

Билет №12

Необратимость процессов в природе. Тепловые машины, принцип их действия. Цикл Карно. КПД тепловой машины. КПД идеальной машины. Второе начало термодинамики.

Необратимость процессов в природе

Согласно первому закону термодинамики энергия ($Q = \Delta U + A$) не может быть создана или уничтожена, она может только передаваться от одной системы к другой. Но этот закон не устанавливает направления происходящих процессов.

Необратимые процесс — процесс, который может протекать только в одном направлении. То есть обратный процесс не может самопроизвольно протекать (без внешнего воздействия). Например, передача теплоты от горячего тела к холодному происходит, а самопроизвольное нагревание горячего тела и охлаждение холодного не происходит; падение стекла и разбиение — тоже необратимый процесс.

Обратимый процесс — процесс перехода системы из одного равновесного состояния в другое, который можно провести в обратном направлении через ту же последовательность промежуточных равновесных состояний. Например, механическое движение без трения, изотермическое сжатие\расширение.

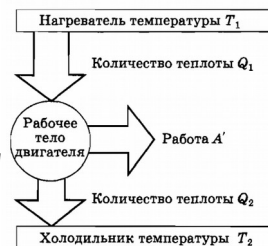
Тепловые машины

Тепловой двигатель — устройство, в котором происходит преобразование внутренней энергии в механическую.

Тепловой двигатель состоит из *нагревателя* (устройство, передающее теплоту рабочему телу, т. е. газу), *рабочего тела* (газ, расширение которого влечет совершение работы) и *холодильника* (тело, поглощающее неиспользованную рабочим телом теплоту, обычно — внешняя среда, атмосфера). Температура холодильника должна быть меньше температуры рабочего тела, так как иначе он не будет поглощать теплоту.

Коэффициент полезного действия (КПД, η) — скалярная физическая величина, численно равная отношению работы, совершенной рабочим телом, к количеству теплоты полученному от нагревателя. КПД часто выражается в процентах.

$$\eta = \frac{A_{\text{газа}}}{Q_{\text{нагр}}} = \frac{Q_{\text{нагр}} - |Q_{\text{хол}}|}{Q_{\text{нагр}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{хол}}|}{Q_{\text{нагр}}}$$



Второй закон (второе начало) термодинамики

	Р. Клаузиус	У. Кельвин
Формулировка	Невозможно такое устройство, единственным конечным результатом которого была бы передача тепла от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой. $T_1 > T_2$	Невозможно такое устройство, работающее циклами, единственным результатом которого было бы полное превращение энергии от источника в механическую работу.
Равносильность	<p>Пусть утверждение Клаузиуса верно, а утверждение Кельвина — нет. Поместим рабочее тело в адиабатическую рубашку, чтобы энергия от нагревателя шла лишь на совершение работы и не отдавалась холодильнику. Тогда температура внутри рубашки увеличивается, и, когда она станет больше T_1, более холодное тело будет нагревать более горячее.</p>	<p>Пусть утверждение Клаузиуса неверно, а утверждение Кельвина — верно. $A = Q_1 - Q_2$ — единственный результат, противоречащий утверждению Кельвина.</p>

Цикл Карно

Рассмотрим цикл из обратимых процессов: двух изотерм и двух адиабат. (12, 34 — изотермы, 23, 41 — адиабаты)

Для изотерм первый закон термодинамики

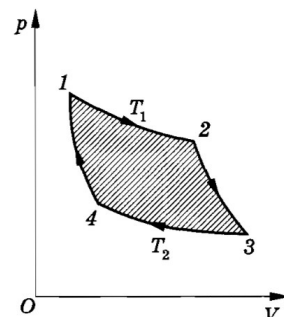
$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U = A_{12} = \nu R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \cdot \quad \eta = 1 - \frac{|Q_{34}|}{Q_{12}} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\ln \frac{V_4}{V_3}}{\ln \frac{V_1}{V_2}}$$

$$Q_{34} = A_{34} + \Delta U = A_{34} = \nu R T_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

Для адиабат уравнение Пуассона

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1}$$

$$T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$



Тогда $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \Rightarrow \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{V_3}{V_4} = -\ln \frac{V_4}{V_3}$. Подставляем в формулу КПД: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_{хол}}{T_{нагр}}$

Теорема Карно — любая реальная тепловая машина, работающая с нагревателем температуры T_1 и холодильником температуры T_2 не может иметь коэффициент полезного действия, превышающий КПД идеальной машины.

Доказательство:

Пусть $\eta' > \eta$ - КПД другой тепловой машины. Рассмотрим устройство, в котором работают эта машина и машина Карно (по обратному циклу в качестве холодильной машины) с общим нагревателем и холодильником.

Тепловая машина совершает работу $A' = \eta' Q_1' = \frac{\eta'}{1 - \eta'} |Q_2'|$.

Пусть холодильная машина забирает $Q_2 = |Q_2'|$. Тогда над ней совершается работа $A = \frac{\eta}{1 - \eta} |Q_2'|$.

Так как $\eta' > \eta$, $A' > A$. То есть при действии такого устройства остается избыточная работа, что противоречит второму закону ТД.

