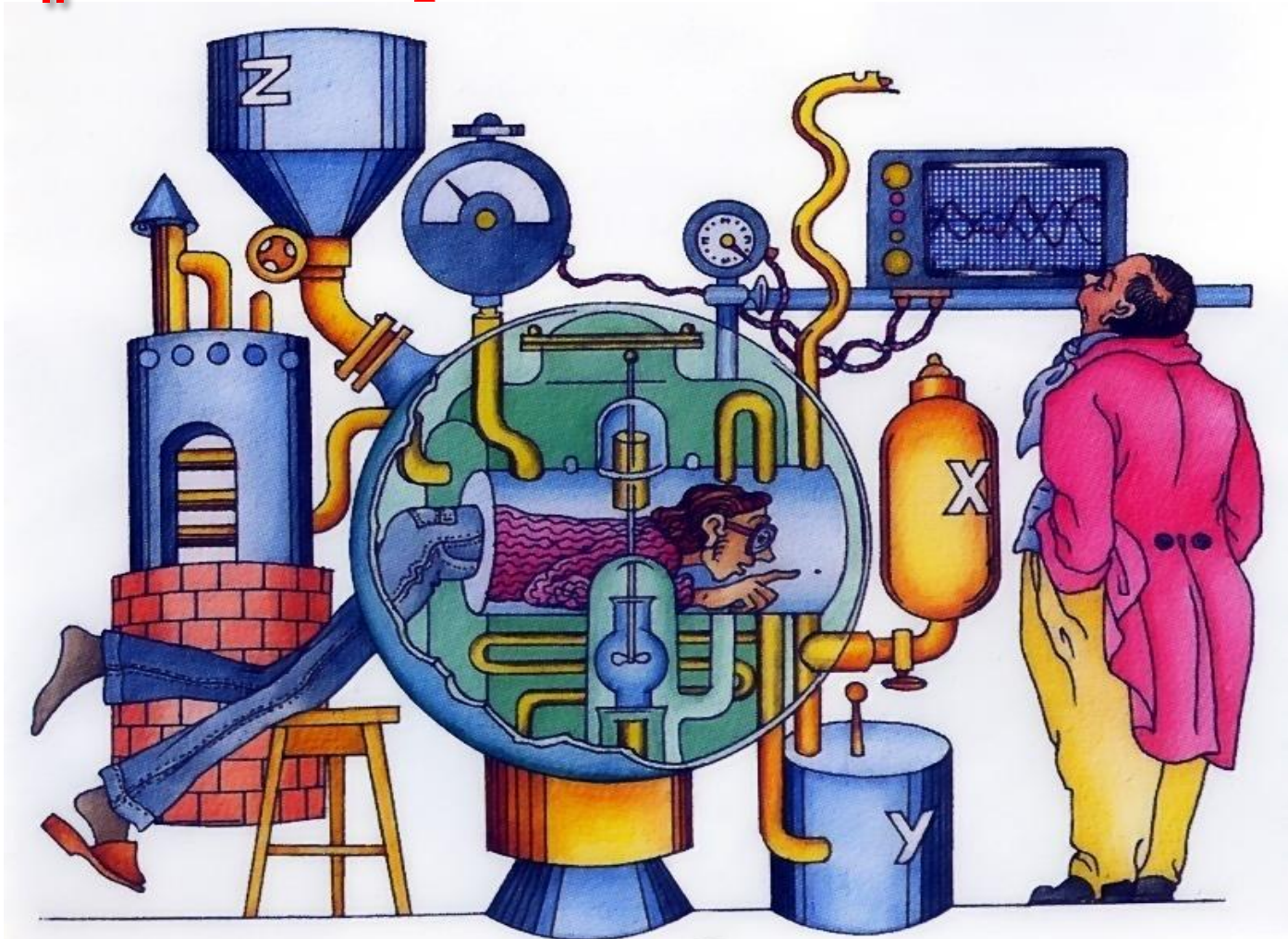


# Второе начало термодинамики

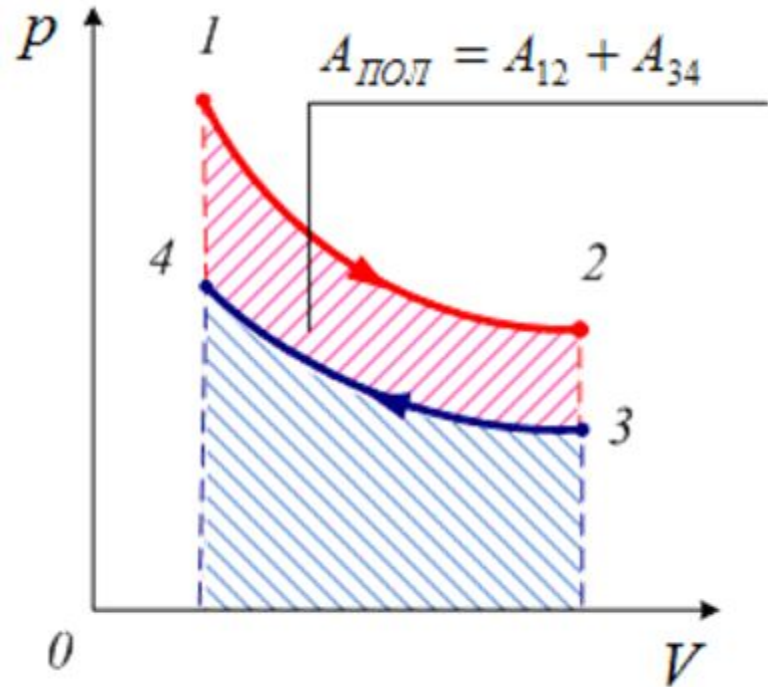
# 1. Идеальная тепловая машина. Цикл Карно.



## 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.



$A_{пол} \neq 0$

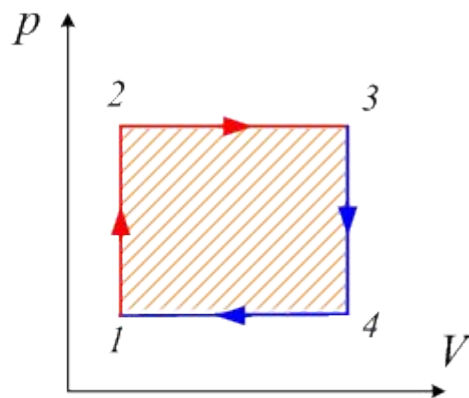
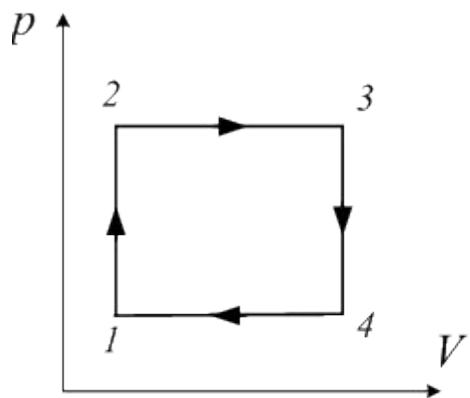
**Замечание:** часть количества теплоты, полученного газом от нагревателя в процессе расширения, пришлось передать холодильнику (телу с более низкой, чем у газа, температурой).

**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.

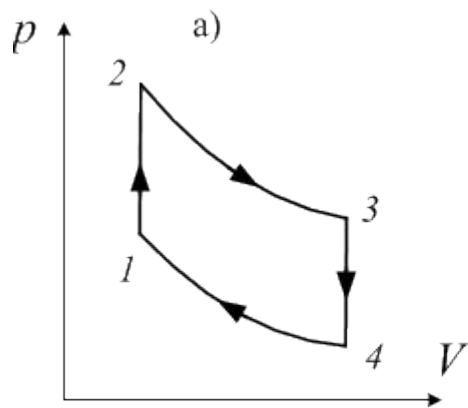
## Некоторые возможные циклы тепловой машины



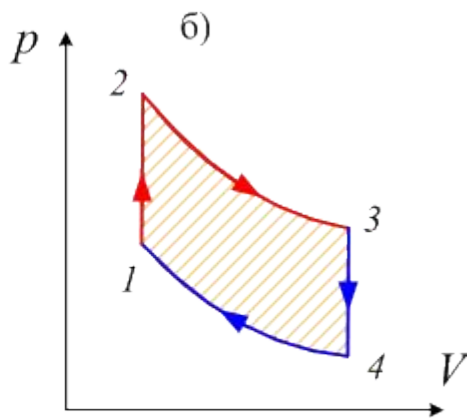
$$Q_H = Q_{12} + Q_{23}$$

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

$$A = Q_H - Q_X$$



a)



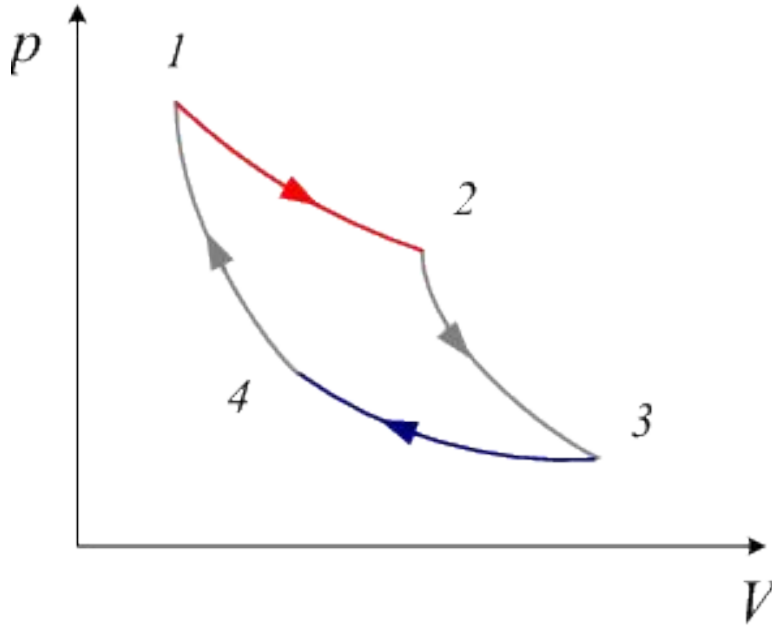
б)

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

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

$$A = Q_H - Q_X$$

## 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;

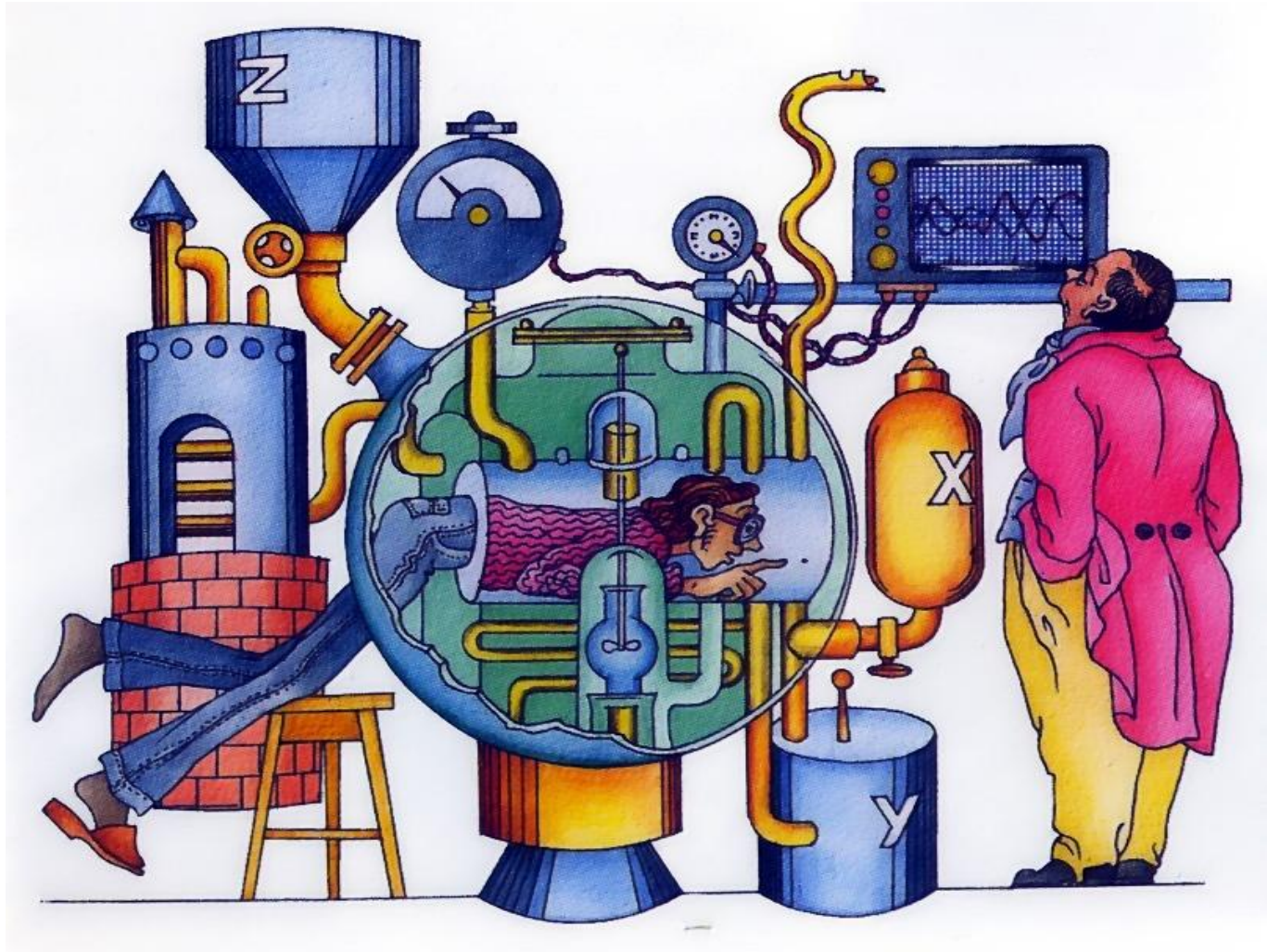
$4 - 1$  – адиабатическое сжатие рабочего тела.

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

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

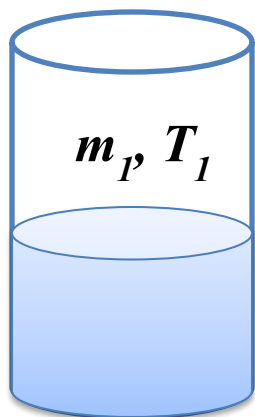


## 2. Формулировки второго начала термодинамики Кельвина и Клаузиуса.

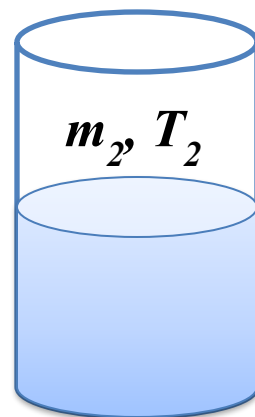


?

?



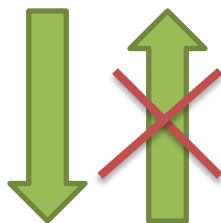
*с точки зрения  
1-го начала ТД*



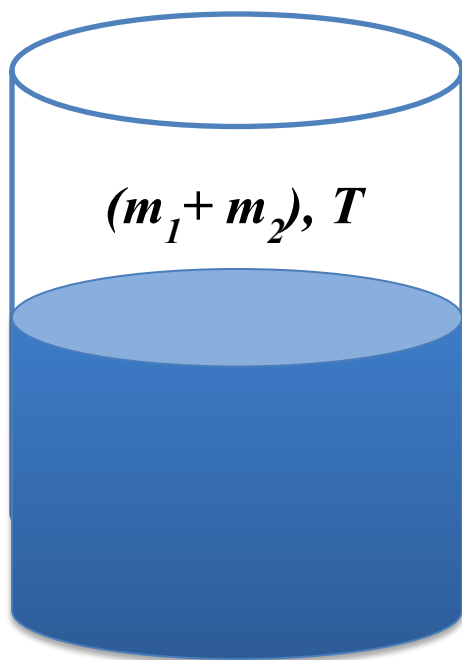
$$m_1 T_1 + m_2 T_2 = (m_1 + m_2) T$$

*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. Энтропия

Клаузиус назвал *энтропией* функцию состояния системы, определяемую

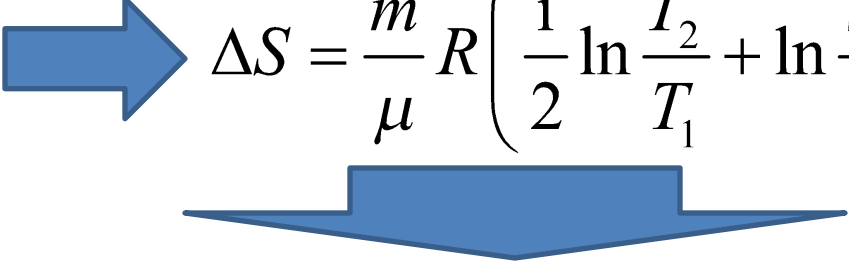
$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

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  $\Gamma$  (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.