

43 - Преобразование тепла в механическую работу. Тепловая машина. Цикл Карно.

Круговой процесс(цикл) – процесс, при котором система, пройдя через ряд превращений, возвращается в исходное состояние.

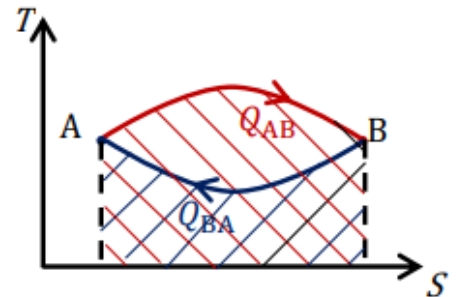
Построим процесс нагрева и охлаждения в координатах (T, S) , тогда тепло подводимое/отводимое к системе можно будет наглядно представить как площадь под графиком процесса:

$$Q_{AB} = \int_A^B T dS.$$

$dS > 0 \Rightarrow Q_{AB} > 0$ – тепло к системе подводится.

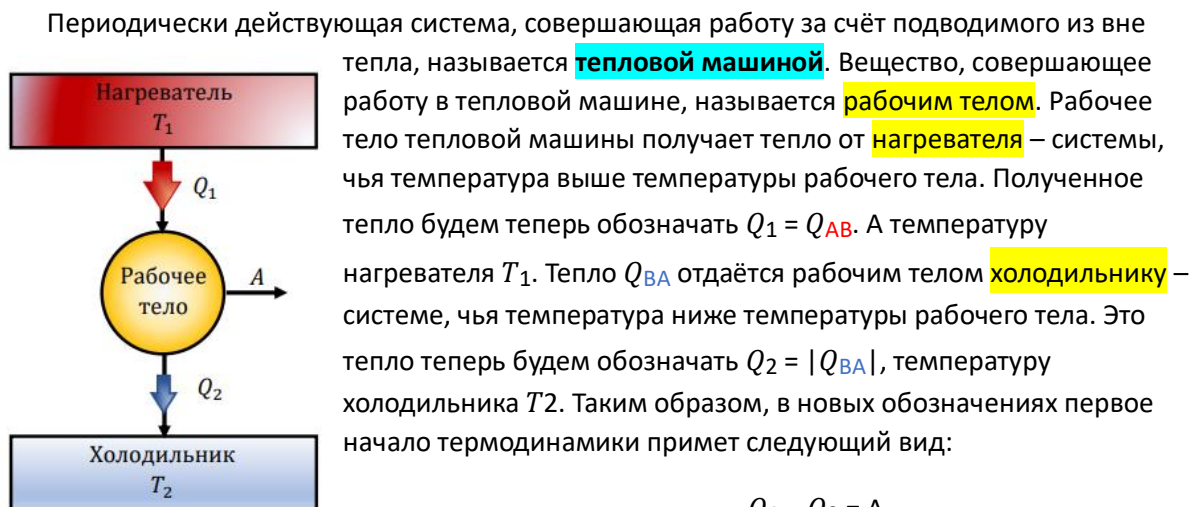
$$Q_{BA} = \int_B^A T dS.$$

$dS < 0 \Rightarrow Q_{BA} < 0$ – тепло от системы отводится.



В круговых процессах изменение внутренней энергии равно нулю!!!

Первое начало термодинамики для нашего цикла: $Q_{AB} + Q_{BA} = \Delta U + A$ или $Q_{AB} - |Q_{BA}| = A$.
Значит, всё тепло, которое система получила в цикле, она перевела в работу.



$$Q_1 - Q_2 = A.$$

Значит не всё тепло Q_1 , получаемое от нагревателя, можно потратить на совершение полезной работы. Часть тепла равная Q_2 должна быть возвращена холодильнику для того, чтобы тепловая машина работала непрерывно, и следовательно, использовать её для совершения работы нельзя.

Тепловые машины принято характеризовать коэффициентом полезного действия (КПД), который определяется как отношение совершаемой в цикле работы к получаемому за цикл теплу:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}, \quad \eta < 1.$$

Используя первое начало термодинамики, записанное для цикла, получаем следующее выражение для КПД тепловой машины:

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

Цикл Карно – цикл, обладающий максимальным значением коэффициента полезного действия при заданных температурах нагревателя и холодильника.

Если заставить тепловую машину работать по циклу, в котором её рабочее тело будет получать тепло при постоянной температуре от нагревателя, а отдавать тепло при постоянной температуре холодильника, то КПД такого цикла будет больше, чем КПД любого произвольного цикла, возможного для данной тепловой машины.

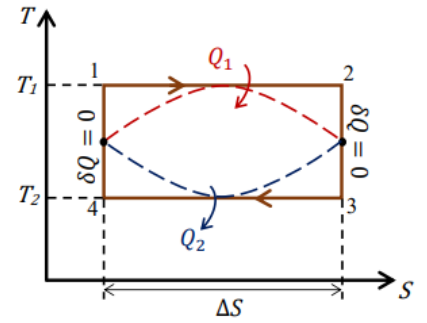
Наш цикл с максимальным КПД – это цикл, состоящий из двух изотерм 1 – 2, 3 – 4 и двух адиабат 2 – 3, 4 – 1.

Тепло, получаемое рабочим телом на изотерме T_1 участок 1 → 2:

Тепло, отдаваемое рабочим телом на изотерме T_2 участок 3 → 4:

$$\eta_{max} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \Delta S}{T_1 \Delta S}.$$

$$\eta_{max} = \eta_{карно} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$



$$Q_1 = \int_1^2 T dS = \int_1^2 T_1 dS = T_1 \int_1^2 dS = T_1 \Delta S$$

$$Q_2 = \left| \int_3^4 T dS \right| = \left| \int_3^4 T_2 dS \right| = T_2 \left| \int_3^4 dS \right| = T_2 \Delta S.$$

Теорема Карно:

Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур T_1 и T_2 нагревателя и холодильника, но не зависит от устройства машины, а также от вида используемого рабочего тела.

Цикл Карно в координатах (P, V) :

