

ЕГЭ. ФИЗИКА

РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ

*Владимир Петрович Сафронов*

г. Ростов-на-Дону, 2015

звоните т. 8 928 111 7884

пишите [safron-47@mail.ru](mailto:safron-47@mail.ru)

# ТЕРМОДИНАМИКА

# Первый закон термодинамики

является законом сохранения энергии в динамических процессах.

$U$ , Дж — это внутренняя энергия системы, состоящая из энергии атомов и молекул,

Для идеального газа  $U = \nu \cdot C_v \cdot T$ , где  $\nu$  — количество молекул.

Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры динамических

Выражение для внутренней энергии идеального газа:

$$U = \nu \cdot C_v \cdot T$$

Изменение внутренней энергии идеального газа:

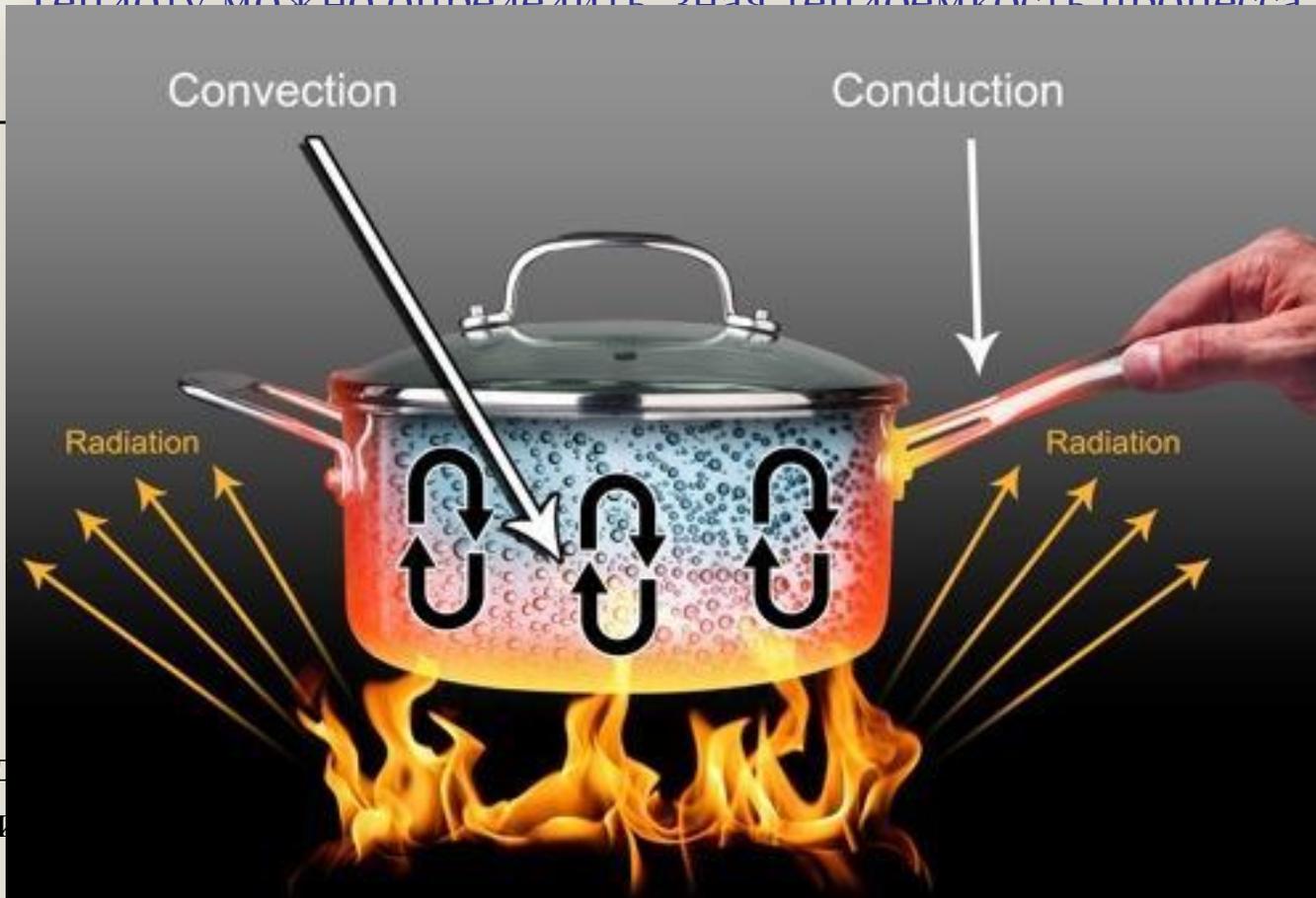
## Количество теплоты

$Q$ , Дж — это энергия, передаваемая системе в процессе теплообмена, т.е. без совершения механической работы: **теплопроводность, излучение, конвекция.**

Для изменения температуры системы на один градус в различных процессах требуется разное количество теплоты.

Теплоту можно определить, зная теплоемкость процесса

$C$ , Дж/К



$$C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

$$= \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{1}{m}.$$

$$\frac{\delta Q}{v dT} = \frac{1}{v}.$$

Удельная  
необход  
жидк

$$\Rightarrow Q_{\text{кип}} = r m.$$

Удельная

необходимое для плавления одного килограмма, кристаллического вещества, нагретого до температуры

$$\lambda = \frac{Q}{m} \Rightarrow Q_{\text{плав}} = \lambda m.$$

## Уравнение теплового баланса

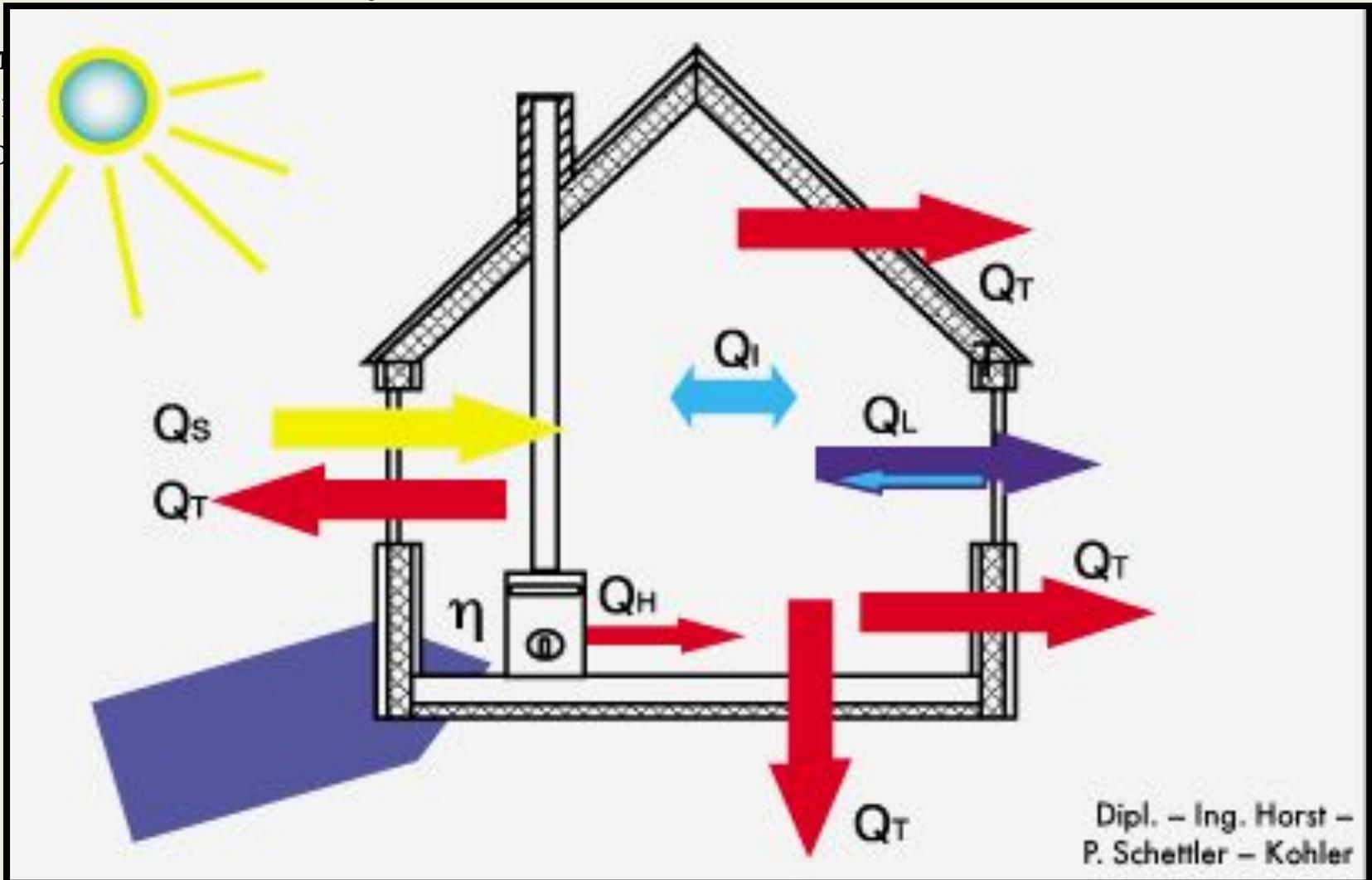
Преобразование энергии при изменении агрегатного состояния вещества:

При нагревании, плавлении, кипении теплота поглощается веществом, при охлаждении конденсации и кристаллизации — выделяется.

Уравнение теплового баланса:

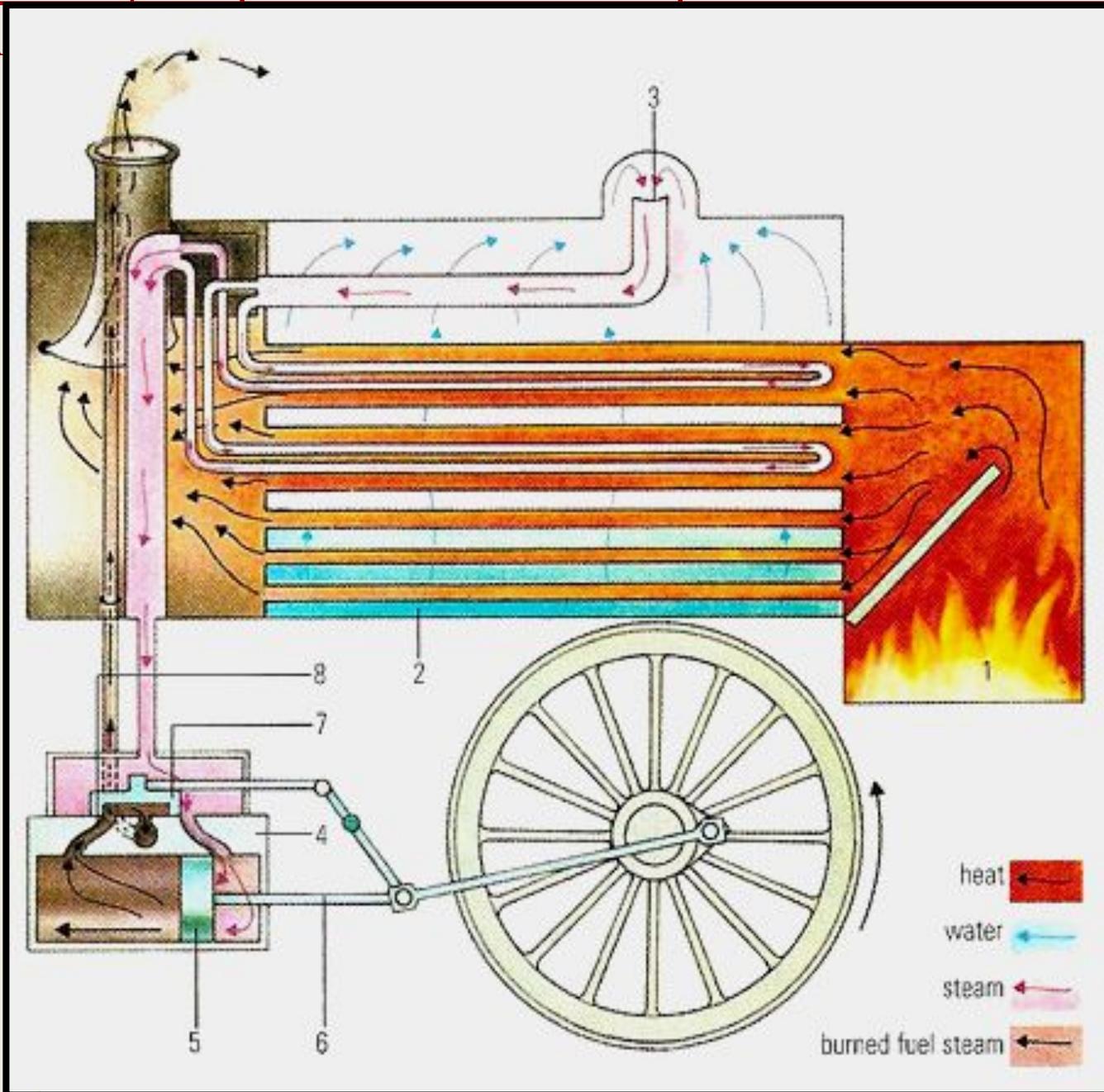
тепл  
ра  
ко

ЕД

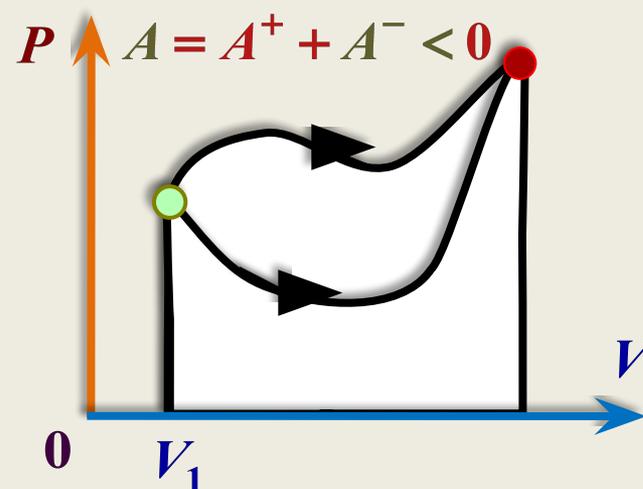
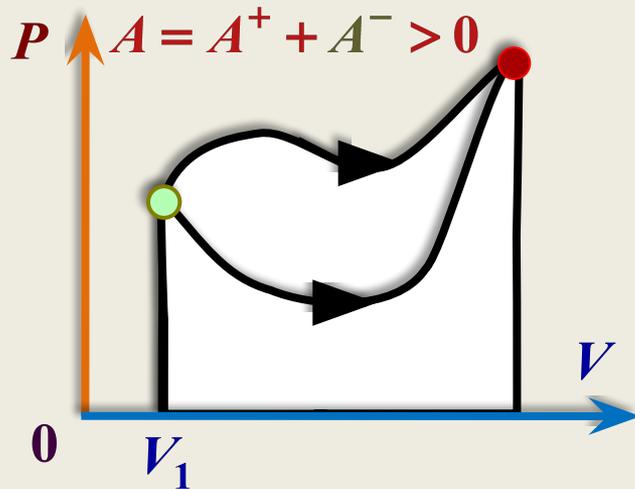
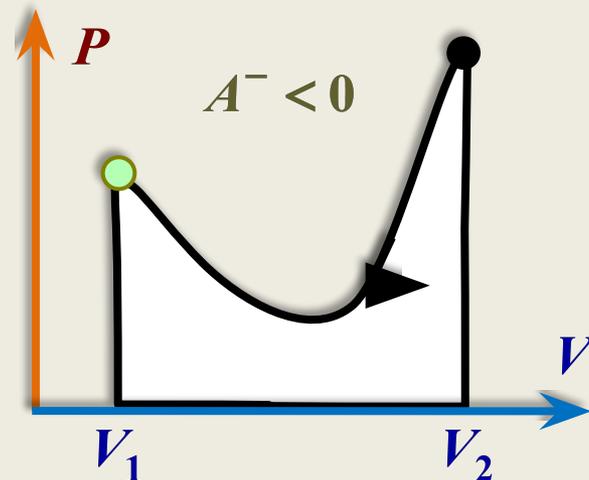
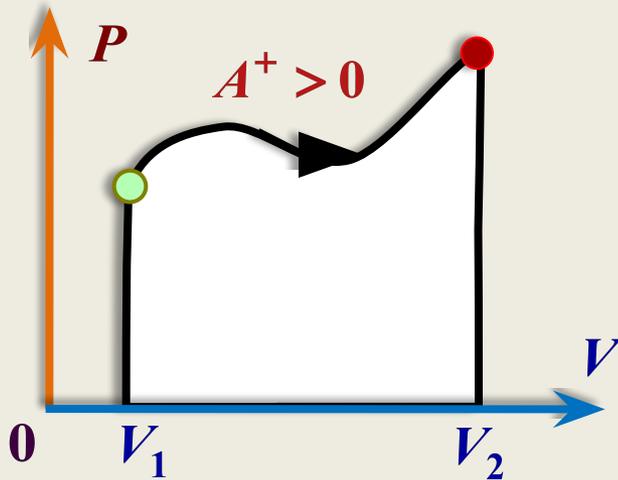


# Работа, совершаемая системой при изменении объема

A



Работа равна площади криволинейной трапеции на графике  $P = P(V)$ .



На графиках стрелками указаны направления процессов. При увеличении объема системы (рис. 1) работа газа положительна, при уменьшении (рис. 2)— отрицательна. В циклических (замкнутых) процессах при возвращении в исходное состояние  $V_1$  (рис. 3,4) знак общей работы зависит от направления процесса. По часовой — (+), против — (-).

# Первый закон термодинамики

является законом сохранения энергии в термодинамических процессах:

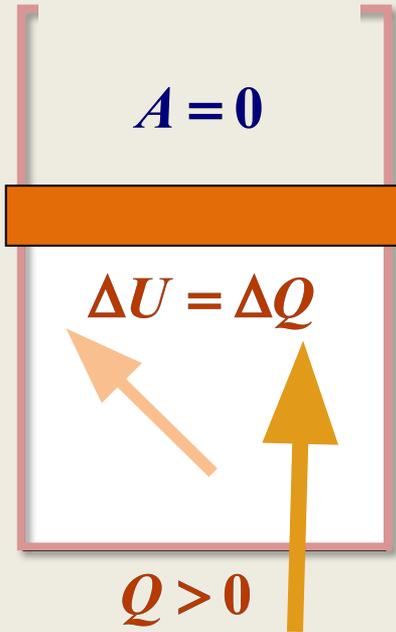
Количество теплоты  $Q$ , сообщенное системе, идет на приращение ее внутренней энергии  $\Delta U$  и на совершение системой работы  $A$ :



$$Q = \Delta U + A.$$

# Первый закон термодинамики в изопроцессах

## Изохорный процесс



происходит без изменения объема :  $V = const.$

Так как  $V = const \Rightarrow \Delta V = 0 \Rightarrow A = 0.$

Работа в изохорном процессе **не совершается**, поэтому

$$Q = \Delta U.$$

Теплота расходуется на изменение внутренней энергии (нагревание газа).

$$Q = \Delta U = \left| \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (V \Delta P) = \frac{3}{2} V (P_2 - P_1) \right| \quad \text{— одноатомный идеальный газ}$$

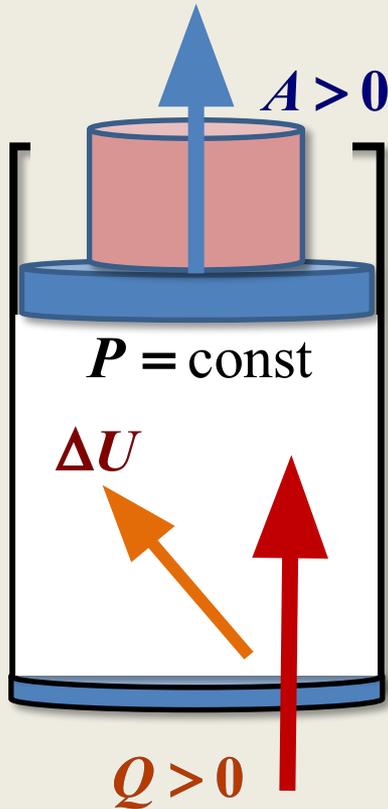
$$C_V = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \left| \frac{3}{2} \nu R \right| \quad \text{— одноатомный идеальный газ}$$

$$\Delta Q = \Delta U = C_V \cdot \Delta T;$$

# Изобарный процесс

происходит при постоянном давлении

$$P = \text{const}, \quad \Delta P = 0, \quad P_1 = P_2$$



*Работа в изобарном процессе*

$$A = P\Delta V = P(V_2 - V_1) = \nu R\Delta T = \nu R(T_2 - T_1).$$

*Первый закон термодинамики.*

$$Q = \Delta U + A.$$

Теплота расходуется на изменение внутренней энергии (нагревание) и совершение газом работы.

$$Q_{12} = \Delta U + A_{12} = \left[ \frac{3}{2} \nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2} \nu R\Delta T = \frac{5}{2} (P\Delta V) = \frac{5}{2} P(V_2 - V_1) = \frac{5}{2} A. \right]$$

*г) Теплоемкость.*

$$C_P = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} + \frac{\Delta A}{\Delta T} = C_V + \nu R = \frac{5}{2} \nu R \quad \text{— одноатомный идеальный газ}$$

# Изотермический процесс

происходит при постоянной температуре  
в контакте с **термостатом**.

Термостат — устройство для поддержания  
постоянной температуры.

Например, организм теплокровного животного  
(человека), атмосфера и океаны Земли.

**а) Уравнение состояния.**

$$PV = \boxed{\nu RT} \Rightarrow d = \nu RT = const \quad P = \frac{d}{V}.$$

Давление уменьшается с ростом объема.

**б) Первый закон термодинамики.**

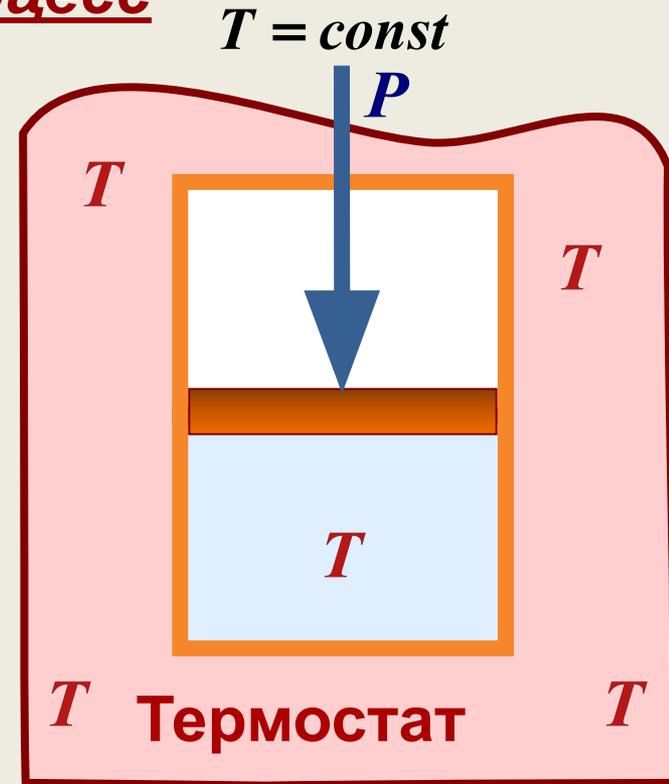
$$T = const \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = 0. \quad \underline{\Delta Q = A}.$$

Внутренняя энергия идеального газа при изотермическом процессе не меняется.

Теплота расходуется только на совершение газом работы.

$$\text{в) Работа} \quad \Delta R_{T \neq n} = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}.$$

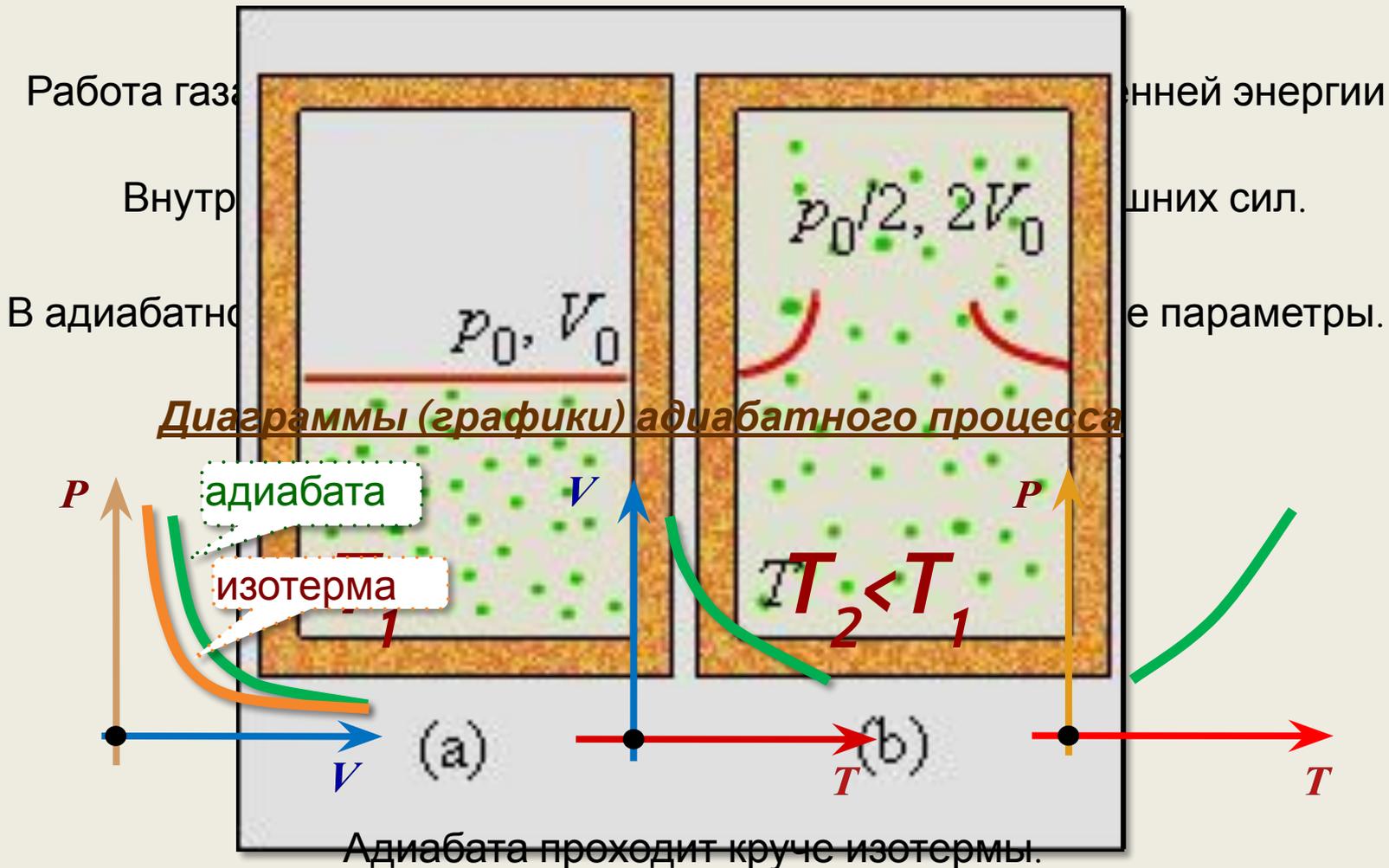
$$\text{г) Теплоемкость} \quad C_T \rightarrow \infty.$$



# Адиабатный процесс

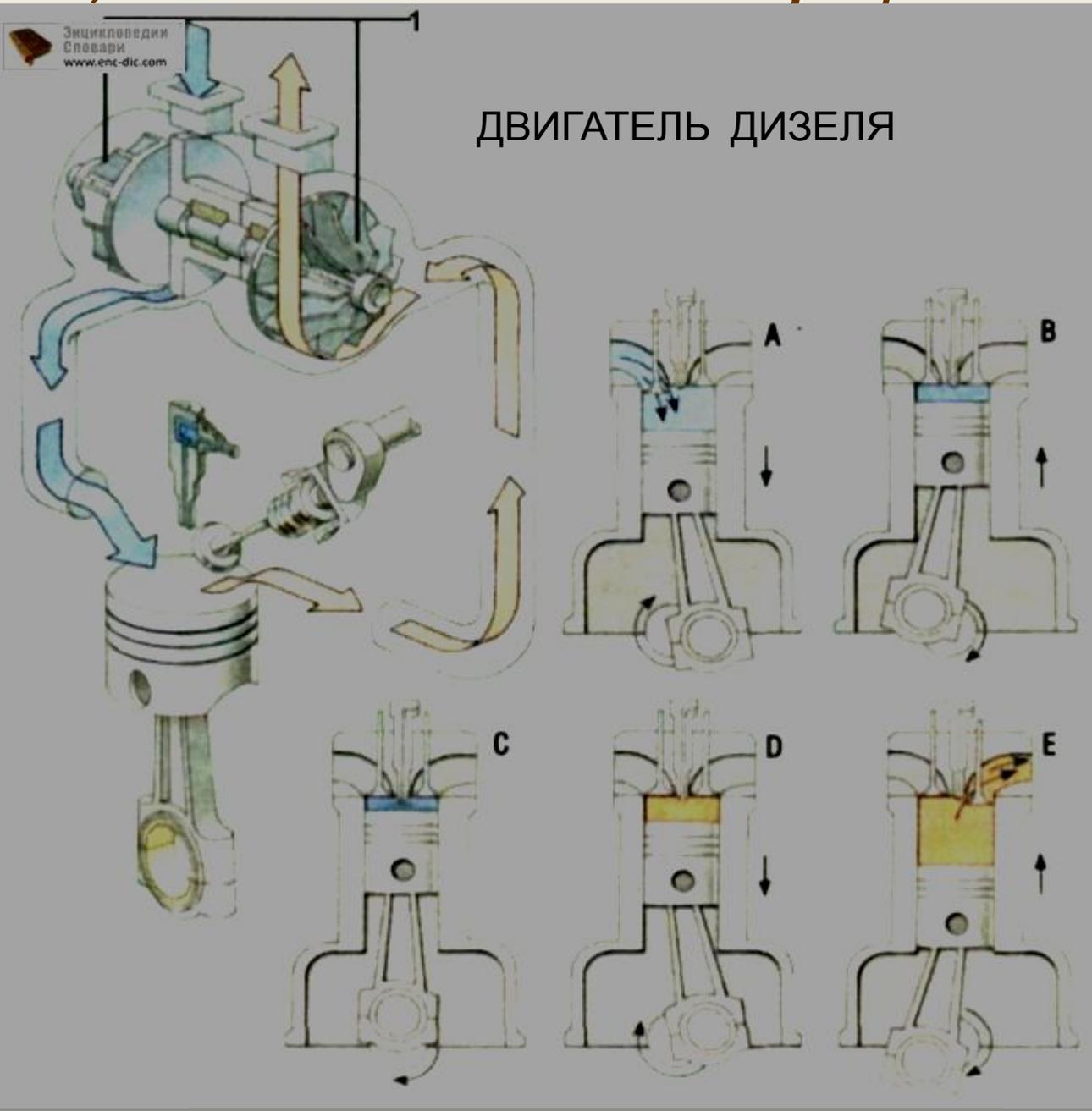
происходит без теплообмена  $\delta Q = 0$ .

Такой процесс наблюдается в теплоизолированных системах или в быстропротекающих процессах.



Это связано с повышением температуры при адиабатном сжатии газа.

## в) Работа в адиабатном процессе



## Второй закон термодинамики

определяет направление протекания процессов в замкнутой системе.

**Энтропия** — мера хаоса в системе.

Чем больше хаос, тем больше энтропия.

**В замкнутой системе процессы проходят так, чтобы энтропия не убывала.**

Замкну  
теплопер  
максималь

Ра

В необратим

В необратим

В необратимом процессе внутреннего трения энтропия возрастает.



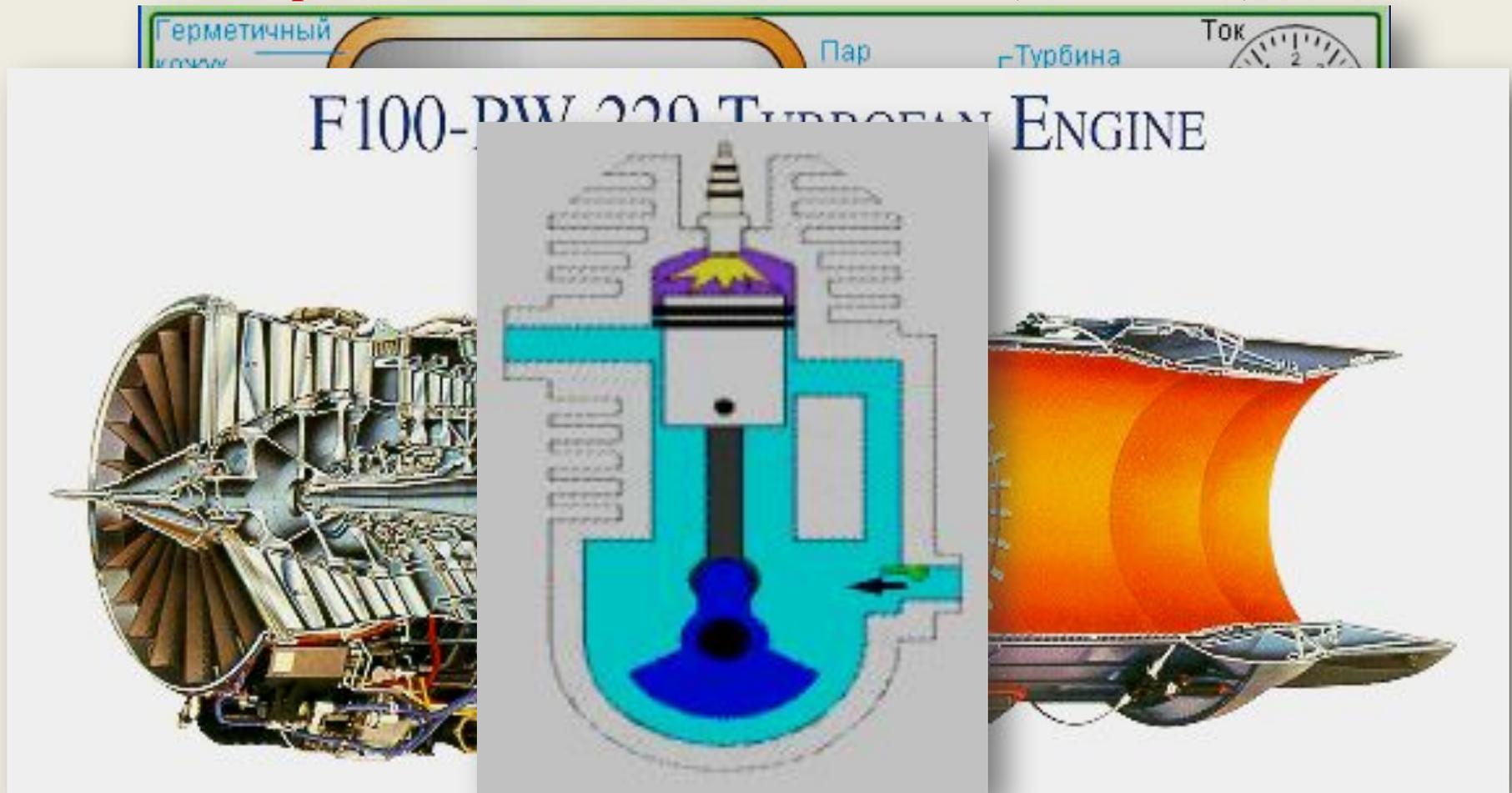
диффузии,  
состояние  
равновесия.

еноса

растает.

возрастает.

# Принцип действия тепловых машин (двигателей)

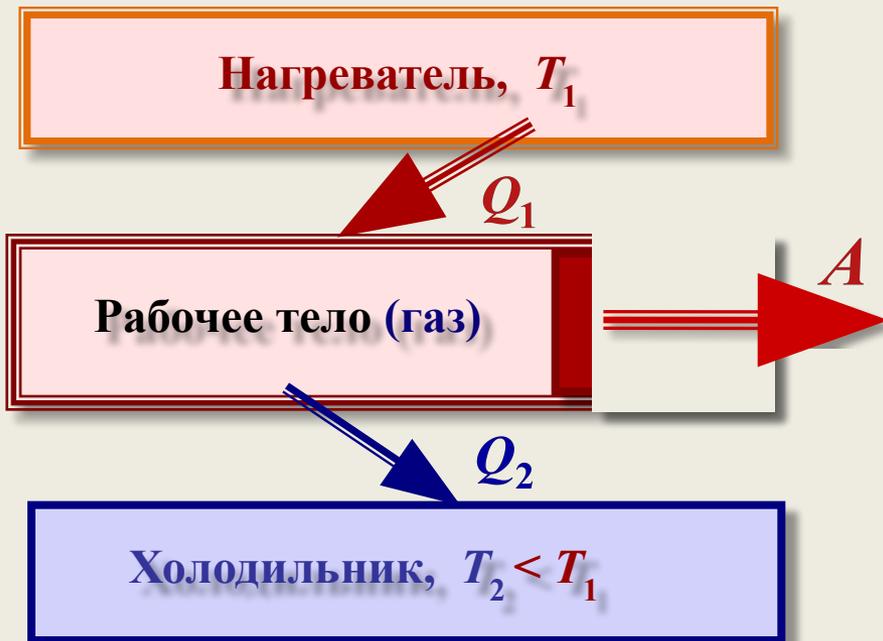


**Тепловой двигатель** превращает внутреннюю энергию топлива в механическую энергию (работу).

Примеры: паровой, турбинный, двигатель внутреннего сгорания, двигатель Дизеля.

## *В рабочем цикле:*

- рабочее тело получает от нагревателя теплоту  $Q_1$  при температуре  $T_1$ ;
- рабочее тело, расширяясь, совершает работу  $A_1$ ;
- для возвращения в начальное состояние рабочее тело отдает холодильнику остаток теплоты  $Q_2$  при температуре  $T_2 < T_1$ ;
- внешние силы доводят температуру и давление рабочего тела до начальных значений, совершая работу  $A_2$ .



### *КПД теплового двигателя*

$\eta$  определяется отношением полезной работы  $A_{\text{п}} = A_1 - A_2$  к затраченной энергии  $Q_1$

Применяя для рабочего тела закон сохранения энергии, получаем:

$$A_{\text{п}} = Q_1 - Q_2,$$

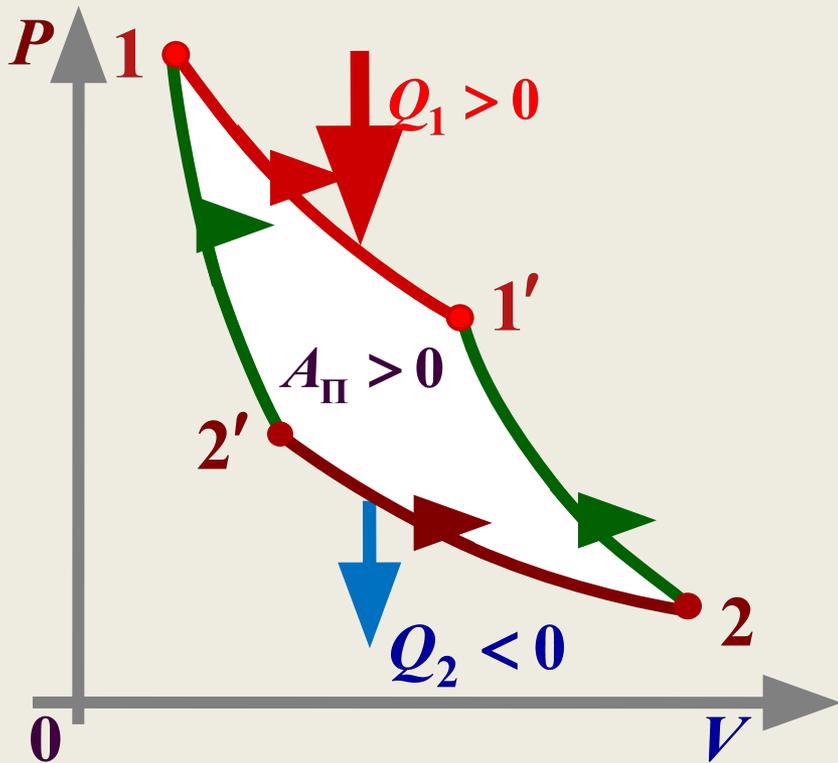
тогда

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

**Тепловые двигатели с обратными циклами называются холодильниками.**

Противоестественный ход тепла (от холодного к горячему)  
обеспечивается работой внешних сил.

## Идеальный тепловой двигатель. Цикл Карно.



**КАРНО Никола Леонард Сади (1796 - 1832)**

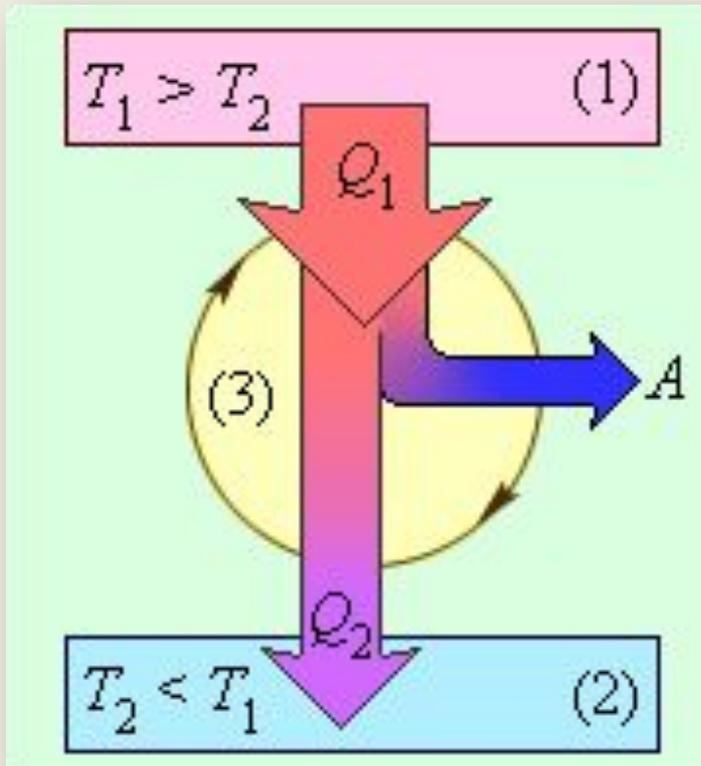
Для построения рабочего цикла идеального теплового двигателя используют обратимые процессы.

Например, *цикл Карно* состоит из двух изотерм ( $1-1'$ ,  $2-2'$ ) и двух адиабат ( $1'-2$ ,  $2'-1$ ), в которых теплота и изменение внутренней энергии полностью превращаются в работу.

## Максимальный КПД теплового двигателя:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

### Следствия



не зависи

ся только

тепля и хол

% даже у

тура хол

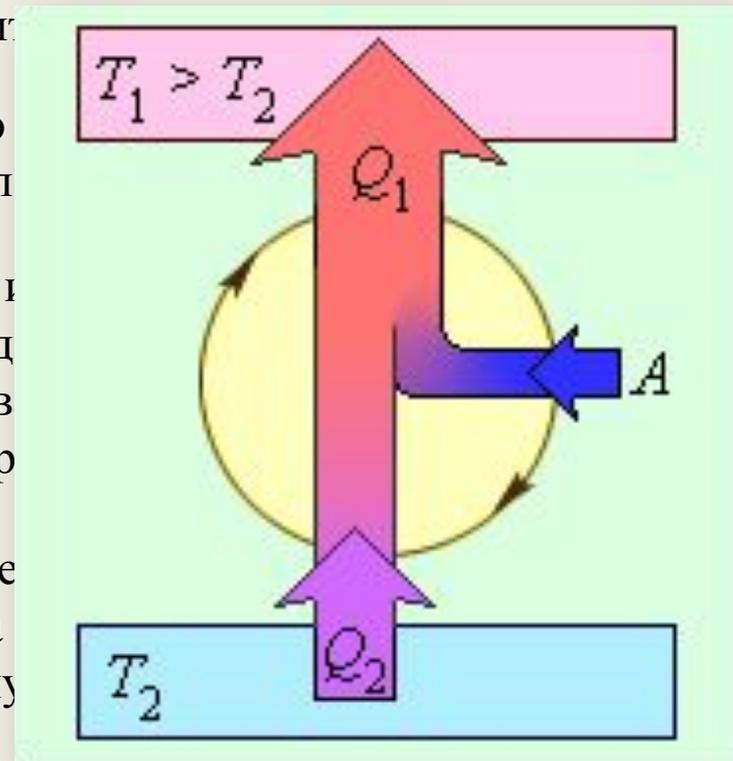
конами кв

коном тер

ий двигате

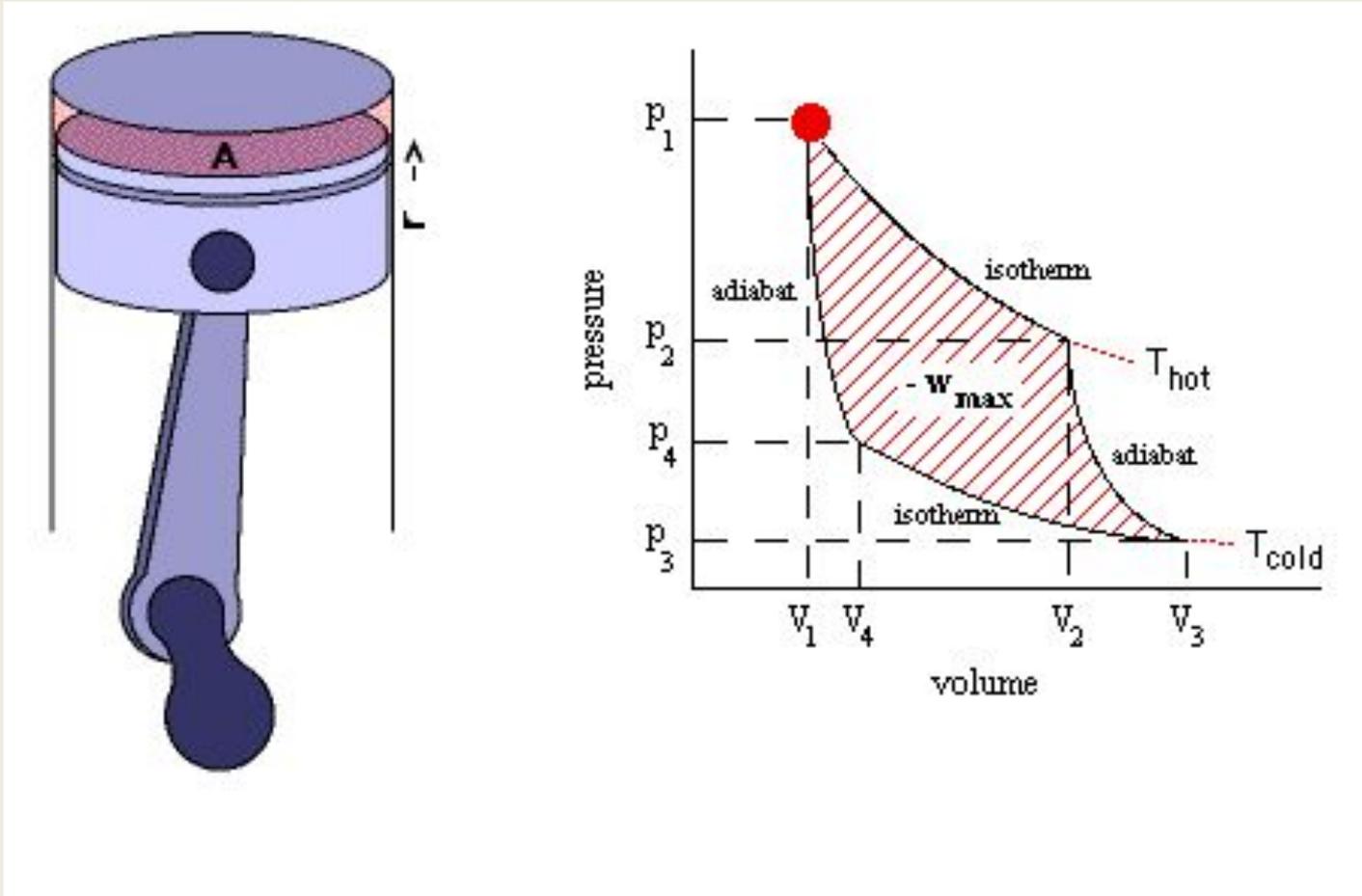
перепада

в этом слу



5. Тепловые двигатели повышают энтропию замкнутой системы.

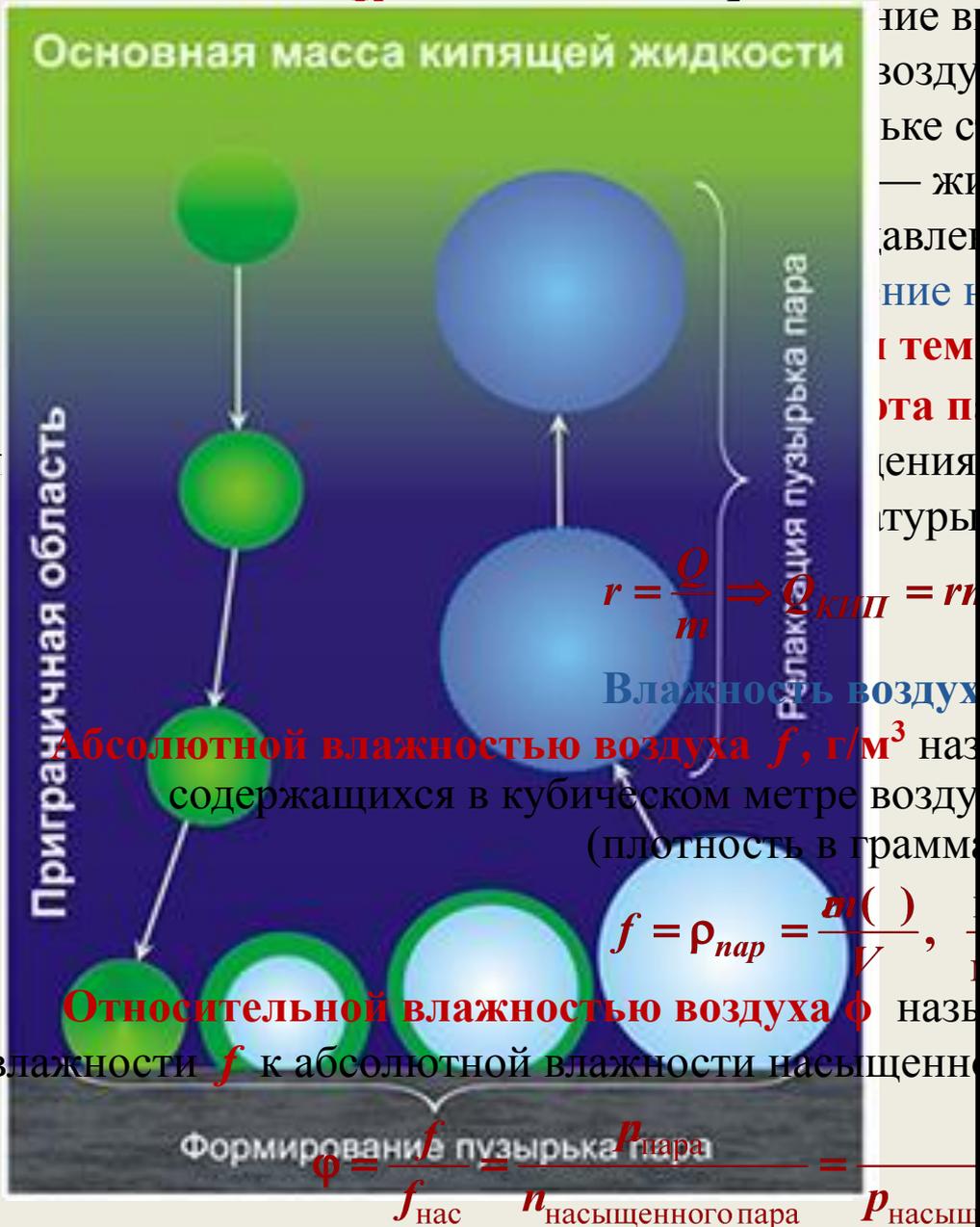
# Цикл Карно



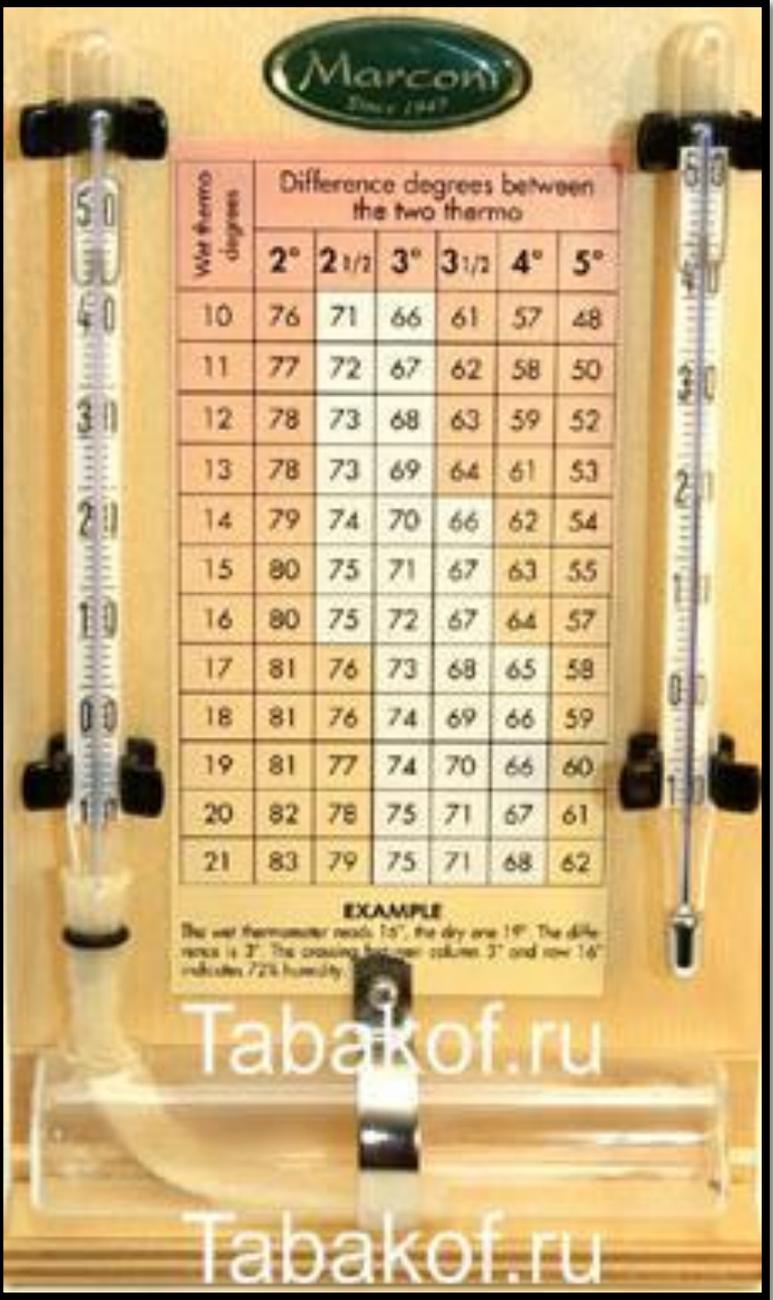
# Пар



# Кипение



ние в  
возду  
ьке с  
— жи  
авлен  
ние н  
тем  
та п  
ения  
туры



КОЛ

КОНЕЦ

"ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ"