

Термодинамические циклы

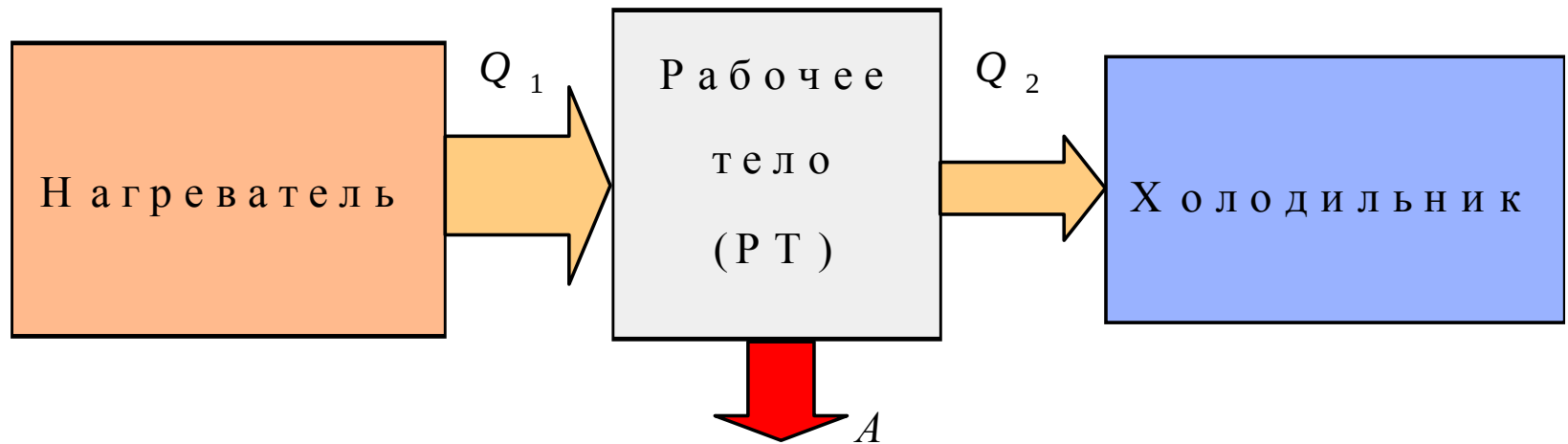
1 КПД цикла (тепловой машины).

2 Цикл Карно.

3 КПД цикла Карно и теорема Карно.

Тепловая машина

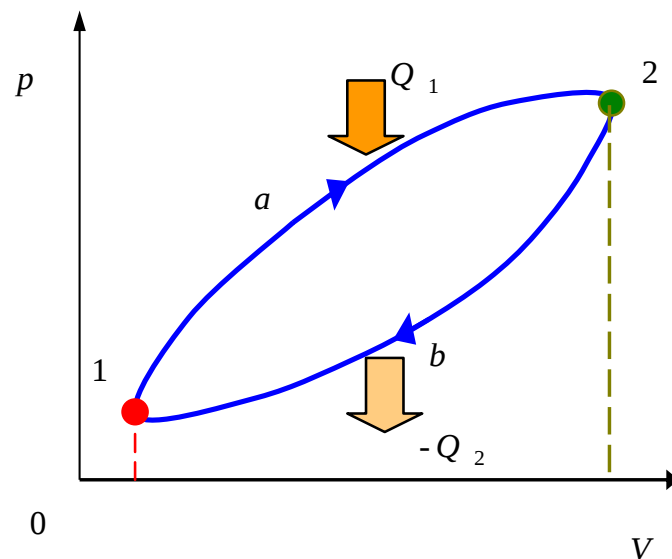
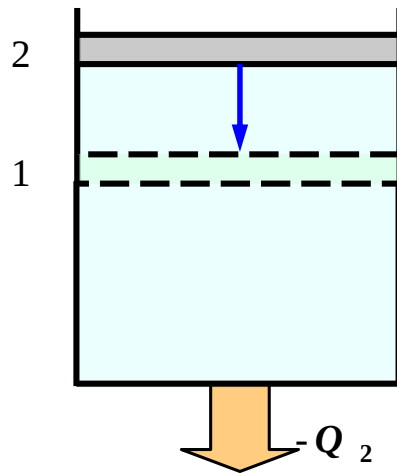
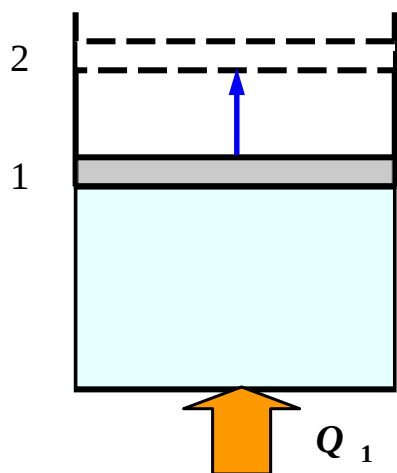
Циклически действующее устройство, превращающее теплоту в работу, называется *тепловой машиной* или *тепловым двигателем*.



Q_1 — тепло, получаемое РТ от нагревателя,

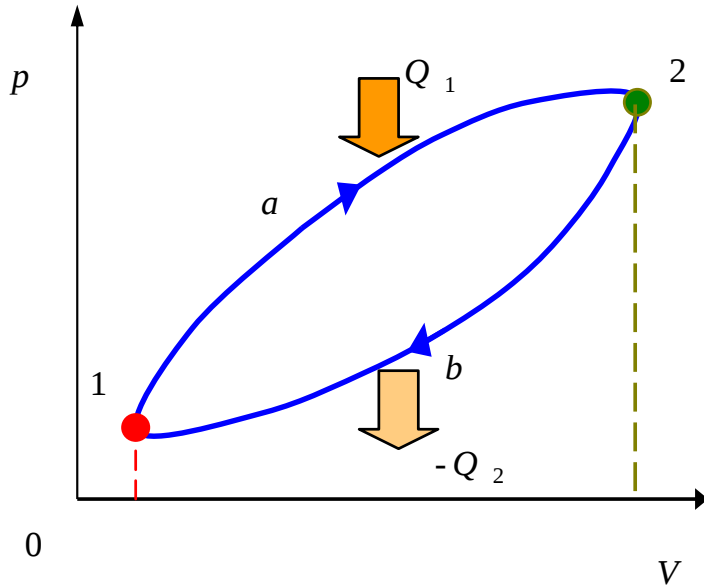
Q_2 — тепло, передаваемое РТ холодильнику,

A — полезная работа (работа, совершаемая РТ при передаче тепла).



В цилиндре находится газ – рабочее тело (РТ).
 Начальное состояние РТ на диаграмме $p(V)$ изображено точкой 1.
 Цилиндр подключают к нагревателю, РТ нагревается и расширяется. Следовательно совершается положительная работа A_1 , цилиндр переходит в положение 2 (состояние 2).

Процесс 1–2: –

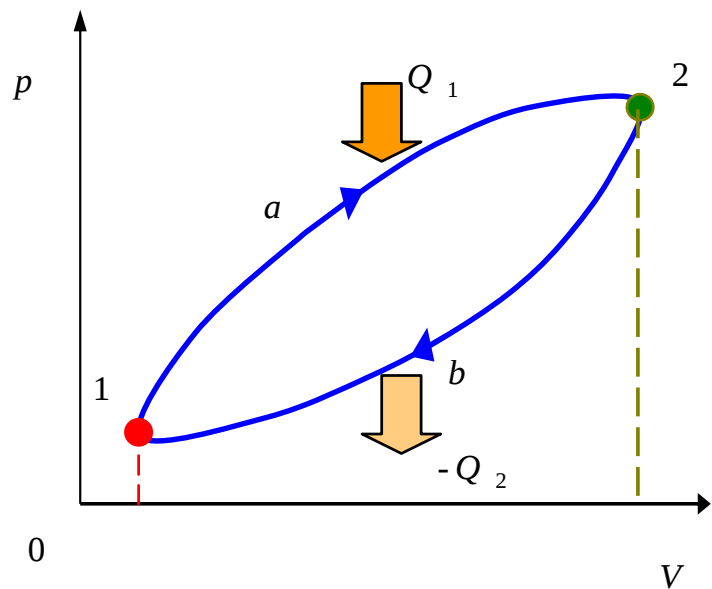


$$Q_1 = U_2 - U_1 + A_1$$

первое начало термодинамики.

Работа A_1 равна площади под кривой 1a2.

Чтобы поршень цилиндра вернуть в исходное состояние 1, необходимо сжать рабочее тело, затратив при этом работу $-A_2$.

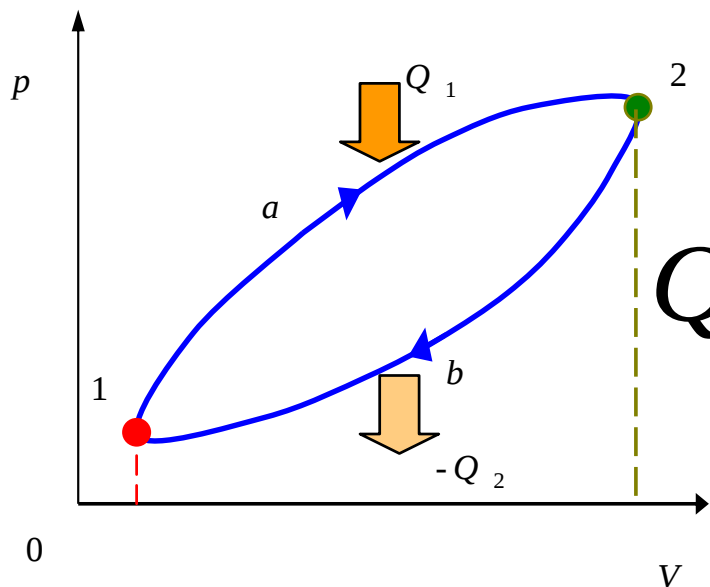


Для того чтобы поршень совершил полезную работу, необходимо выполнить условие: $A_2 < A_1$. С этой целью сжатие следует производить при охлаждении цилиндра, т.е. от цилиндра необходимо отводить к холодильнику тепло $-Q_2$.

Процесс 2–1:
$$-Q_2 = U_1 - U_2 - A_2$$

– первое начало термодинамики.

Работа A_2 равна площади под кривой 2b1.



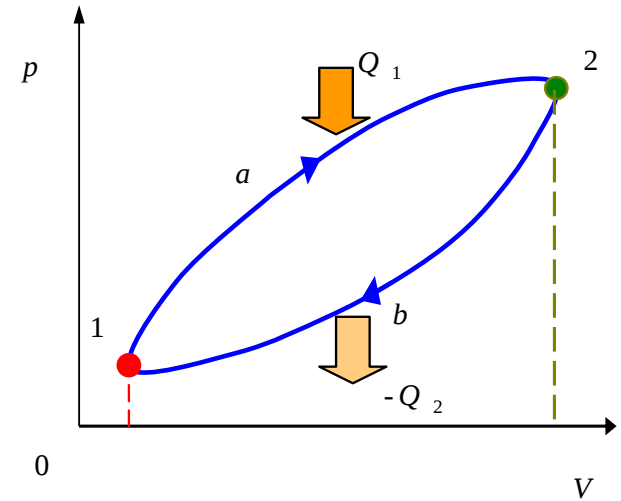
Сложим два уравнения и получим:

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2 = A_{\text{полезная}}.$$

Рабочее тело совершает круговой процесс $1a2b1$ – цикл.

К.п.д. $\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$

$$pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow T = pV \frac{M}{Rm};$$



при $V = \text{const}$, $p_{\text{нагревателя}} > p_{\text{холодильника}} \Rightarrow T_n > T_x$.

Процесс возвращения рабочего тела в исходное состояние происходит при более низкой температуре. Следовательно, для работы тепловой машины холодильник принципиально необходим.



Цикл Карно

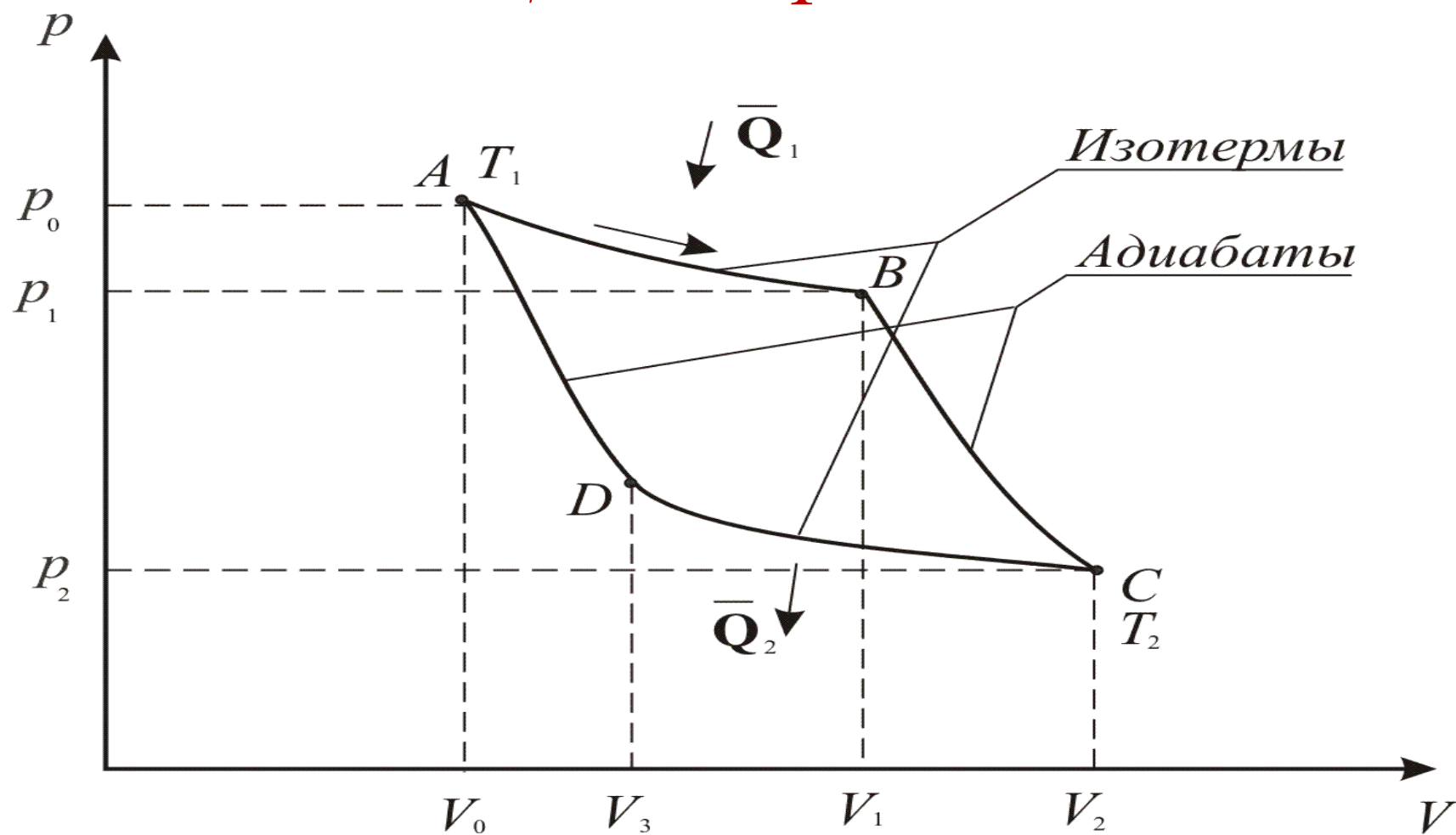
Никола Леонард Сади Карно – французский офицер инженерных войск, в 1824 г. опубликовал сочинение «Размышления о движущей силе огня и о машинах способных развить эту силу».

Ввел понятие кругового и обратимого процессов, идеального цикла тепловых машин, заложил тем самым основы их теории. Пришел к понятию механического эквивалента теплоты.

Карно вывел теорему, носящую теперь его
ИМЯ:

из всех периодически действующих тепловых машин, имеющих одинаковые температуры нагревателей и холодильников, наибольшим КПД обладают обратимые машины. Причем КПД обратимых машин, работающих при одинаковых температурах нагревателей и холодильников, равны друг другу и не зависят от конструкции машины. При этом КПД меньше единицы.

Цикл Карно.



Цикл Карно

Процесс А-В –

изотермическое расширение

$$A_1 = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_0} = Q_1,$$

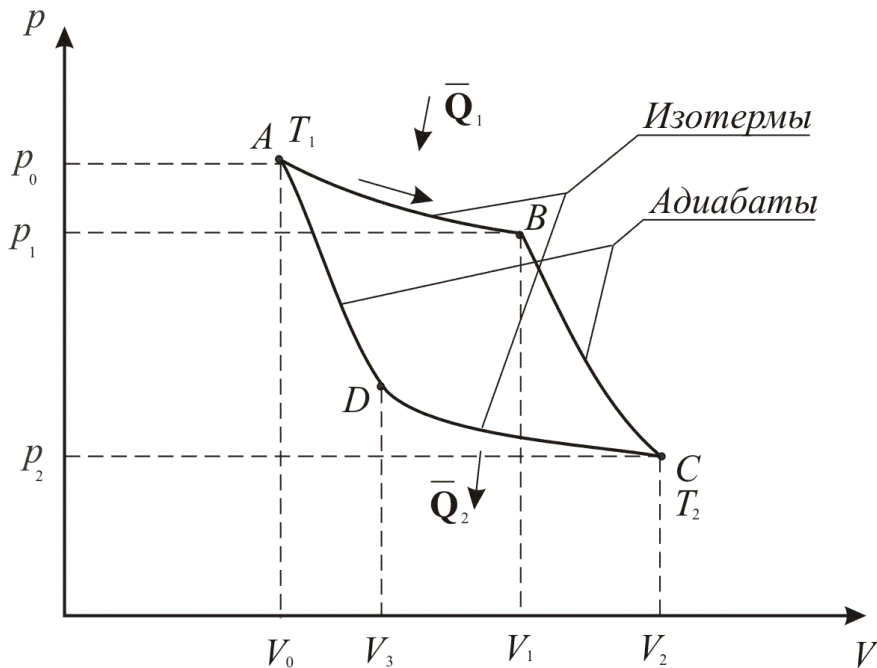
Процесс В-С –

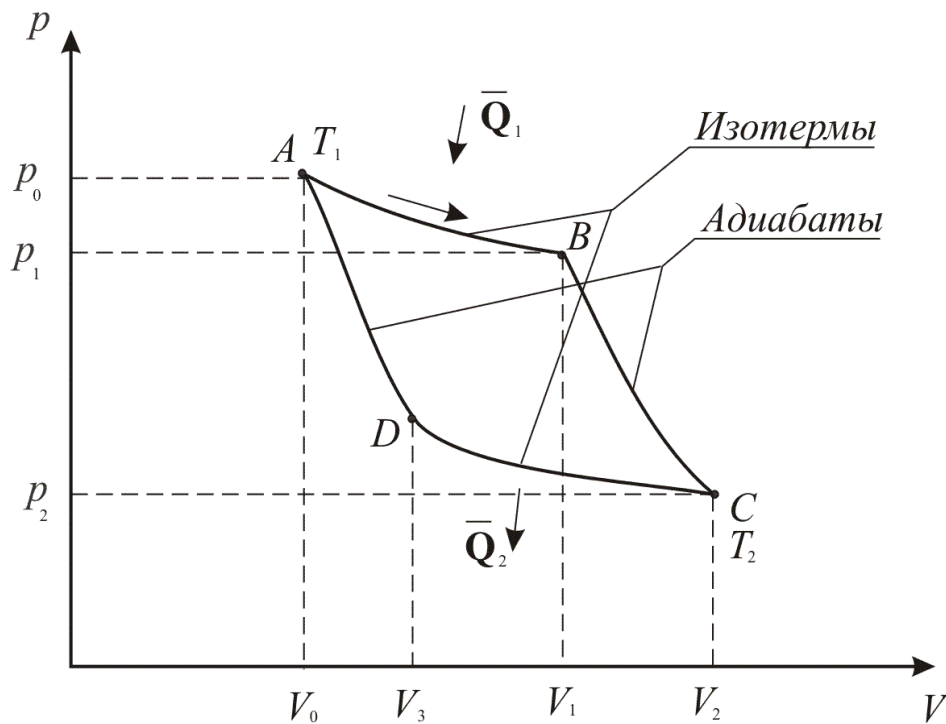
адиабатическое расширение

γ – коэффициент Пуассона.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1},$$

$$A_2 = \frac{p_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(\gamma - 1) T_1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$





Цикл Карно

Процесс C-D –
изотермическое сжатие

$$A_3 = -RT_2 \ln \frac{V_3}{V_2} = -Q_2$$

Процесс D-A –
адиабатическое сжатие

$$\left(\frac{V_3}{V_0} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$A_4 = -\frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2)$$

$$A = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_0} + \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} -$$

$$- RT_2 \ln \frac{V_3}{V_2} - \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

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

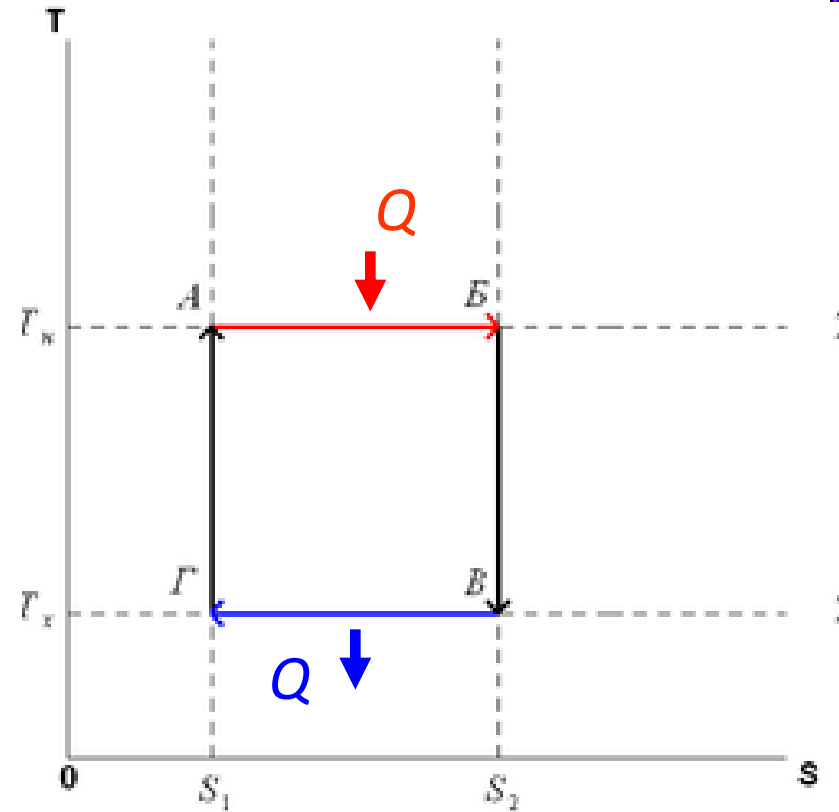
Если $T_2 = 0$, то $\eta = 1$, что невозможно, т.к. абсолютный нуль температуры не существует.

Если $T_1 = \infty$, то $\eta = 0$, что невозможно, т.к. бесконечная температура не достижима.

КПД цикла Карно $\eta < 1$ и зависит от разности температур между нагревателем и холодильником (и не зависит от конструкции машины и рода рабочего тела).

Цикл Карно в координатах S - T

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

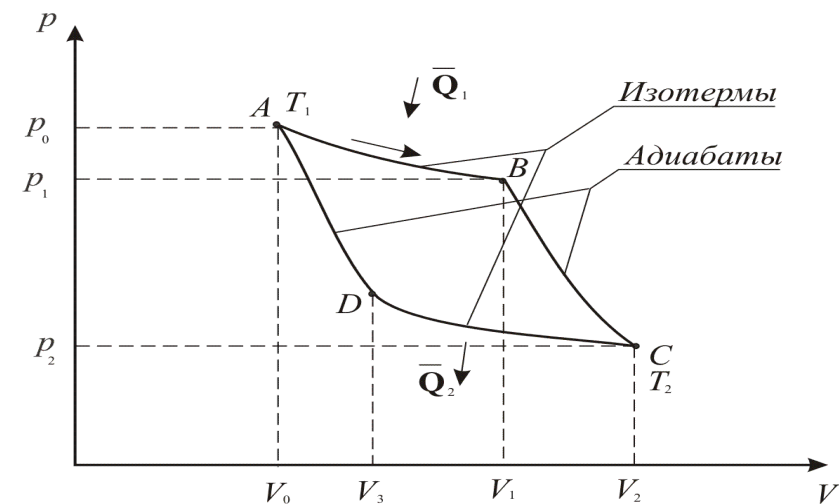


Изотермы:

А-Б система получает извне теплоту, Q — положительно, следовательно, $S_2 > S_1$ и энтропия системы **увеличивается**.

В-Г система отдает теплоту, Q имеет отрицательный знак и, следовательно, $S_2 < S_1$; энтропия системы **уменьшается**.

Адиабаты: **Б-В** и **Г-А**
 $dQ = 0$, следовательно, $S=0$



Теоремы Карно.

1. К.п.д. η обратимой идеальной тепловой машины Карно не зависит от рабочего вещества.
2. К.п.д. необратимой машины Карно не может быть больше к.п.д. обратимой машины Карно.