

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПО ФИЗИКЕ НА ТЕМУ: “ЦИКЛ КАРНО”

Ученика 10 класса
ГБОУ СОШ № 1465

Маслова Тимофея

Французский физик и математик Сади Карно (1796 – 1832)



Немного биографии

- Французский физик и военный инженер Никола Леонар Сади Карно, один из основателей термодинамики, родился в Париже в семье видного государственного деятеля наполеоновской эпохи Лазара Карно. Он учился в знаменитой Политехнической школе и после её окончания в 1814 г. поступил добровольцем в инженерные войска под командование Наполеона Бонапарта, где и нес службу военного инженера вплоть до падения Наполеона в 1819 г. После этого Сади Карно оставил военную службу и занялся изучением наук, экономики и искусств. Карно впервые описал цикл в своём сочинении «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» в 1824 году.

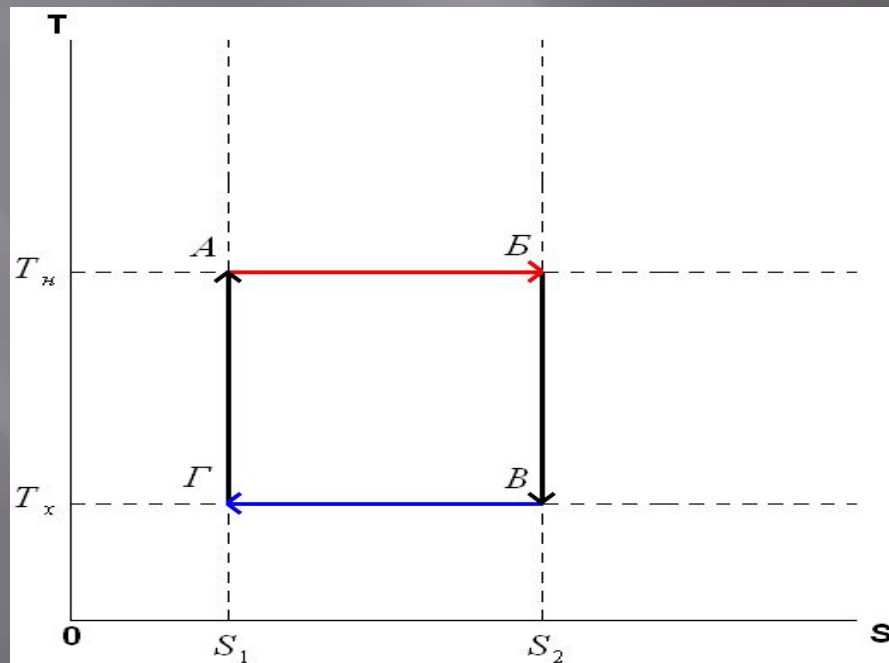
Цикл Карно

В термодинамике **цикл Карно́** или **процесс Карно** — это обратимый круговой процесс, состоящий из двух адиабатических и двух изотермических процессов. В процессе Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные, но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой называется нагревателем, а с более низкой температурой — холодильником.

- ▣ Поскольку обратимые процессы могут осуществляться лишь с бесконечно малой скоростью, мощность тепловой машины в цикле Карно равна нулю. Мощность реальных тепловых машин не может быть равна нулю, поэтому реальные процессы могут приближаться к идеальному обратимому процессу Карно только с большей или меньшей степенью точности. В цикле Карно тепловая машина преобразует теплоту в работу с максимально возможным коэффициентом полезного действия из всех тепловых машин, у которых максимальная и минимальная температуры в рабочем цикле совпадают соответственно с температурами нагревателя и

- Пусть тепловая машина состоит из нагревателя с температурой T_1 , холодильника с температурой T_2 и рабочего тела.
- Цикл Карно состоит из четырёх обратимых стадий, две из которых осуществляются при постоянной температуре (изотермически), а две — при постоянной энтропии (адиабатически). Поэтому цикл Карно удобно представить в координатах T (температура) и S (энтропия).
 - 1. *Изотермическое расширение* (на рис. 1 — процесс $A \rightarrow B$). В начале процесса рабочее тело имеет температуру T_1 , то есть температуру нагревателя. Затем тело приводится в контакт с нагревателем, который изотермически (при постоянной температуре) передаёт ему количество теплоты Q_1 . При этом объём рабочего тела увеличивается, оно совершает механическую работу, а его энтропия возрастает.
 - 2. *Адиабатическое расширение* (на рис. 1 — процесс $B \rightarrow C$). Рабочее тело отсоединяется от нагревателя и продолжает расширяться без теплообмена с окружающей средой. При этом температура тела уменьшается до температур

- 3. *Изотермическое сжатие* (на рис. 1 — процесс $B \rightarrow \Gamma$). Рабочее тело, имеющее температуру T_x , приводится в контакт с холодильником и начинает изотермически сжиматься под действием внешней силы, отдавая холодильнику количество теплоты. Над телом совершается работа, его энтропия уменьшается.
- 4. *Адиабатическое сжатие* (на рис. 1 — процесс $\Gamma \rightarrow A$). Рабочее тело отсоединяется от холодильника и сжимается под действием внешней силы без теплообмена с окружающей средой. При этом его температура увеличивается до температуры нагревателя, над телом совершается работа, его энтропия остаётся постоянной.



КПД тепловой машины Карно

- Количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя при изотермическом расширении

$$Q_H = \int T dS = T_H(S_2 - S_1) = T_H \Delta S$$

- Аналогично, при изотермическом сжатии рабочее тело отдаёт холодильнику количество теплоты

$$Q_X = T_X(S_2 - S_1) = T_X \Delta S$$

- Отсюда коэффициент полезного действия тепловой машины Карно равен

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

Первая и вторая теоремы Карно

- Из последнего выражения следует, что КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника, но не зависит ни от устройства машины, ни от вида или свойств её рабочего тела. Этот результат составляет содержание *первой теоремы Карно*. Кроме того, из него следует, что КПД может составлять 100 % только в том случае, если температура холодильника равна абсолютному нулю. Это невозможно, но не из-за недостижимости абсолютного нуля (этот вопрос решается только третьим началом термодинамики, учитывать которое здесь нет необходимости), а из-за того, что такой цикл или нельзя замкнуть, или он вырождается в совокупность двух совпадающих адиабат и изотерм.
- Поэтому максимальный КПД любой тепловой машины не может превосходить КПД тепловой машины Карно, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника. Это утверждение называется *второй теоремой Карно*. Оно даёт верхний предел КПД любой тепловой машины и позволяет оценить отклонение реального КПД от максимального, то есть потери энергии вследствие неидеальности тепловых процессов.

- Для того чтобы цикл был обратимым, в нём должна быть исключена передача теплоты при наличии разности температур, иначе нарушается условие адиабатичности процесса. Поэтому передача теплоты должна осуществляться либо в изотермическом процессе (как в цикле Карно), либо в эквидистантном процессе (обобщённый цикл Карно или, для примера, его частный случай цикл Брайтона). Для того чтобы менять температуру рабочего тела от температуры нагревателя до температуры холодильника и обратно, необходимо использовать либо адиабатические процессы (они идут без теплообмена и, значит, не влияют на энтропию), либо циклы с регенерацией тепла, при которых нет передачи тепла при разности температур. Мы приходим к выводу, что любой обратимый цикл может быть сведён

