно збільшувати середню температуру в процесах підводу енергії і зменшувати середню температуру в процесах відведення.
 - Двигунів, які б працювали по циклу Карно або близькому до нього на практиці не будується, так як для робочого тіла такого двигуна конструктивно неможливо забезпечити в області практичних температур ізотермічне підведення теплоти та протікання адіабатних процесів. Сучасні двигуни працюють по іншим циклам. Тим не менше, цей цикл Карно має дуже велике практичне значення, бо дає можливість порівняти ККД реальних циклів з циклом Карно і зробити висновок про досконалість певного циклу.

* алгебраїчна сума зведеніх теплот для циклу Карно дорівнює нулю:

$$\sum \frac{\partial q_1}{T_1} + \sum \frac{\partial q_2}{T_2} = 0, \text{ або } \int \frac{\partial q_1}{T_1} + \int \frac{\partial q_2}{T_2} = 0$$

* Цей висновок є характеристикою оборотного циклу і не залежить від властивостей тіл, які здійснюють цикл.

* Для замкнутого циклу, враховуючи знаки підведенної і відведеної теплоти:

$\oint \frac{\partial q}{T} = \oint ds = 0$ - цей вираз є математичним описанням Другого закону термодинаміки і називається інтегралом Клаузіуса. Цей інтеграл є характеристикою будь-якого оборотного процесу, що здійснюється будь-яким робочим тілом.

* Для будь якого циклу $\oint \frac{\partial q}{T} \leq ds \geq 0$ - цей вираз є математичним описанням Другого закону термодинаміки для оборотних (знак =) і необоротних (знак нерівності) колових процесів.

* Таким чином, підсумувати наші знання про начала термодинаміки ми можемо слідуючими "виразами":

* Нульове начало: Температура існує і "це ступінь нагрітості тіла."

* Перше начало: Теплоту можна перетворити в роботу.

* Друге начало: Повністю це можливо лише при абсолютному нулю температур.

* Третє начало: Однак, абсолютний нуль досягнути неможливо.