

Сегодня среда, 9 июля 2014 г.

***ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.
ТЕПЛОВАЯ МАШИНА***

Лекция 5

Содержание лекции:

- * **Прямой цикл. Тепловая машина**
- * **Коэффициент полезного действия тепловой машины**
- * **Цикл Карно. Теоремы Карно**
- * **Обратный цикл. Принцип действия холодильной машины**

Коэффициент полезного действия тепловой машины. Прямой цикл

Круговым процессом (или **циклом**) называется такой процесс, в результате которого термодинамическая система, претерпев ряд изменений, возвращается в исходное состояние.

Круговой процесс может быть **равновесным** или **неравновесным**.

Всякий **равновесный** процесс представляет непрерывную последовательность равновесных состояний термодинамической системы.

Равновесные состояния – это такие состояния, в которых все параметры системы имеют определенные значения и остаются постоянными до тех пор, пока не изменятся внешние условия.

В равновесном процессе внешние условия изменяются настолько медленно, что термодинамическая система успевает прийти в равновесие с окружающей средой.

Всякий равновесный процесс является *обратимым*: термодинамическую систему можно вернуть из конечного состояния в начальное, и при этом во внешней среде не произойдет никаких изменений.

Это означает, что в обратном процессе система пройдет через те же состояния, через которые она проходила в прямом процессе.

Процесс, протекающий бесконечно медленно и представляющий собой последовательность равновесных состояний, называется *квазистатическим*.

Если процесс не отвечает принципу обратимости, то он называется *необратимым* — все реальные процессы.

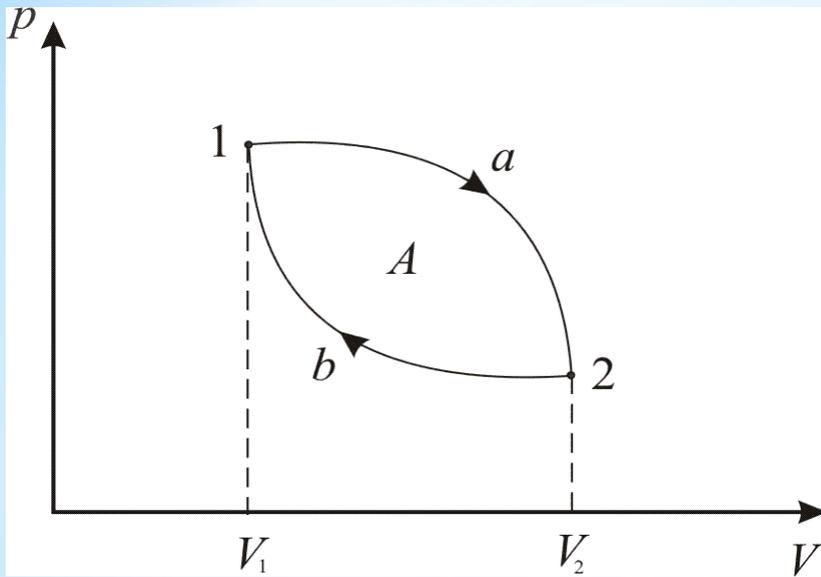
Примеры:

- тепло переходит от горячего тела к холодному,
- переход работы силы трения $F_{тр}$ в тепло.

Тепловой машиной называется любое периодически действующее устройство, которое производит работу за счет получаемой извне теплоты.

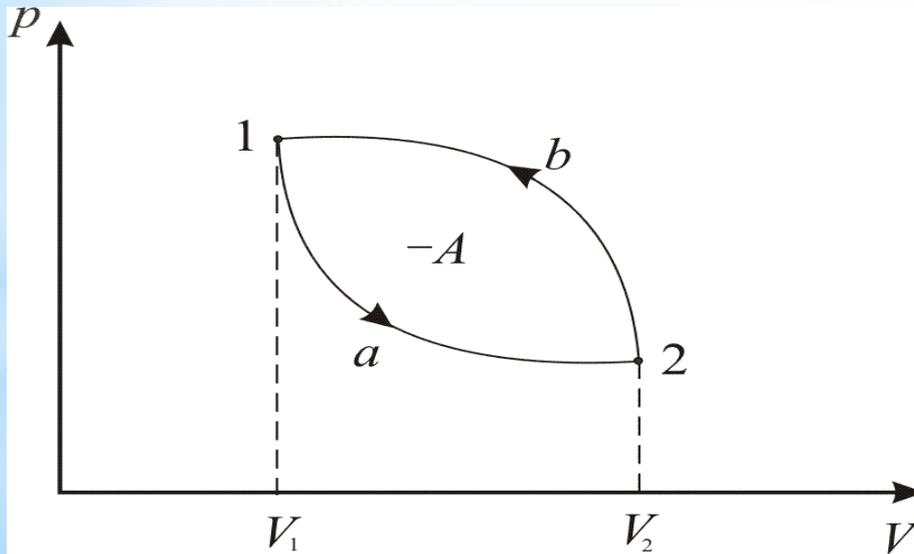
Прямым круговым процессом (*циклом тепловой машины*) называется цикл, в котором полученная извне теплота превращается в полезную работу.

Обратным круговым процессом (*циклом холодильной машины*) называется цикл, в котором полученная извне работа затрачивается на перенос теплоты от менее нагретых тел к более нагретым телам.



Прямой цикл – работа за ЦИКЛ

$$A = \oint p dV > 0$$



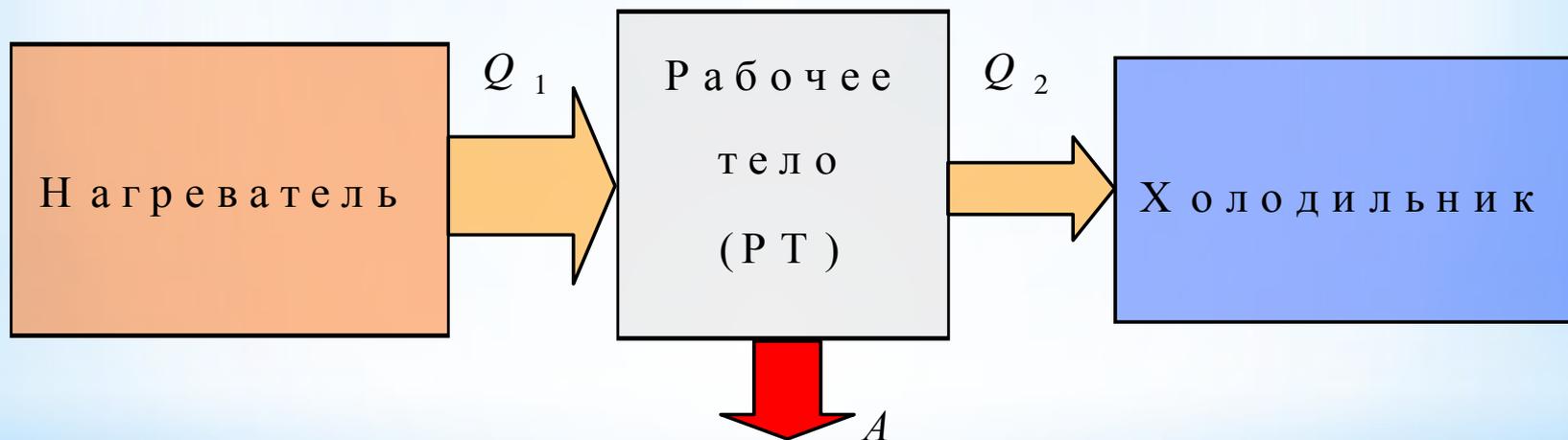
Обратный цикл – работа за цикл

$$A = \oint p dV < 0$$

Если тело (термодинамическая система) производит работу за счет внутренней энергии теплого резервуара, то его называют *рабочим телом тепловой машины* или просто *рабочим телом*. Система может состоять из одного рабочего тела.

Тепловая машина

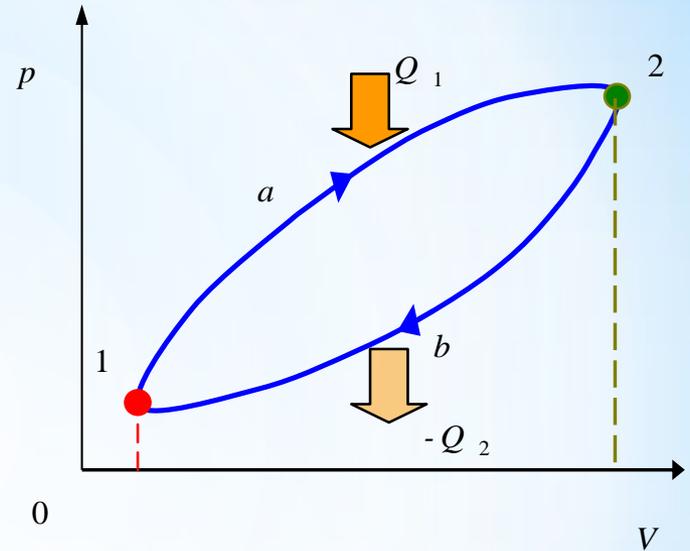
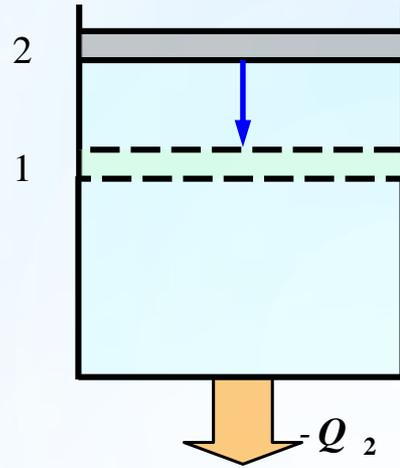
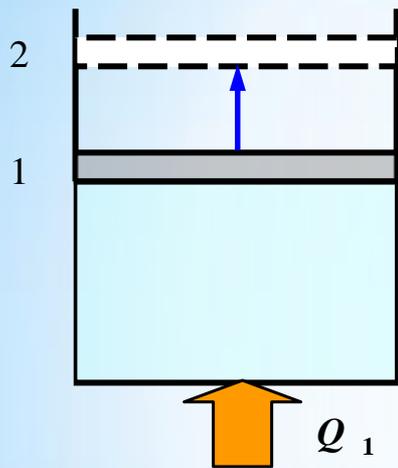
Циклически действующее устройство, превращающее теплоту в работу, называется **тепловой машиной** или **тепловым двигателем**.



Q_1 – тепло, получаемое РТ от нагревателя,

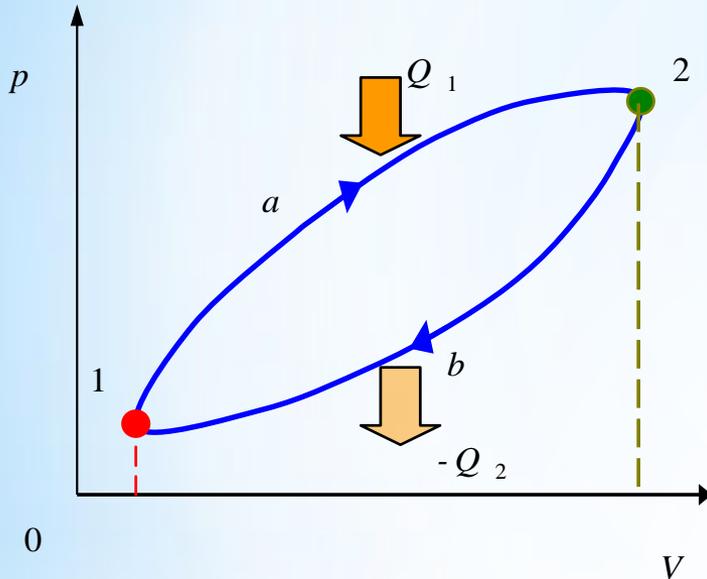
Q_2 – тепло, передаваемое РТ холодильнику,

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: –

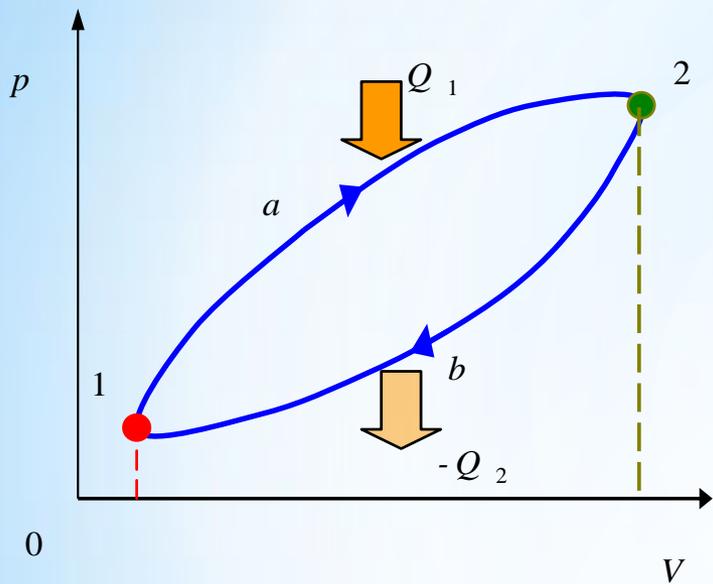


$$Q_1 = U_2 - U_1 + A_1$$

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 $-A_2$.

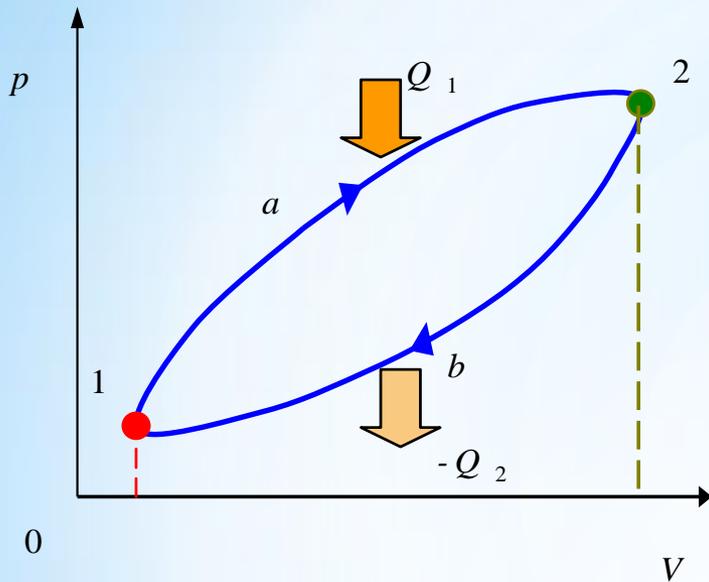


Для того чтобы поршень совершил полезную работу, необходимо выполнить условие: $A_2 < A_1$. С этой целью сжатие следует производить при охлаждении цилиндра, т.е. от цилиндра необходимо отводить к холодильнику тепло $-Q_2$.

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:

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

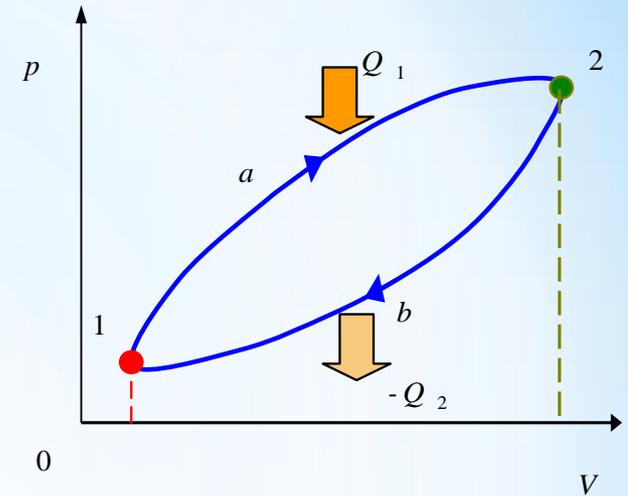
Рабочее тело совершает круговой процесс $1a2b1$ – цикл.

К.п.д.

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

Так как $Q_2 < Q_1$, то КПД тепловой машины всегда меньше единицы. Отсюда вывод, что *тепло нельзя превратить в работу без необратимых потерь.*

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



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

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



Двигатель внутреннего сгорания

КПД = 25-30%

Газовая турбина

КПД = 25-29%





Турбореактивный двигатель

КПД = 20-30%

Паровая турбина

КПД = 25-40%



Цикл Карно

Циклом Карно называется цикл тепловой машины, которая связана только с двумя тепловыми резервуарами: нагревателем и холодильником

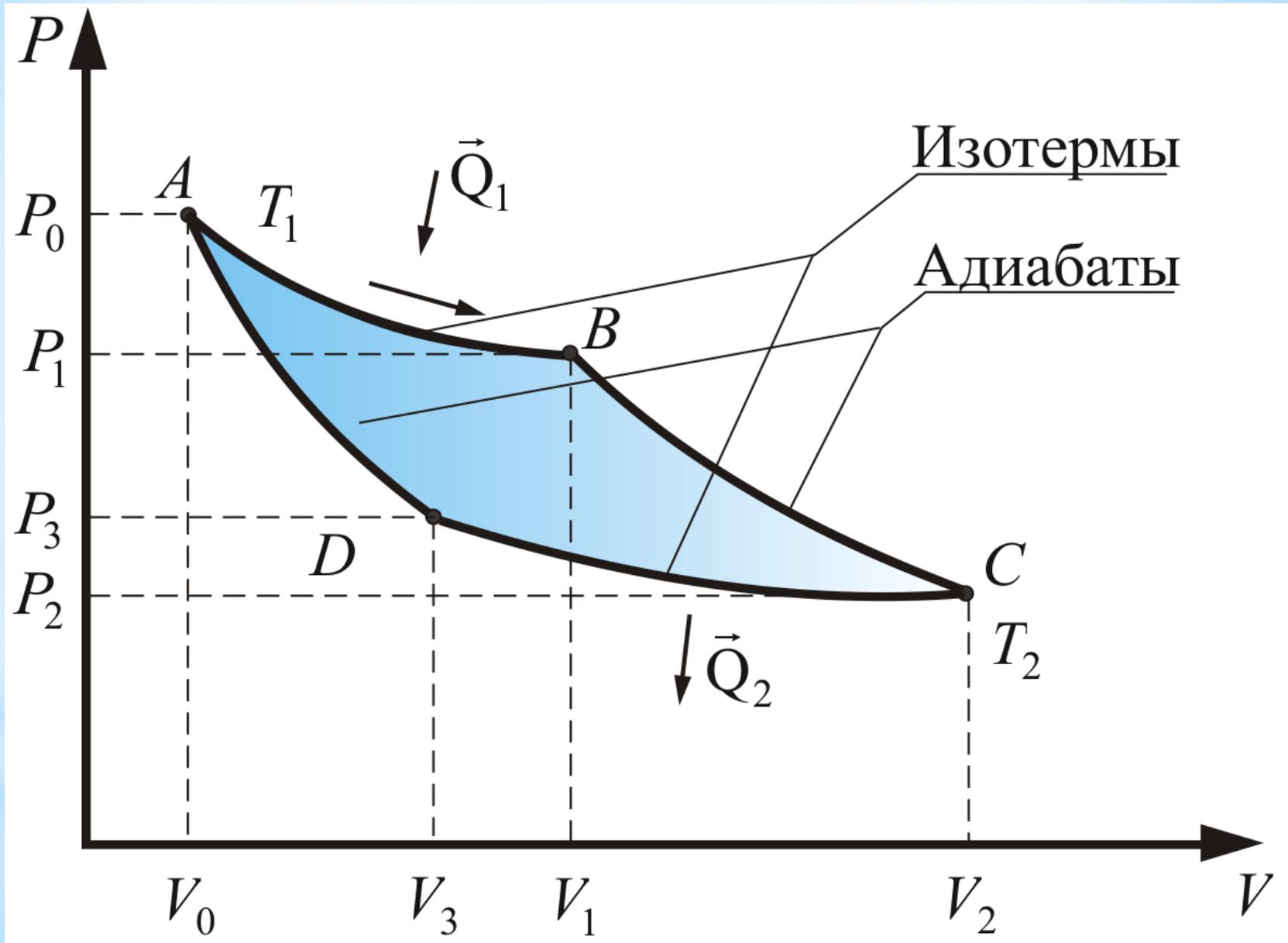
Цикл Карно состоит из **двух равновесных изотермических процессов** и **двух равновесных адиабатических процессов**. В качестве рабочего тела используется идеальный газ. Тепловую машину, работающую по циклу Карно, называют машиной Карно, или *идеальной тепловой машиной*

Николя Леонар Садикарно

(1796-1832)

Французский физик и инженер, один из создателей термодинамики. Ввел понятия кругового и обратимого процессов, идеального цикла тепловых машин. Показал преимущество применения в паровых машинах пара высокого давления и его многократного расширения, сформулировал принцип работы газовых тепловых машин. Пришел к понятию механического эквивалента теплоты.





Процесс А-В – изотермическое расширение

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

Процесс В-С – адиабатическое расширение.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}, \quad \gamma - \text{коэффициент Пуассона.}$$

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

Процесс C-D – изотермическое сжатие

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

Процесс D-A – адиабатическое сжатие.

$$\left(\frac{V_3}{V_0} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2} \quad A_4 = -\frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2)$$

$$A = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_0} + \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} -$$
$$- RT_2 \ln \frac{V_3}{V_2} - \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

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

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

Если $T_1 = \infty$, то $\eta = 1$, 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).

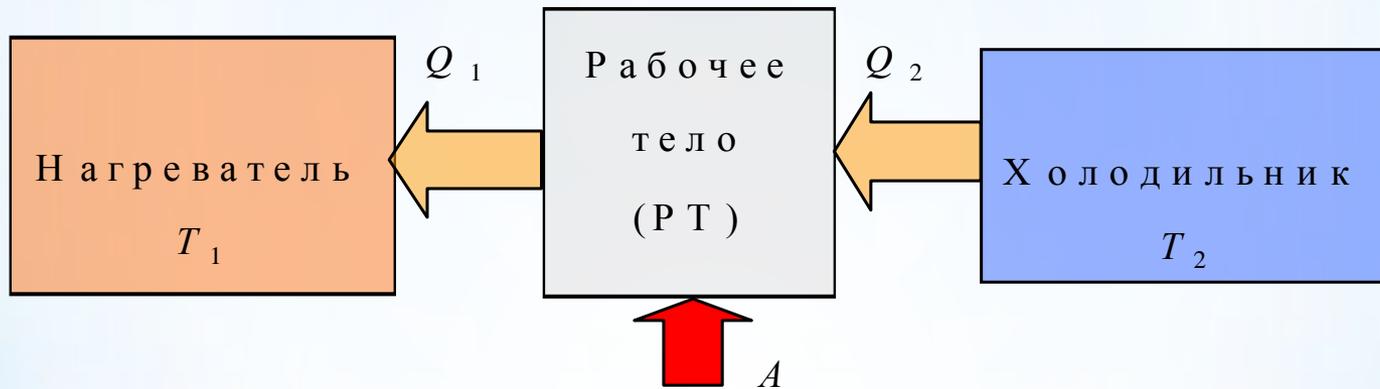
Цикл Карно является единственным равновесным и обратимым циклом среди всех возможных циклов, совершаемых при наличии нагревателя и холодильника.

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.

Обратный цикл. Принцип действия холодильной машины

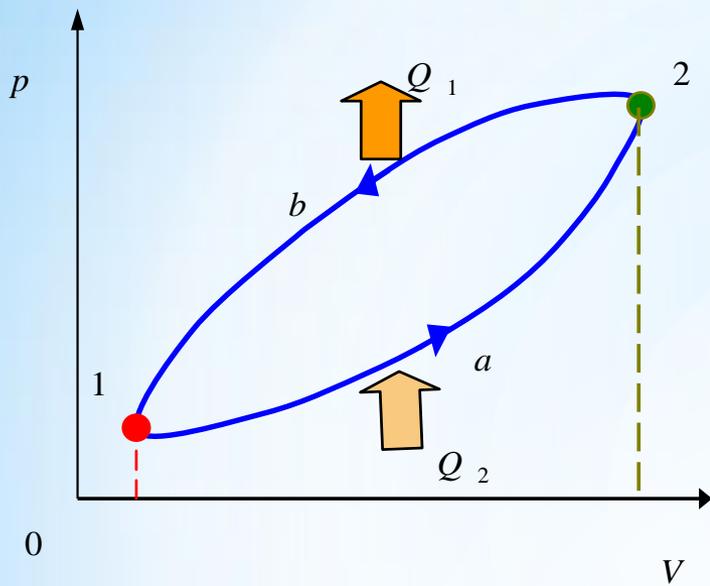
Работает по обратному циклу.



Q_2 – тепло отнятое от холодного тела.

Q_1 – тепло переданное нагревателю (более горячему телу).

$A = Q_1 - Q_2$ – работа, затрачиваемая на передачу тепла от более холодного к более горячему телу.



1a2: расширение РТ
с поглощением тепла Q_2 ,
2b1: сжатие РТ с
передачей нагревателю
тепла Q_1 .

Коэффициент преобразования холодильника:

$$\xi = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

Для холодильника, работающего по циклу Карно:

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

Обратным циклом называется цикл, на осуществление которого расходуется работа со стороны внешних по отношению к системе сил.

Для теплового насоса:

$$\xi = \frac{Q_1}{A} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}.$$

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



Конец лекции