

Тема: Тепловые машины. Энтропия

Самопроизвольным называется процесс, происходящий без воздействия внешних сил.

В природе существует два вида термодинамических процессов: *обратимые* и *необратимые*.

Обратимым называется процесс, при котором возвращение системы в первоначальное состояние не сопровождается какими-либо изменениями в окружающей среде.

Необратимым называется процесс, при котором возвращение системы в первоначальное состояние сопровождается какими-либо изменениями в окружающей среде.

Круговым процессом (или **циклом**) называется термодинамический процесс, в результате которого термодинамическая система возвращается в исходное состояние.

Тепловая машина

Тепловой машиной называется устройство, превращающее внутреннюю энергию источника теплоты в механическую работу.

Некоторые виды тепловых машин:

- паровая машина;
- паровая турбина;
- двигатель внутреннего сгорания;
- реактивный двигатель.

Тепловыми двигателями называются машины, предназначенные для преобразования тепловой энергии в механическую работу.

Любой тепловой двигатель, независимо от его конструктивных особенностей, состоит из трех основных частей:

- **рабочее тело** (это вещество, совершающее работу в тепловой машине (обычно это газ или пар, так как именно в газообразном состоянии вещество сильнее всего расширяется при нагревании),

- **нагреватель** (это тело или окружающая среда с температурой больше температуры рабочего тела, которые передают тепловую энергию рабочему телу),

- **холодильник** (это тело или окружающая среда с температурой меньше температуры рабочего тела, которые поглощают часть тепловой энергии от рабочего тела).

Условия, необходимые для работы периодического теплового двигателя

1. Наличие рабочего тела (обычно газ или пар).
2. Использование при работе кругового процесса.
3. Наличие нагревателя и холодильника.

Термический КПД тепловой машины

Для характеристики экономичности различных двигателей вводят понятие *коэффициента полезного действия*.

Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя η (эта) называется величина, равная отношению полезной работы A , совершенной двигателем, к количеству теплоты, полученной от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где η (эта) – КПД теплового двигателя, безразмерная;

A – полезная работа двигателя, Дж;

Q_1 и Q_2 — количество теплоты, полученное рабочим телом двигателя от нагревателя Q_1 и переданное холодильнику Q_2 , Дж.

Цикл Карно

В начале XIX века французский инженер Сади Карно предложил цикл, имеющий максимально возможный КПД при данных температурах нагревателя и холодильника.

Цикл Карно состоит из двух изотермических и двух адиабатных процессов.

Цикл Карно – самый эффективный из всех возможных циклов тепловых двигателей.

Идеальной тепловой машиной называется воображаемая машина, работающая по циклу Карно.

КПД идеальной тепловой машины можно определить по **теореме Карно**:

Термический КПД цикла Карно не зависит от физических и химических свойств рабочего тела, а определяется лишь абсолютной температурой нагревателя T_1 и холодильника T_2

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 — температура нагревателя, К; а T_2 — температура холодильника, К.

Для идеальной тепловой машины справедливо так же и формула для определения КПД реальной тепловой машины:

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

Энтропия

Существует два определения энтропии:

1. термодинамическое (как её ввел Клаузиус);
2. статистическое (как её ввел Больцман):

1. *Энтропией термодинамической системы* в данном состоянии называется скалярная величина, равная

$$S = \int_0^{T_1} \frac{\delta Q}{T},$$

где δQ - элементарное количество теплоты, переданное термодинамической системе, при температуре T .

Это определение в основном используется в термодинамике.

2. *Энтропией термодинамической системы* в данном состоянии называется скалярная величина, равная

$$S = k \ln \Omega,$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ - постоянная Больцмана,

Ω - статистический вес данного термодинамического состояния системы.

Статистический вес показывает число микросостояний системы, которыми может быть реализовано данное макросостояние.

(то есть $\Omega=100$ означает, что существует 100 способов, которыми можно осуществить данное состояние системы).

Это определение в основном используется в теоретической физике.

Обе формулировки в итоге оказываются эквивалентными.

Физический смысл энтропии раскрыл несколько позже Больцман в рамках статистической физики:

энтропия системы определяет вероятность нахождения термодинамической системы в данном состоянии

$$p \sim e^{\frac{S}{k}},$$

где p - вероятность нахождения системы в данном термодинамическом состоянии; S - энтропия системы;

$e = 2.72$ - основание натурального логарифма (Неперово число);

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ - постоянная Больцмана.

Энтропия является функцией состояния и определяется с точностью до какой-то постоянной величины, поэтому смысл имеет лишь её изменение при переходе системы из состояния 1 в состояние 2.

Разность энтропий в двух состояниях системы при обратимом процессе равна

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

Энтропия системы при обратимом цикле

Энтропия изолированной термодинамической системы, совершающей обратимый цикл, не изменяется с течением времени, то есть

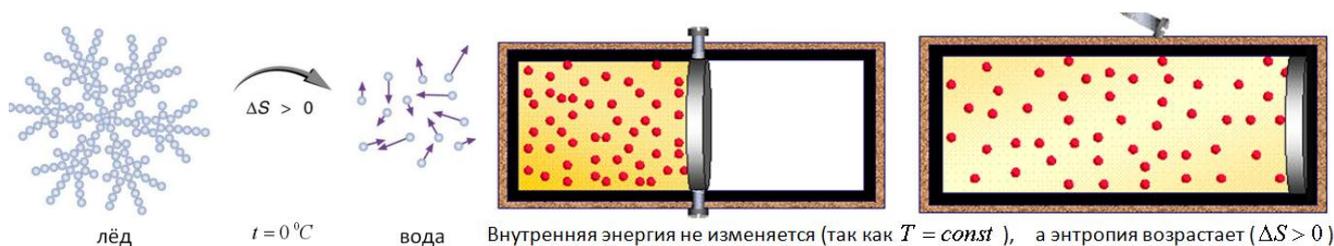
$$\Delta S = 0.$$

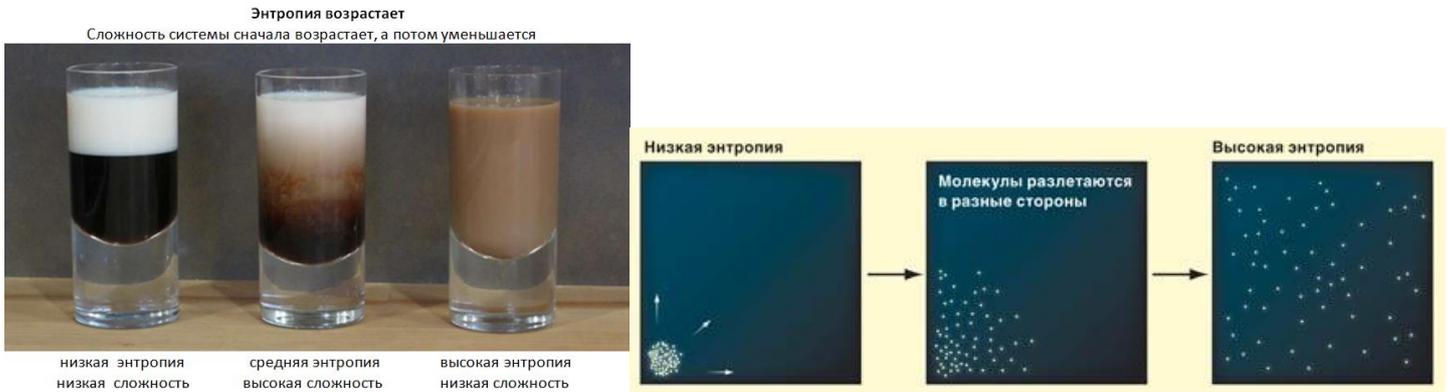
Энтропия неизолированной термодинамической системы, совершающей обратимый цикл, может как увеличиваться (если $\delta Q > 0$), так и уменьшаться (если $\delta Q < 0$).

Энтропия системы при необратимом цикле

Энтропия изолированной термодинамической системы, совершающей необратимый цикл, всегда возрастает с течением времени, то есть

$$\Delta S > 0.$$





Эти все рисунки делать не нужно

Основные свойства энтропии

1. Энтропия является *функцией состояния* (то есть её величина не зависит от того, каким способом система оказалась в данном термодинамическом состоянии),
2. энтропия *величина аддитивная* (то есть энтропия системы равна сумме энтропий каждой части системы),
3. в состоянии устойчивого термодинамического равновесия энтропия системы достигает максимального значения,
4. в случае равновесного (то есть обратимого) кругового процесса энтропия системы не изменяется $\Delta S = 0$,
5. энтропия системы определяет вероятность её нахождения в данном термодинамическом состоянии $p \sim e^{\frac{S}{k}}$,
6. понятие энтропии имеет двойное толкование:

макроскопическое $S = \int_0^{T_1} \frac{\delta Q}{T}$ и микроскопическое $S = k \ln \Omega$.

Второе начало термодинамики

(определяет направление протекания всех реальных термодинамических процессов)

Существует несколько эквивалентных формулировок второго начала термодинамики, но все они определяют *направление протекания термодинамических процессов*.

Второе начало термодинамики:

в циклически действующем тепловом двигателе невозможно полностью преобразовать все количество теплоты, полученное от нагревателя, в механическую работу.

В этой формулировке отражён тот опытный факт, что невозможно создать тепловую машину, состоящую только из нагревателя и рабочего тела. Для того, чтобы тепловая машина могла совершать непрерывно положительную работу, обязательно должен быть ещё и холодильник.

Используя понятие энтропии, второе начало термодинамики можно сформулировать по-другому.

Второе начало термодинамики (закон возрастания энтропии):

Энтропия замкнутой термодинамической системы при любых процессах остаётся неизменной в случае обратимых процессов, либо возрастает в случае необратимых процессов, то есть

$$S \geq 0$$

В этом состоит физический смысл второго начала термодинамики: все реальные процессы в изолированной системе протекают в сторону возрастания энтропии.

Третье начало термодинамики (теорема Нернста)

(говорит о поведении энтропии системы вблизи абсолютного нуля температур)

Энтропия всех тел в состоянии термодинамического равновесия стремится к нулю при приближении их температуры к абсолютному нулю, то есть

$$\lim_{T \rightarrow 0} S \rightarrow 0.$$