

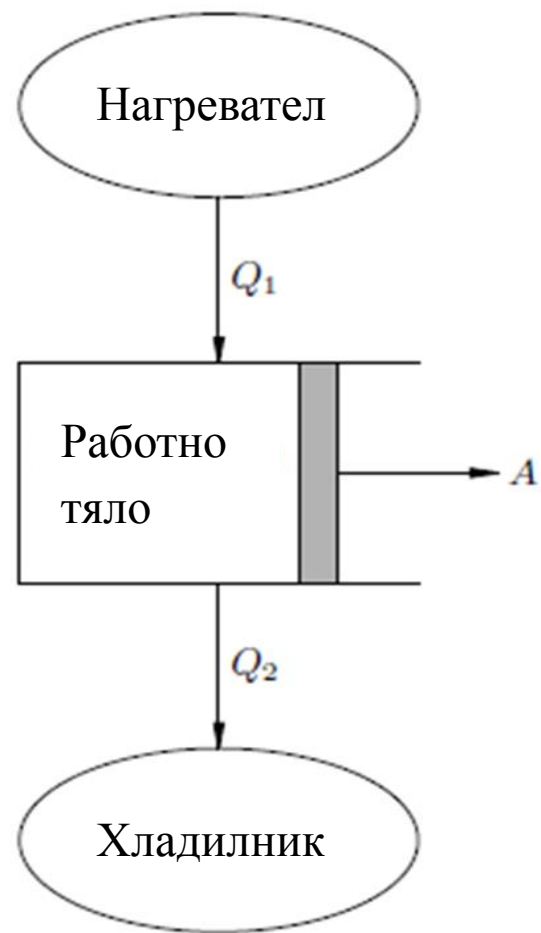
11 въпрос. Цикъл на Карно. Втори принцип на термодинамиката.

По определение *обратим процес* се нарича процес, при който е възможно връщането на ТД система от крайното в началното състояние точно по същия път и без настъпващи изменения в околната среда, т.е. обратимия процес НЕ оставя никакви следи в природата. В противен случай процеса е *необратим*. Очевидно е, че обратимият процес е идеализиран процес. В природата всички реални процеси са необратими.

В практиката широко приложение намират кръговите процеси. По определение *кръгов процес* се нарича процес, при който системата, в която процеса протича, преминава през различни термодинамични (ТД) състояния и се връща отново в началното си състояние.

Кръговите процеси са в основата на всички топлинни машини като двигателите с вътрешно горене, хладилни машини и т.н.

Топлинната машина е устройство чрез което вътрешната енергия се превръща в механична. Схемата на такава машина е показана на фигурата. В машината трябва да има **работно тяло**, което да извършва механична работа A . Трябва да има **нагревател**, от който работното тяло да получава определено количество топлина Q_1 . Топлинната машина трябва да работи циклично, т.е. да се използва кръгов процес. Следователно трябва да има и **хладилник**, който да отнема определено количество топлина Q_2 от работното тяло.



Като работно тяло може да се използва произволно вещество, но обикновено това е газ, който при разширяването си извършва механична работа като например избутва бутало, както е показано на схемата.

Може да се покаже, че най-изгодния цикъл на работа на топлинната машина се състои от две изотерми и две адиабати. Този цикъл се нарича *цикъл на Карно*, по името на френският инженер, който го е предложил

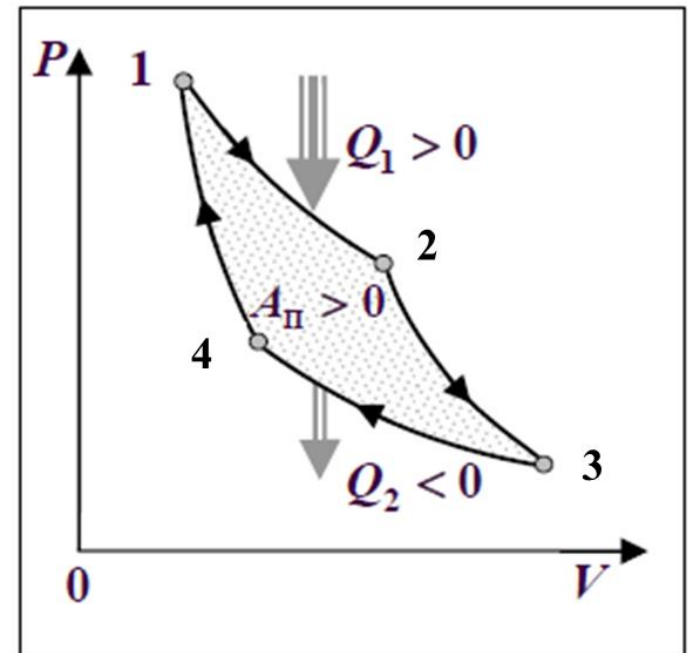
Да разгледаме цикъл на Карно протичащ по часовниковата стрелка, както е показано на фигурата.

От състояние 1 до състояние 2 работното тяло (идеален газ) преминава чрез изотермен процес, при което газът извършва работа A_{12} .

От състояние 2 до състояние 3 газът преминава чрез адиабатен процес, при което извършва работа A_{23} .

От състояние 3 до състояние 4 газът отново преминава чрез изотермен процес, при което извършва работа A_{34} .

От състояние 4 до състояние 1 газът отново преминава чрез адиабатен процес, при което извършва работа A_{41} .



Работата, извършена от идеалния газ (работното тяло) е равна на лицето на заштрихованата фигура. Тази работа е равна на сумата от работите, извършени от газа през четирите процеса, т.е.

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

Но

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = RT_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$A_{23} = \int_{T_1}^{T_2} (-C_V dT) = C_V(T_1 - T_2)$$

$$A_{34} = \int_{V_3}^{V_4} p dV = RT_2 \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right) = -RT_2 \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)$$

$$A_{41} = \int_{T_2}^{T_1} (-C_V dT) = C_V(T_2 - T_1) = -C_V(T_1 - T_2)$$

Следователно

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = RT_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) - RT_2 \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)$$

Но

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

Следователно

$$A = R(T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

На идеалния газ е предадена топлина само през първия изотермен процес (1-2). Следователно съгласно първия принцип на термодинамиката получената от него топлина е

$$Q_{12} = A_{12} = RT_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Тогава за коефициента на полезно действие (к.п.д.) на цикъла на Карно се получава

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{A}{A_{12}} = \frac{R(T_1 - T_2) \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)}{RT_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Следователно к.п.д. $\eta = 1$, ако $T_2 = 0$ или $T_1 = \infty$, което не е възможно. Температура, равна на 0 К не е възможно да се достигне на практика. Безкрайно голяма температура също е невъзможна.

Следователно **НЕ** е възможно създаването на топлинна машина с коефициент на полезно действие (к.п.д.) $\eta = 1$.

Това е една от формулировките на **втория принцип на термодинамиката**.

Друга формулировка на *втория принцип на термодинамиката* е дадена от Клаузиус и определя посоката на процесите на топлообмен.

Опитно е установено, че реалните термодинамични процеси са необратими. Те могат да протичат самопроизволно само в определена посока. Например, ако се поставят в топлинен контакт по-студено и по-топло тяло, то топлината ще се предава от тялото с по-висока температура към тялото с по-ниска температура. Обратното – предаване на топлина от по-студеното към по-топлото тяло е невъзможно без външно въздействие. Следователно предаването на топлина от по-топлото към по-студеното тяло е необратим процес.

От тук следва формулировката на Клаузиус: *Не е възможен процес, единствен резултат от който е предаването на топлина от тяло с по-ниска температура към тяло с по-висока температура.*

Пример 1: Топлинна машина извършва работа като черпи топлина от топлинен резервоар с температура 500°C и се охлажда от охладител с температура 100°C . На колко е равен максималният коефициент на полезно действие на тази машина?

Дадено: $T_1 = 500^{\circ}\text{C} = 773\text{ K}$, $T_2 = 100^{\circ}\text{C} = 373\text{ K}$

$\eta = ?$

Решение: Максималният коефициент на полезно действие (к.п.д.) на машината е равен на к.п.д. на идеалния цикъл на Карно за тази машина

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{373}{773} = 1 - 0,48 = 0,52$$

Пример 2: Топлинна машина работи по кръгов цикъл на Карно. Температурата на нагревателя е 1200 К, а температурата на охладителя е 300 К. Количеството топлина, което машината получава от нагревателя за един цикъл е 10 kJ. Каква механична работа извършва машината за един цикъл?

Дадено: $T_1 = 1200 \text{ К}$, $T_2 = 300 \text{ К}$, $Q_{12} = 10 \text{ kJ} = 10000 \text{ J}$

$A = ?$

Решение: Механичната работа, извършвана от машината за един цикъл, може да се намери от израза за к.п.д. на тази машина

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} \quad \Rightarrow \quad A = \eta Q_{12}$$

От друга страна за к.п.д. на машината имаме

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1200} = 1 - 0,25 = 0,75$$

Следователно

$$A = \eta Q_{12} = 0,75 \times 10000 = 7500 \text{ J}$$