

Второе начало термодинамики

- Формулировка Томсона (Кельвина) и формулировка Клаузиуса. Их эквивалентность.
- Равенство и неравенство Клаузиуса.
- Принцип максимального количества теплоты и принцип максимальной работы.
- Энтропия как функции состояния термодинамической системы.
- Закон неубывания энтропии в адиабатически изолированной системе как возможная формулировка второго начала термодинамики.
- Формула для изменения энтропии идеального газа в равновесном процессе.

Первое начало термодинамики

- **Нулевое начало термодинамики.** При термодинамическом равновесии все части системы будут иметь одинаковую температуру.
- **Первое начало термодинамики** (невозможность существования вечного двигателя первого рода, который совершал бы работу, не черпая энергию из какого-либо источника)

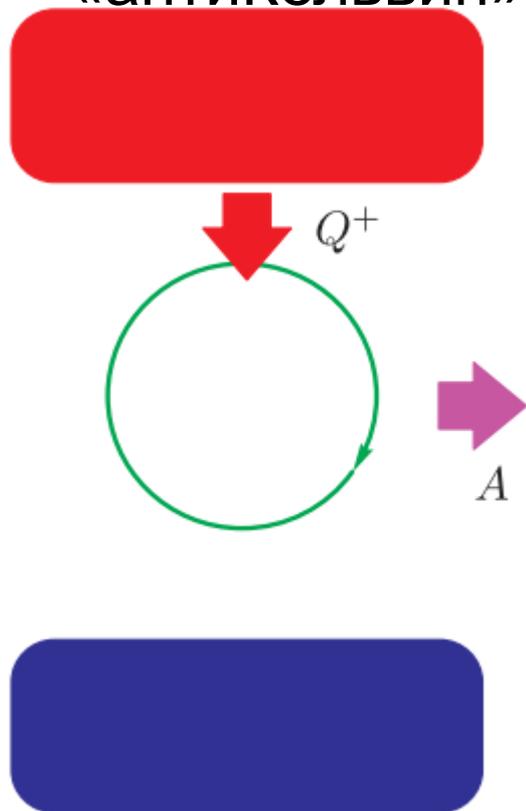
Первое начало термодинамики требует, чтобы при всех процессах соблюдался энергетический баланс, при этом оно не дает ответа на вопрос, **в каком направлении будут происходить процессы.** В частности, при тепловом контакте двух тел с различной температурой первое начало не запрещает, чтобы теплота переходила от холодного к горячему телу.

Второе начало термодинамики

- **Второе начало термодинамики (Формулировка Кельвина)**
 - невозможно создание циклического устройства (вечного двигателя второго рода), способного всю получаемую от нагревателя тепловую энергию преобразовать в работу.
- **Второе начало термодинамики (Формулировка Клаузиуса)**
 - невозможен циклический процесс, единственным результатом которого была бы передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.
- **Эквивалентность обеих формулировок**

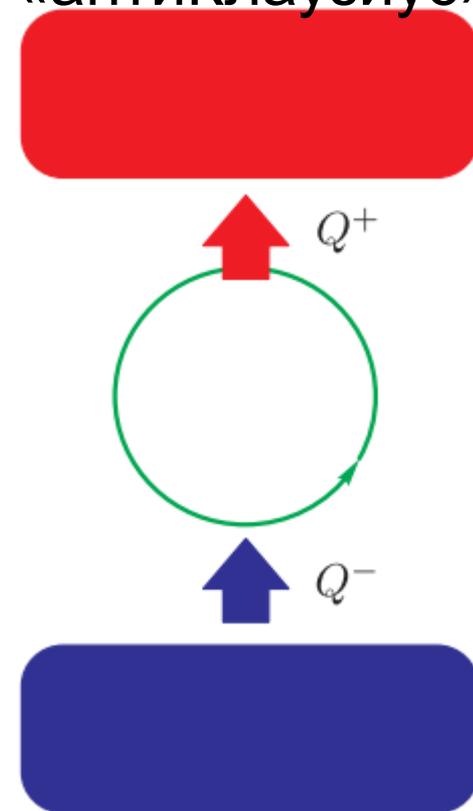
Эквивалентность обеих формулировок

вечный двигатель второго рода
«антиКельвин»



невозможно построить тепловую машину, у которой ($A=Q^+$, $Q^- = 0$, $\eta=1$)

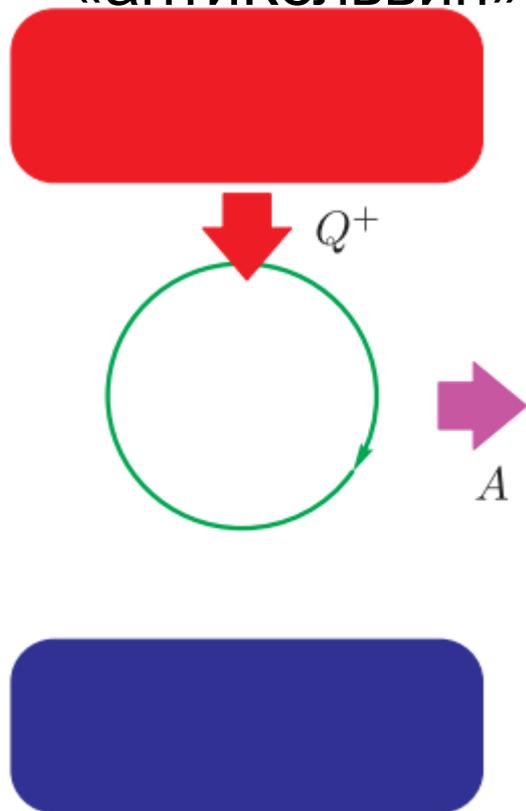
тепловой насос
«антиКлаузиус»



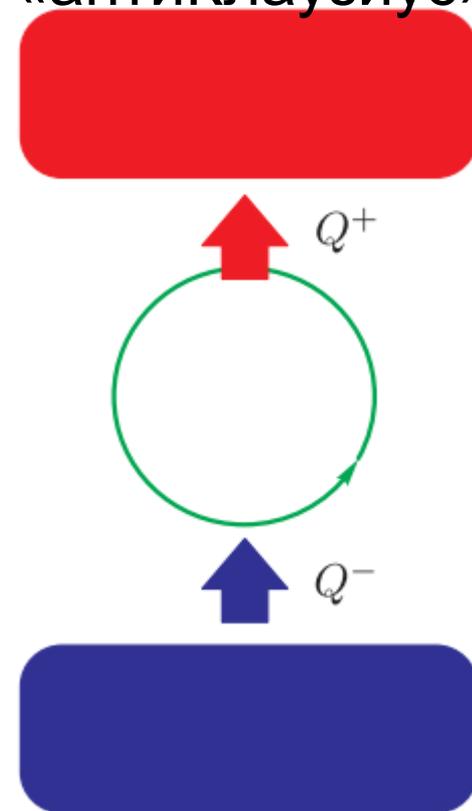
невозможно построить тепловой насос, у которого ($A=0$, $Q^+ = |Q^-|$)

Второе начало термодинамики

вечный двигатель второго рода
«антиКельвин»



тепловой насос
«антиКлаузиус»

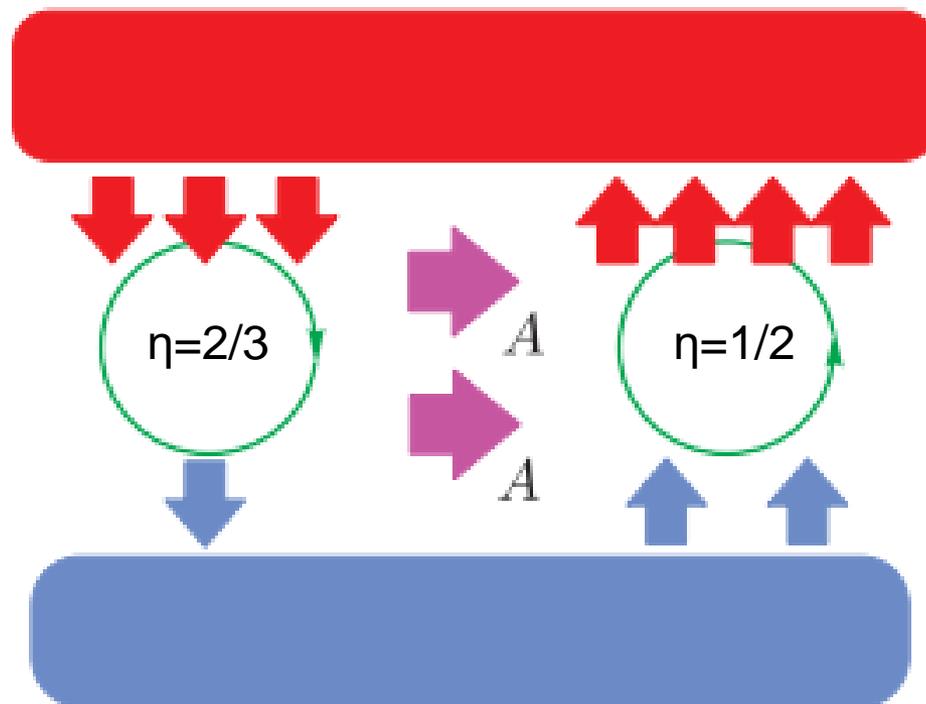


невозможно построить тепловую машину, у которой ($A=Q^+$, $Q^-=0$, $\eta=1$)

невозможно построить тепловой насос, у которого ($A=0$, $Q^+=|Q^-|$)

Первая теорема Карно

- **Первая теорема Карно:** КПД любой обратимой машины Карно определяется только температурами нагревателя и холодильника (т.е. не зависит от рода рабочего вещества и конструктивных деталей осуществления цикла).



Термодинамическое определение ЭНТРОПИИ

Развивая термодинамический подход, Клаузиус в 1865 г. предложил новое физическое понятие — энтропия.

Для обратимого процесса изменение энтропии

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

Энтропия одного моля идеального газа может быть представлена в виде

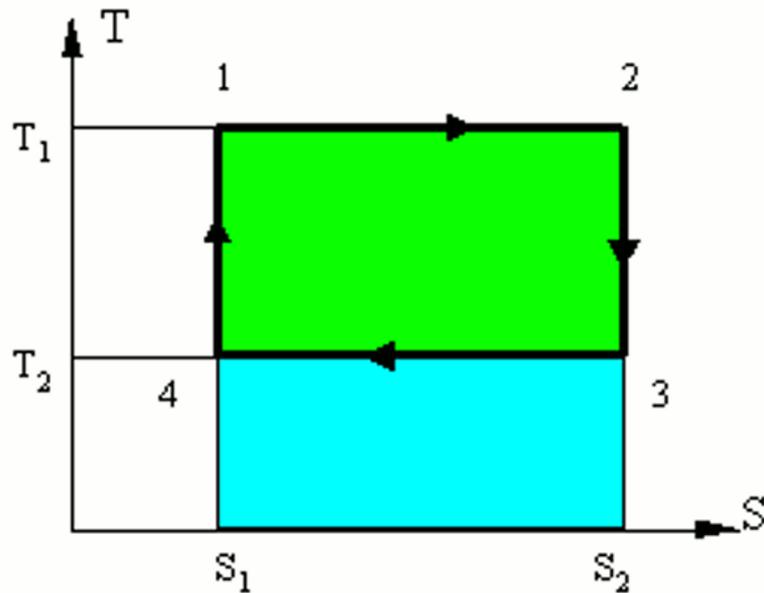
$$S(V, T) = C_V \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{V}{V_0}$$

Для замкнутого обратимого процесса следует **равенство Клаузиуса**

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

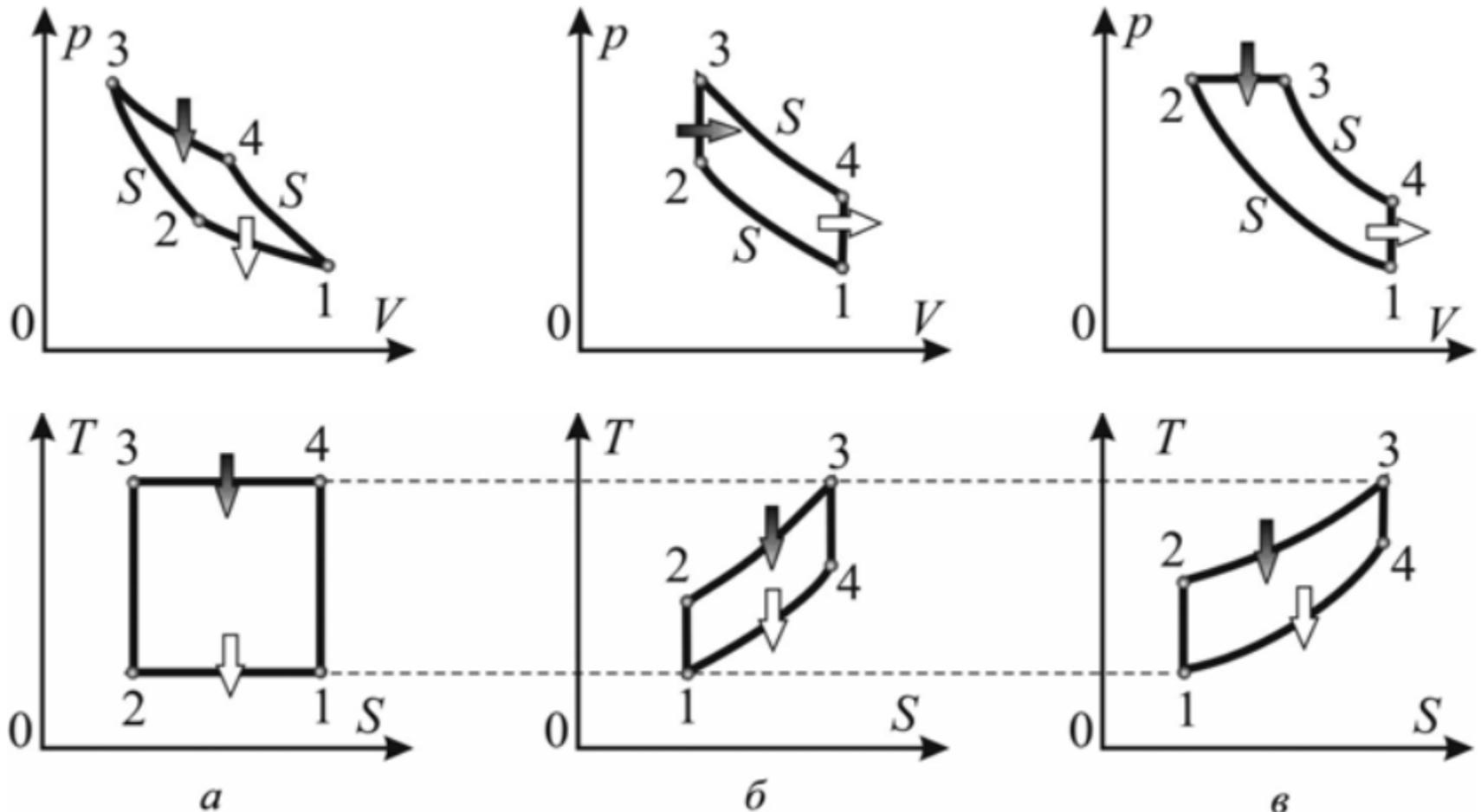
Энтропия

- Цикл Карно (TS).



- Формула для изменения энтропии идеального газа в равновесном процессе.

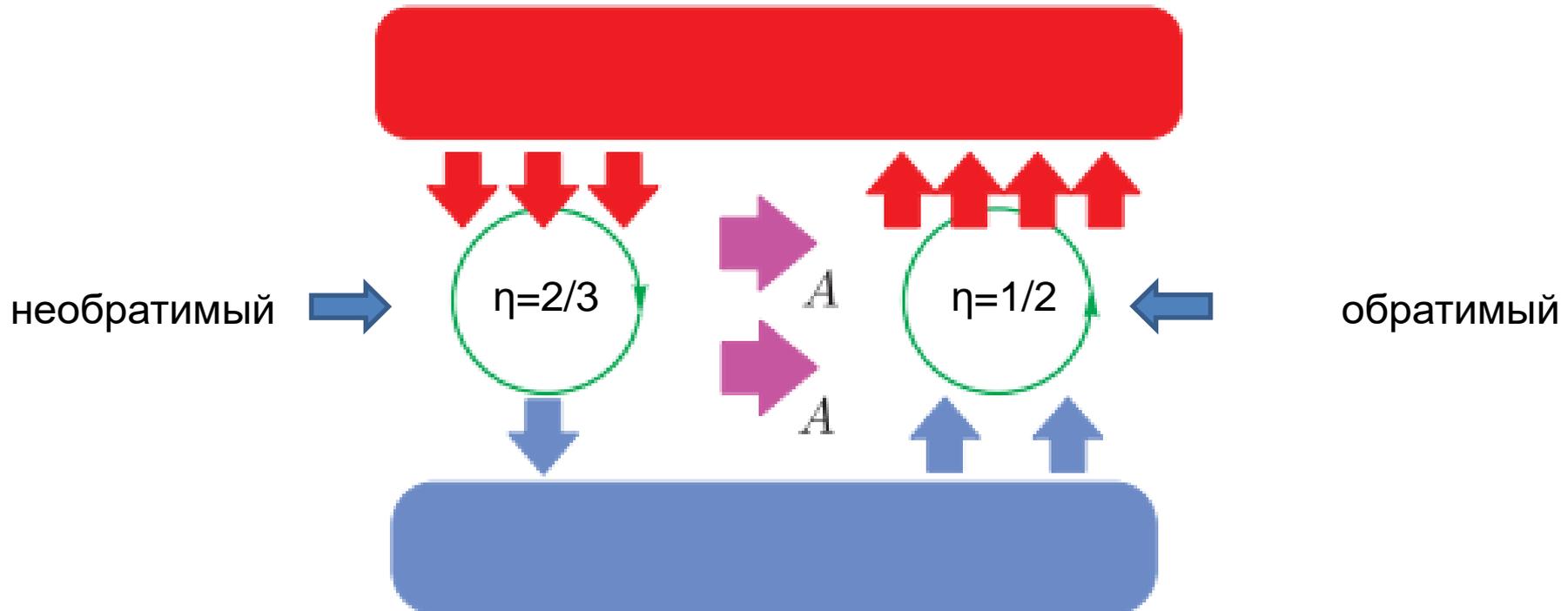
Графическое сравнение циклов



Графическое сравнение цикла Карно (а) с циклами Отто (б) и Дизеля (в), заданными на p - V и T - S диаграммах.

Вторая теорема Карно

- Вторая теорема Карно** : КПД необратимой машины Карно не может быть больше КПД обратимой машины Карно, если в обеих машинах используются одни и те же нагреватель и холодильник.



Неравенство Клаузиуса

- **Вторая теорема Карно** : КПД необратимой машины Карно не может быть больше КПД обратимой машины Карно, если в обеих машинах используются одни и те же нагреватель и холодильник.

$$1 + \frac{Q^-}{Q^+} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

неравенство Клаузиуса для необратимого цикла Карно

$$\frac{Q^+}{T_1} + \frac{Q^-}{T_2} \leq 0$$

Можно показать, что неравенство Клаузиуса справедливо и для любого необратимого цикла.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Теоремы Карно

- **Первая теорема Карно:** КПД любой обратимой машины Карно определяется только температурами нагревателя и холодильника (т.е. не зависит от рода рабочего вещества и конструктивных деталей осуществления цикла).
- **Вторая теорема Карно :** КПД необратимой машины Карно не может быть больше КПД обратимой машины Карно, если в обеих машинах используются одни и те же нагреватель и холодильник.
- ~~**Третья теорема Карно :**~~ обратимый цикл Карно имеет наибольший КПД по сравнению с любыми циклами в которых наибольшая и наименьшая температуры равны соответственно температурам нагревателя и холодильника в цикле Карно.

Энтропия

- Закон неубывания энтропии в адиабатически изолированной системе как возможная формулировка второго начала термодинамики, примеры.
- **Принцип максимальной работы:** при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое она может совершить максимально возможную работу только в том случае, если этот переход является квазистатическим.
- **Принцип максимального количества теплоты**

Термодинамические функции

Термодинамические потенциалы

- Термическое $f(P, V, T)=0$ и калорическое $U(V, T)=0$ уравнения состояния вместе с термодинамическим тождеством позволяют оперировать переменными P, V, T, U, S из которых только две независимые. Функции любых двух независимых переменных называются **термодинамическими функциями**. Таких функций можно придумать бесчисленное множество, однако для практических целей достаточно использовать их небольшое количество.
- Прежде всего, термодинамическими функциями являются P, V, T, U, S . Кроме них используются еще три функции, имеющие размерность энергии, получившие вместе с внутренней энергией название «**термодинамические потенциалы**».

Энтропия

- Основное термодинамическое тождество и примеры его применения в термодинамике
- Вывод формулы связи термического и калорического уравнений состояния
- Вывод формулы связи изобарической и изохорической теплоемкости в общем случае.