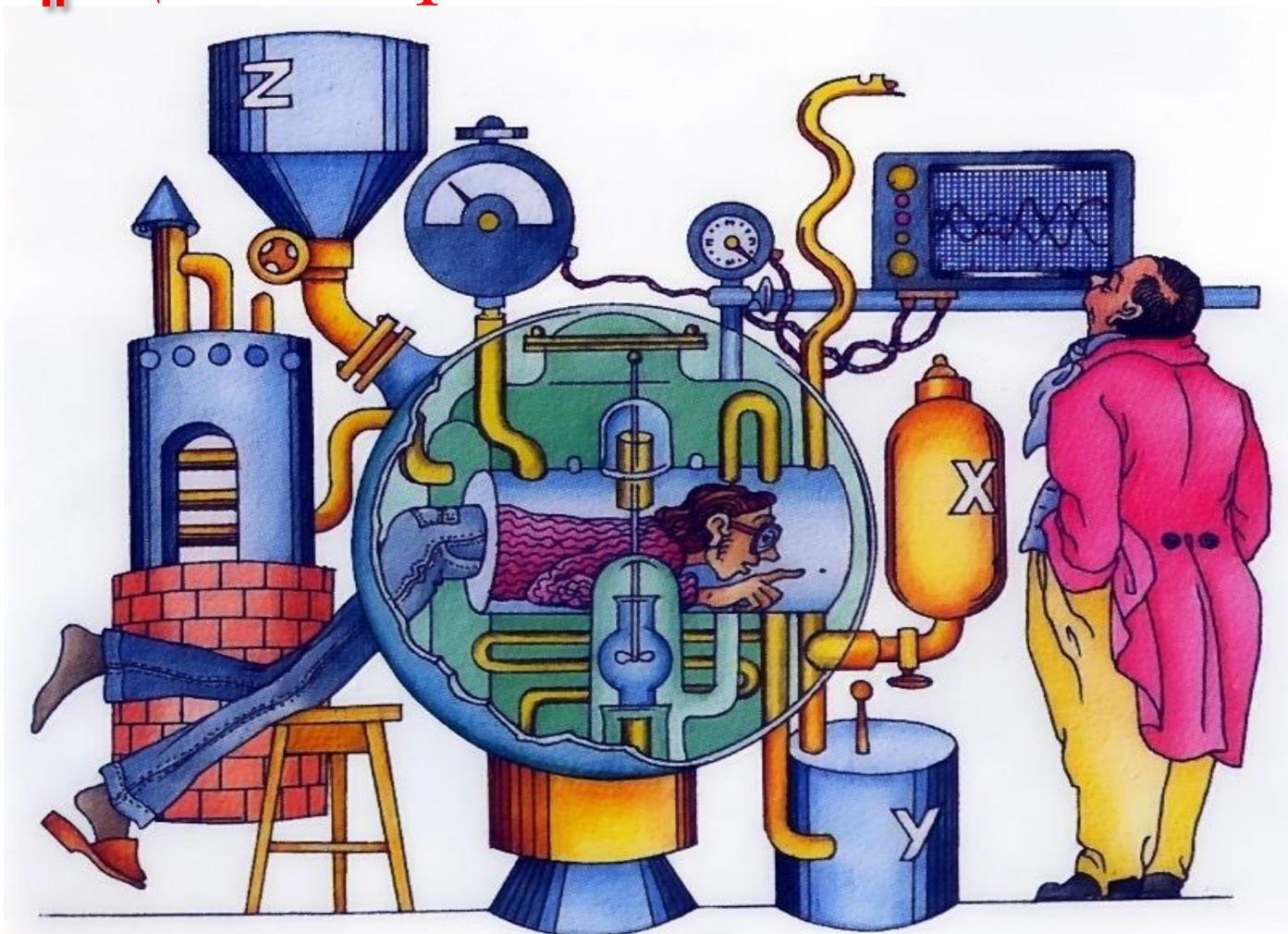


Второе начало термодинамики

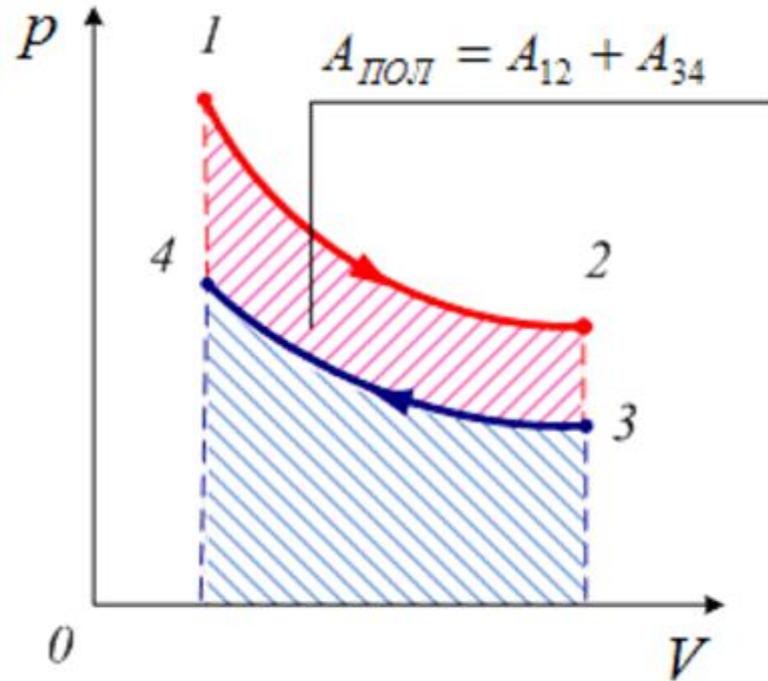
1. Идеальная тепловая машина. Цикл Карно.



Тепловые машины

Тепловая машина – это любое устройство, превращающее тепло в механическую работу.

Рабочее тело тепловой машины – это тело, совершающее механическую работу по действию тепла. Чаще всего рабочим телом является газ.



$A_{пол} \neq 0$

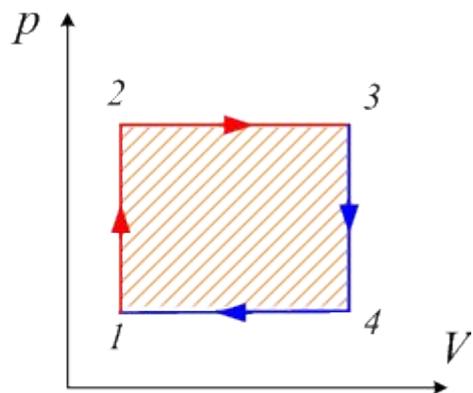
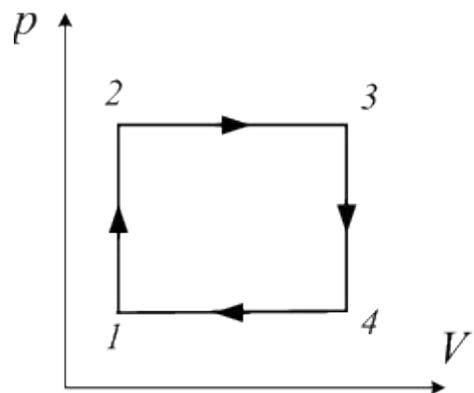
Замечание: часть количества теплоты, полученного газом от нагревателя в процессе расширения, пришлось передать холодильнику (телу с более низкой, чем у газа, температурой).

Вывод: особенность работы теплового двигателя: все количество теплоты, полученное газом от нагревателя, нельзя преобразовать в механическую энергию – часть его обязательно нужно передать холодильнику. Холодильник для тепловой машины так же необходим, как и нагреватель.

Вывод Карно:

для получения работы недостаточно иметь только источник теплоты (нагреватель), но необходим ещё и приёмник теплоты (холодильник). Холодильник необходим для обеспечения цикличности работы тепловой машины.

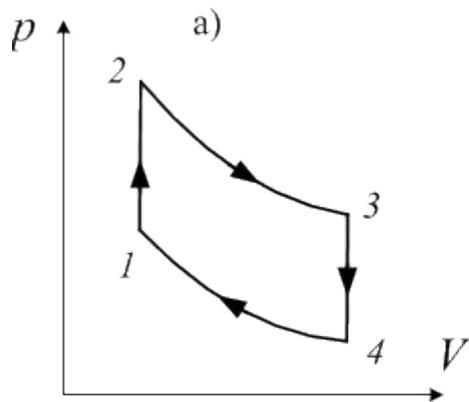
Некоторые возможные циклы тепловой машины



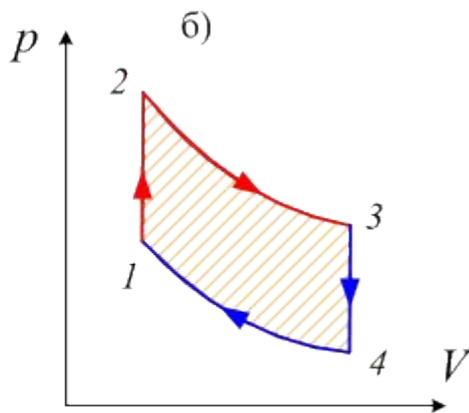
$$Q_H = Q_{12} + Q_{23}$$

$$Q_X = Q_{34} + Q_{41}$$

$$A = Q_H - Q_X$$



а)



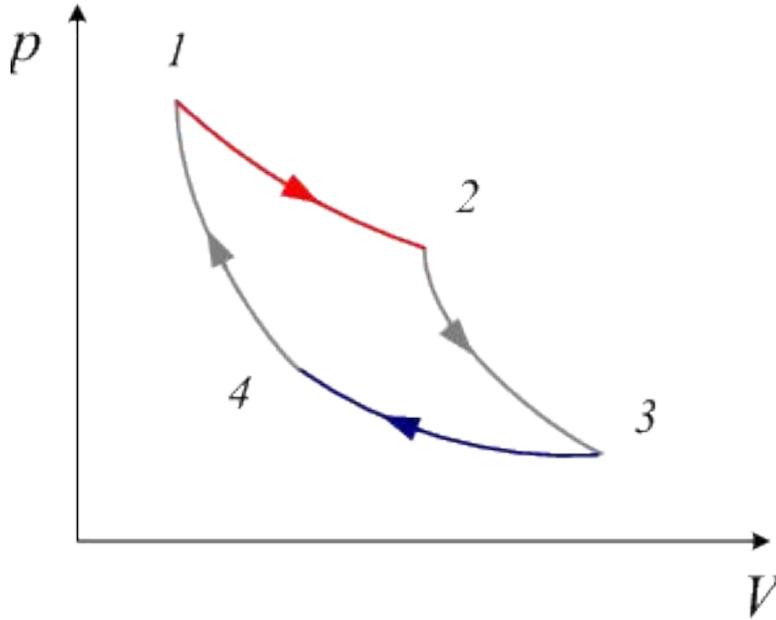
б)

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = Q_{12} + A_{23}$$

$$Q_X = Q_{34} + Q_{41}$$

$$A = Q_H - Q_X$$

Идеальный ТД. Цикл Карно



Верхняя изотерма отвечает расширению газа в тепловом контакте с нагревателем температуры T_1 , а нижняя — сжатию при контакте с холодильником температуры T_2 .

1 - 2 – изотермический подвод теплоты;

2 - 3 – адиабатическое расширение, рабочий ход двигателя;

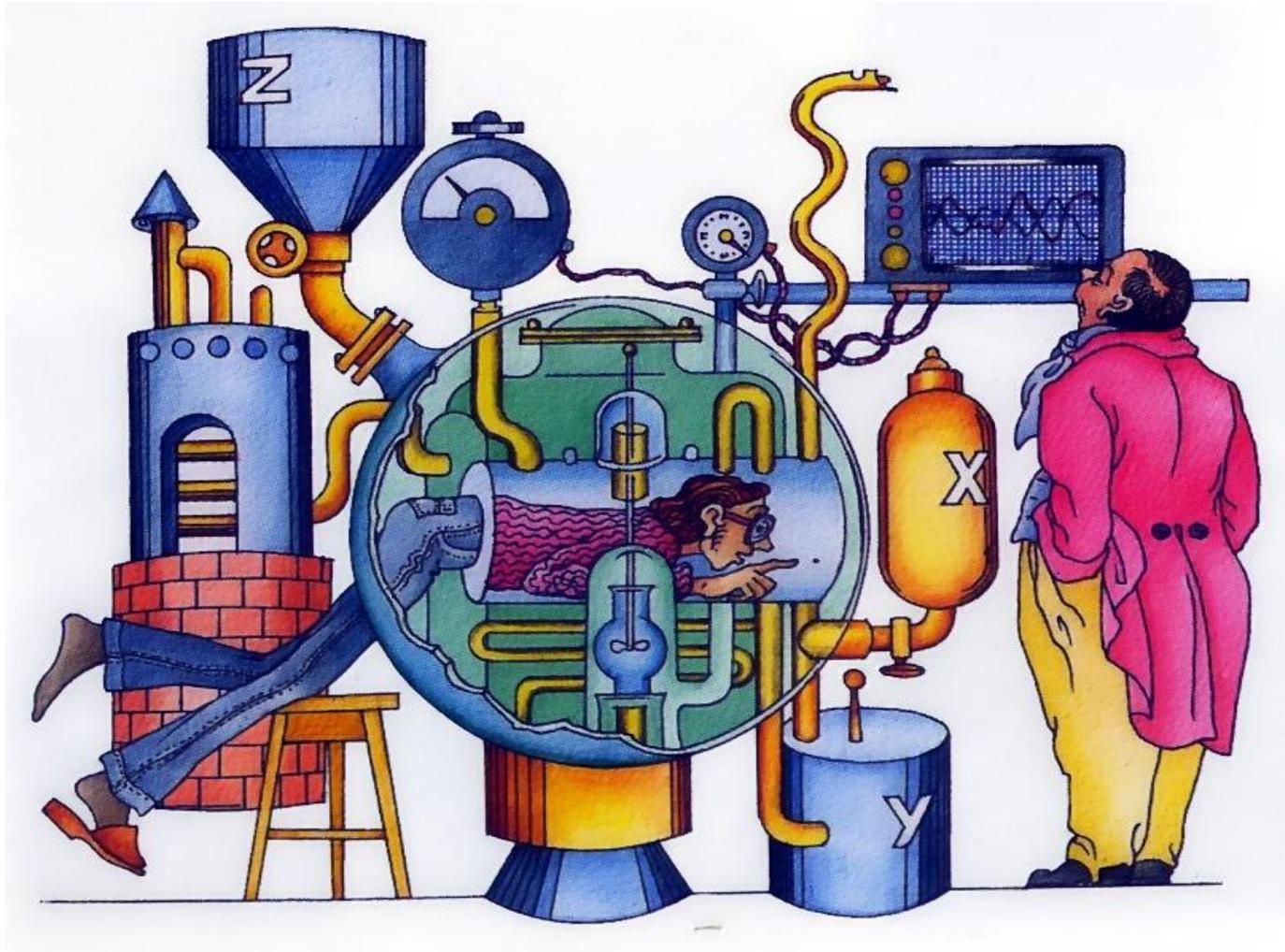
3 - 4 – изотермическая передача теплоты холодильнику;

4 - 1 – адиабатическое сжатие рабочего тела.

КПД тепловой машины – это отношение работы, совершённой за один цикл к количеству теплоты, подведённой к системе за этот же цикл, т.е.

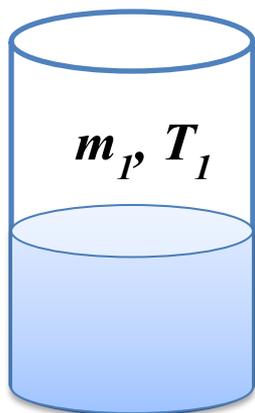
$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

2. Формулировки второго начала термодинамики Кельвина и Клаузиуса.

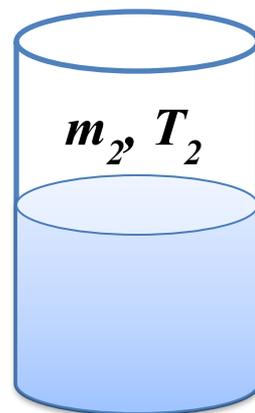


?

?



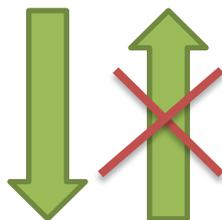
*с точки зрения
1-го начала ТД*



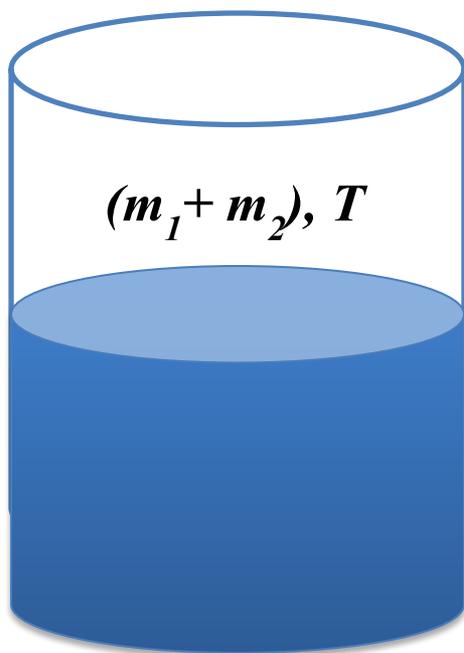
$$m_1 T_1 + m_2 T_2 = (m_1 + m_2) T$$

если $T_1 > T_2$, то

$$T_2 < T < T_1$$



реально



тело скользит



$A_{mg} \Rightarrow$ (трение) $Q \Rightarrow$ плоскость и тело нагрелись

$Q \Rightarrow A_{mg}$ за счет охлаждения
плоскости и тела

$$dU = \delta Q - \delta A$$

Вывод: изменить внутреннюю энергию системы можно только 2 способами: совершив работу или теплопередачей, т.е. путем воздействия других систем.

Т.о. в изолированной системе внутренняя энергия остается постоянной.

Невозможно совершать механическую работу только за счет охлаждения одного источника теплоты, например земной суши или океана, имеющих колоссальный запас энергии, без передачи тепла более холодному телу.

Формулировка Кельвина (Томсона) второго начала термодинамики.

"Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет охлаждения теплового резервуара"

Формулировка Клаузиуса второго начала термодинамики.

«Невозможен такой процесс, единственным результатом которого была бы передача тепла от менее нагретого тела к более нагретому»

Второе начало термодинамики устанавливает критерий, позволяющий предсказать, может ли процесс идти самопроизвольно.

КРИТЕРИЙ \Leftrightarrow 2-е начало ТД

В изолированной системе возможны только такие процессы, при которых возрастает ЭНТРОПИЯ!!!

3. Энтродпия

Клаузиус назвал *энтродпией* функцию состояния системы, определяемую

$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

Разность энтропии, определяющая изменения системы в результате ТД процесса

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Изменение энтропии идеального газа

Рассмотрим произвольный обратимый процесс в результате которого газ переходит из состояния T_1, p_1, V_1 в состояние T_2, p_2, V_2

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + \delta A}{T} \quad \longrightarrow \quad \Delta S = \frac{m}{\mu} R \left(\frac{i}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{V_2}{V_1} \right).$$

Приращение энтропии не зависит от вида процесса, а определяется только конечным и начальным состояниями системы, т.е. энтропия является функцией состояния системы.

$$\oint dS = \oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Это равенство выполняется только для *обратимых процессов*.

Обратимый процесс - это процесс, который может происходить как в прямом, так и в обратном направлении, и по возвращении системы в исходное состояние не происходит изменений ни в системе, ни в окружающей среде.

Свойства энтропии

1) Энтропия определена с точностью до произвольной постоянной

2) Энтропия - величина аддитивная

$$dS = \sum dS_i$$

3) При равновесных адиабатических процессах энтропия системы остается постоянной

4) В циклических процессах изменение энтропии равно нулю, если все процессы цикла обратимы и больше нуля

$$S = k \ln \Gamma. \quad S = k \ln W. \quad - \text{ формула Больцмана}$$

Величину Γ (или W) называют термодинамической вероятностью данного макросостояния системы.

Термодинамическая вероятность состояния системы - число способов, которым может быть реализовано данное состояние макроскопической системы, или число микросостояний, осуществляющее данное макросостояние.

Чем более упорядочена система, тем меньше число микросостояний, которыми может быть реализовано её макросостояние, тем меньше энтропия системы.

Энтропия – мера упорядоченности системы.

Равновесное состояние системы является её наиболее вероятным состоянием, следовательно, статистический вес (термодинамическая вероятность, число способов, которыми может быть реализовано это состояние) этого состояния максимален.

В состоянии равновесия энтропия системы максимальна.

Энтропия изолированной предоставленной самой себе системы будет возрастать до тех пор, пока не достигнет максимального значения, совместимого с условиями.

Переход от неупорядоченного к высокоупорядоченному состоянию характеризуется уменьшением энтропии. Каждый живой организм - открытая система. Для поддержания энтропии на низком уровне он отдает тепловую энергию в окружающую среду. При этом энтропия должна уменьшаться $\Delta S < 0$.

Это необходимое, но не достаточное условие, существования высокоупорядоченных структур.