

ТЕРМОДИНАМІКА

10 класс

ТЕРМОДИНАМИКА -

- ▶ Раздел физики, изучающий возможности использования внутренней энергии тел для совершения механической работы.

Внутренняя энергия тела -

- ▶ Сумма кинетической энергии хаотического теплового движения частиц (атомов и молекул) тела и потенциальной энергии их взаимодействия

Число степеней свободы (i) -

- ▶ Число возможных независимых направлений движения молекулы.

Количество атомов в молекуле газа	Число степеней свободы, i	Характер степеней свободы
Одноатомный	3	поступательные
Двухатомный	5	3 поступательные, 2 вращательные

Энергия идеального газа

i - число степеней свободы молекулы газа

N - число молекул газа

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

T - абсолютная температура, К

m - масса газа, кг

M - молярная масса газа, кг/моль

$R = 8,31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ - газовая постоянная

p - давление, Па

V - объём, м³

$$U = \frac{i}{2} N k T$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R T$$

$$U = \frac{i}{2} p V$$

- ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ГАЗА
 - Теплообмен
- Совершение работы

- ▶ **ТЕПЛООБМЕН** - процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы.
- ▶ **КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ** (Q) - энергия, передаваемая телу извне в результате теплообмена (мера теплообмена), Дж.

ИЗОПРОЦЕСС -

- ▶ процесс, при котором один из макроскопических параметров состояния данной массы газа остается постоянным.

- ИЗОПРОЦЕССЫ
 - Изотермический
 - Постоянная температура
 - $T = \text{const}$
 - Изобарный
 - Постоянное давление
 - $p = \text{const}$
 - Изохорный
 - Постоянный объем
 - $V = \text{const}$

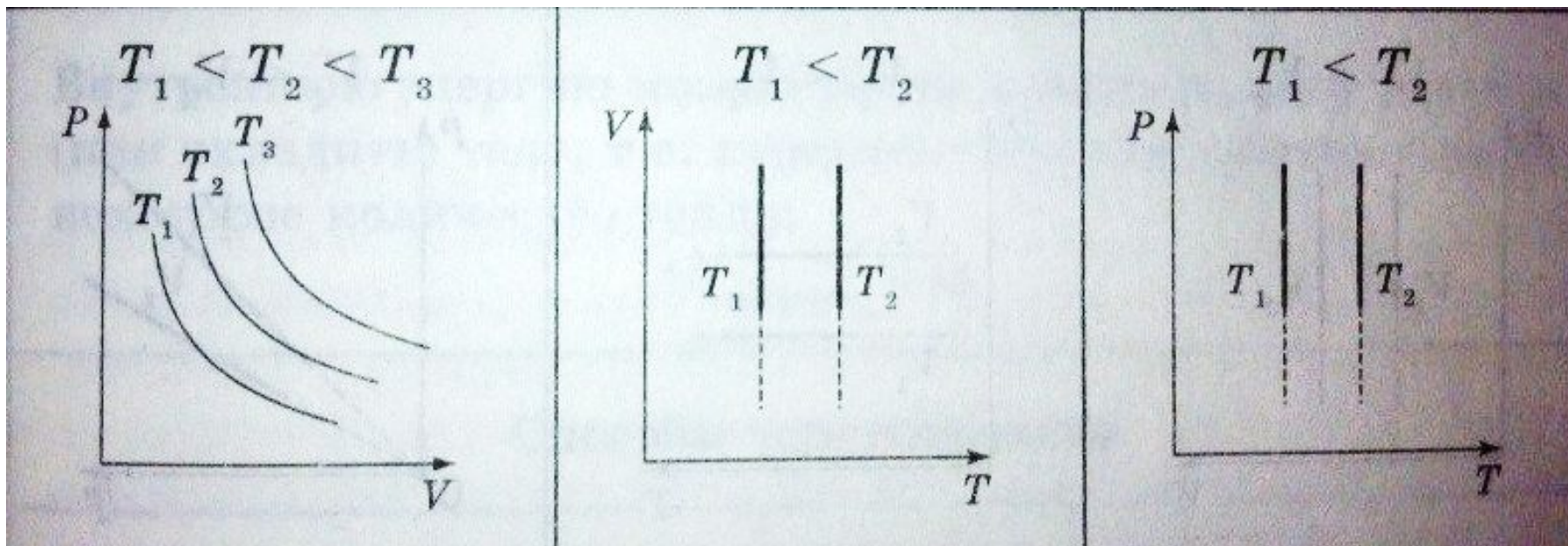
Изотермический процесс

Закон Бойля-Мариотта:

- ▶ Для данной массы газа при *постоянной температуре* произведение давления газа на его температуру постоянно:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Графики изотермического процесса



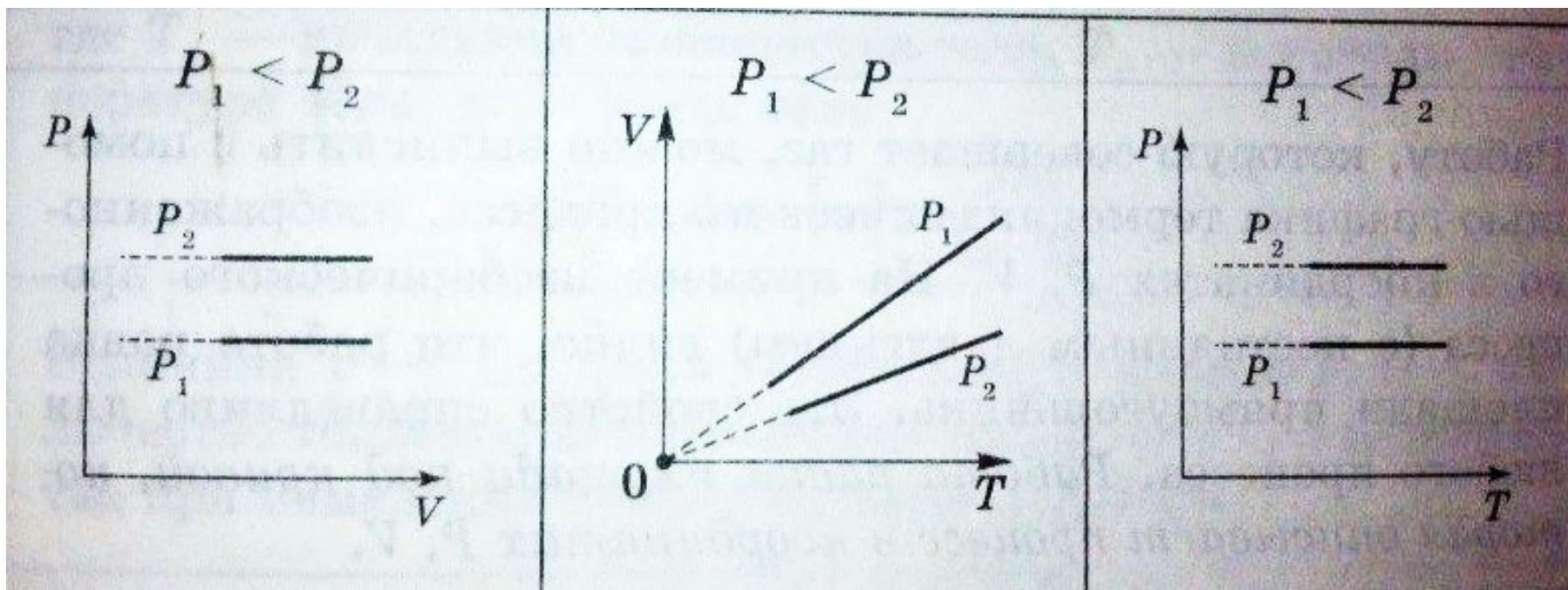
Изобарный процесс

Закон Гей-Люссака:

- ▶ Для газа данной массы при *постоянном давлении* отношение объема газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Графики изобарного процесса



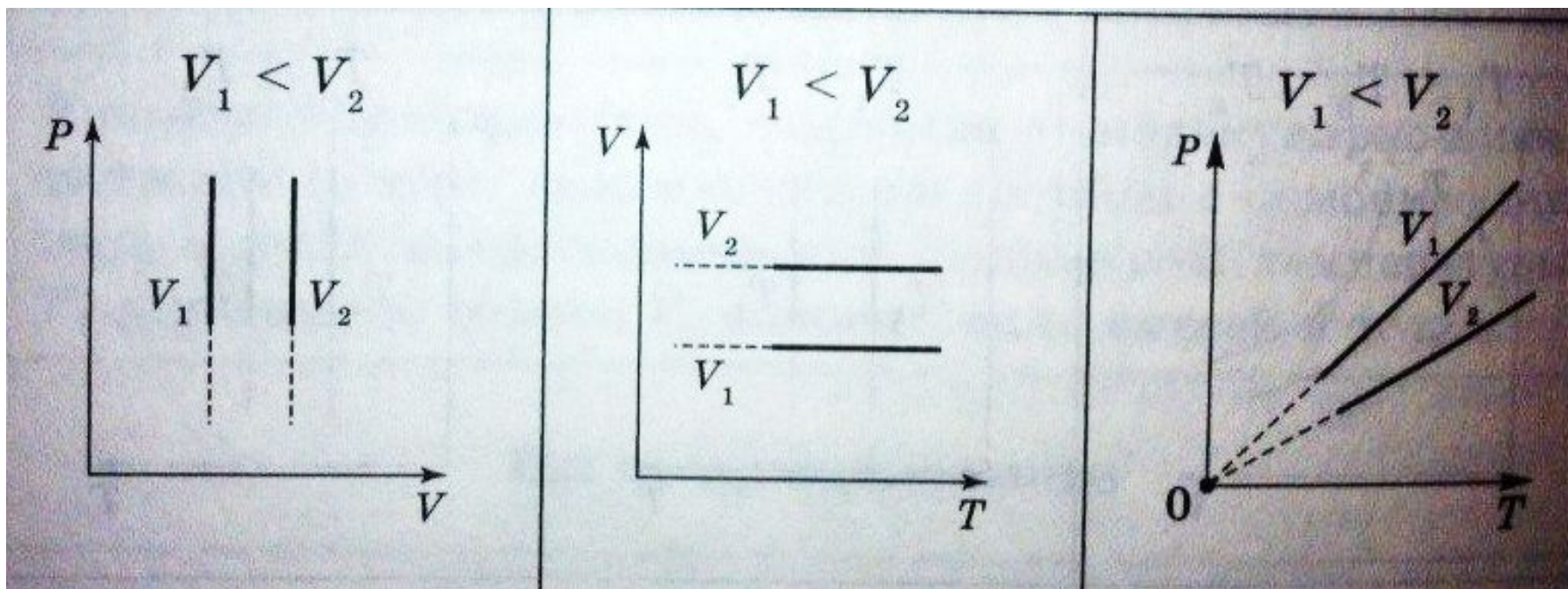
Изохорный процесс

Закон Шарля:

- ▶ Для газа данной массы при *постоянном объеме* отношение давления газа к его термодинамической температуре постоянно:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

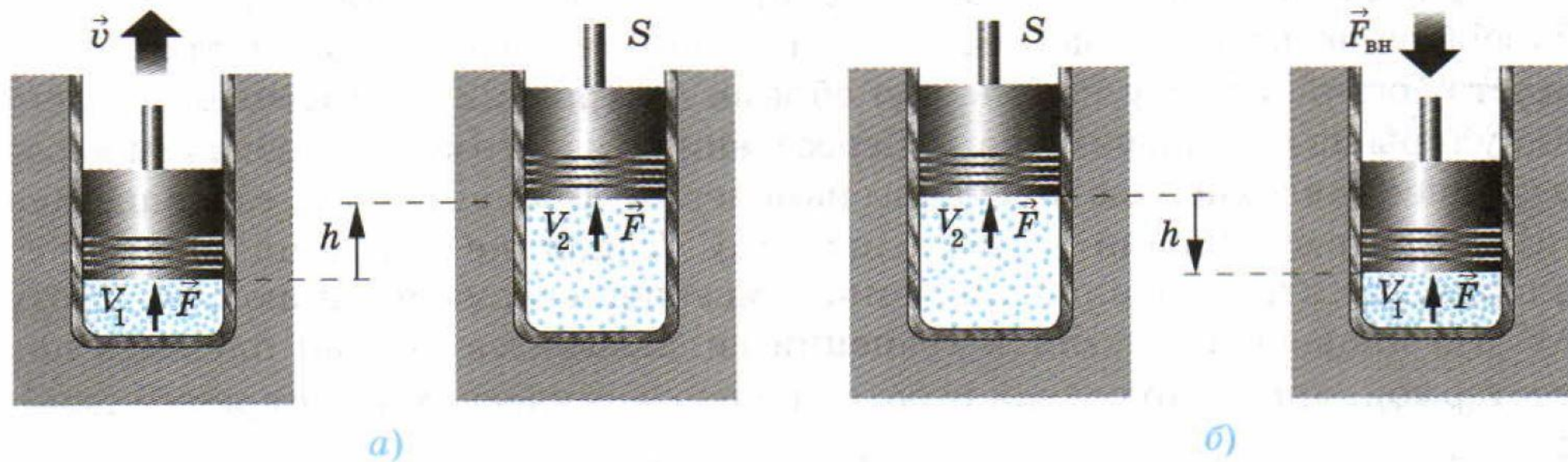
Графики изохорного процесса



Как преобразовать внутреннюю энергию газа в механическую работу?

- Внутренняя энергия газа
- Упорядоченное движение другого тела

В качестве «преобразователя» энергии можно использовать поршень в цилиндре, перемещающийся под давлением газа, заполняющего цилиндр



Работа, совершаемая газом:

а) расширение газа ($\Delta V > 0$; $A > 0$);

б) сжатие газа ($\Delta V < 0$; $A < 0$)

Работа газа

- ▶ Работа, совершаемая газом, равна произведению среднего давления газа на изменение его объёма:

$$A = \bar{p}\Delta V$$

A - работа газа, Дж

$\bar{p}$ - среднее давление газа, Па

ΔV - изменение объёма газа, $\Delta V = V_2 - V_1$, м³

Работа газа

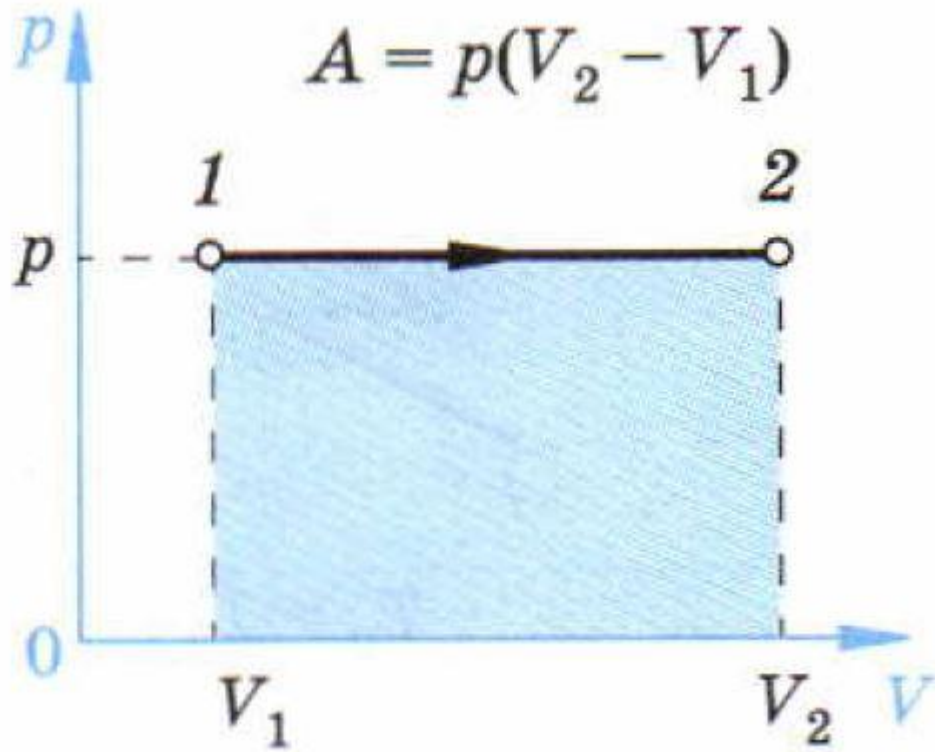
- ▶ При расширении $\Delta V > 0$ газ совершает **положительную** работу, отдавая энергию окружающим телам.
- ▶ При сжатии $\Delta V < 0$ работа, совершаемая газом, **отрицательна**.
Внутренняя энергия газа при сжатии увеличивается.
- ▶ Работа, совершаемая газом в процессе его расширения (или сжатия) при любом термодинамическом процессе, численно равна **площади под кривой**, изображающей изменение состояние газа на диаграмме p, V .

Работа в изохорном процессе

- ▶ При изохорном процессе $V = \text{const}$, следовательно, $\Delta V = 0$ и $A = p\Delta V = 0$

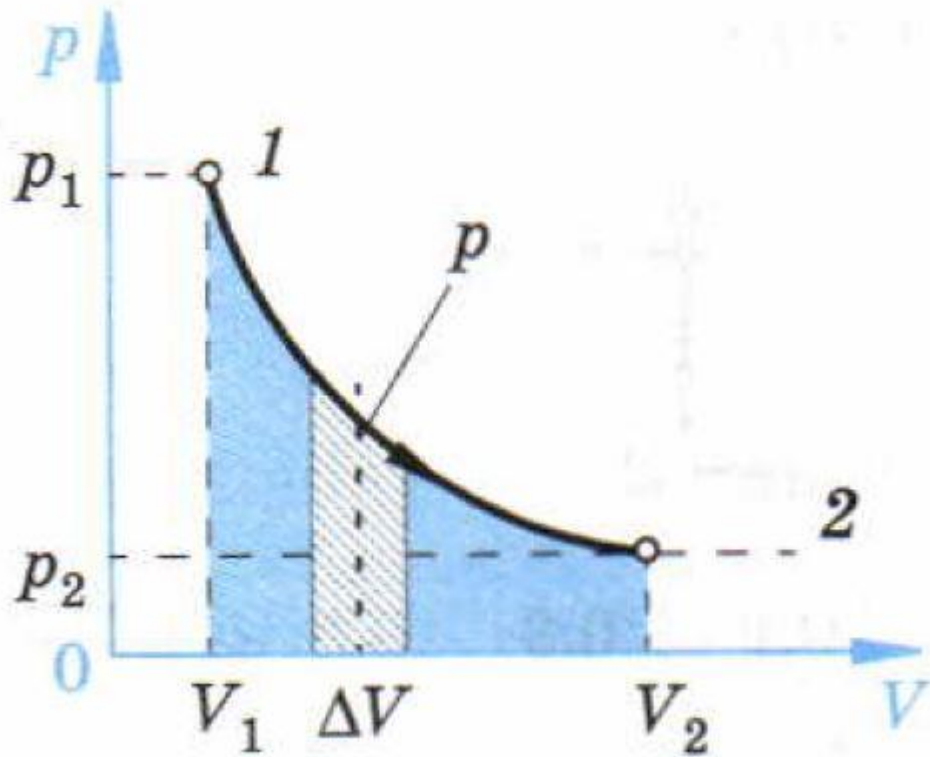
При изохорном процессе работа газом не совершается!

Работа в изобарном процессе



- ▶ При изобарном расширении $p = \text{const}$, $\Delta V > 0$ и $A = p\Delta V > 0$
- ▶ При изобарном расширении:
 $A = p(V_2 - V_1)$

Работа в изотермическом процессе



- ▶ При изотермическом расширении $p(V)$ изменяется согласно гиперболическому закону
- ▶ При изотермическом расширении:

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Вспомните:

► Какими способами можно изменить внутреннюю энергию газа?

- ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ
 - Совершение работы внешними силами
 - Теплообмен с окружающими телами

Первое начало термодинамики

- ▶ Изменение **внутренней энергии** системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме **количества теплоты**, подведенного к системе извне, и **работы внешних сил**, действующих на нее:

$$\Delta U = Q + A_{\text{вн}}$$

ΔU - изменение внутренней энергии газа, Дж

Q - количество теплоты, переданное газу, Дж

$A_{\text{вн}}$ - работа, совершенная над газом.

Вспомните:

- ▶ Закон сохранения энергии

В изолированной физической системе энергия сохраняется с течением времени.

Первое начало термодинамики

- ▶ **Количество теплоты, подведенное к системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:**

$$Q = \Delta U + A$$

Q - количество теплоты, переданное газу, Дж

ΔU - изменение внутренней энергии газа, Дж

A - работа, совершенная газом.

Обратите внимание:

$$A_{\text{вн}} = -A$$

Работа газа равна работе
внешних сил, взятой с
противоположным знаком.

При изохорном процессе:

- ▶ Изменение внутренней энергии газа происходит благодаря теплообмену с окружающими телами:

$$Q = \Delta U$$

При изотермическом процессе:

- ▶ Количество теплоты, переданное газу от нагревателя, полностью расходуется на совершение работы:

$$Q = A$$

При изобарном процессе:

- ▶ Подведенное к газу количество теплоты расходуется как на увеличение его внутренней энергии, так и на совершение работы газом:

$$Q = \Delta U + A$$

Теплоизолированная система -

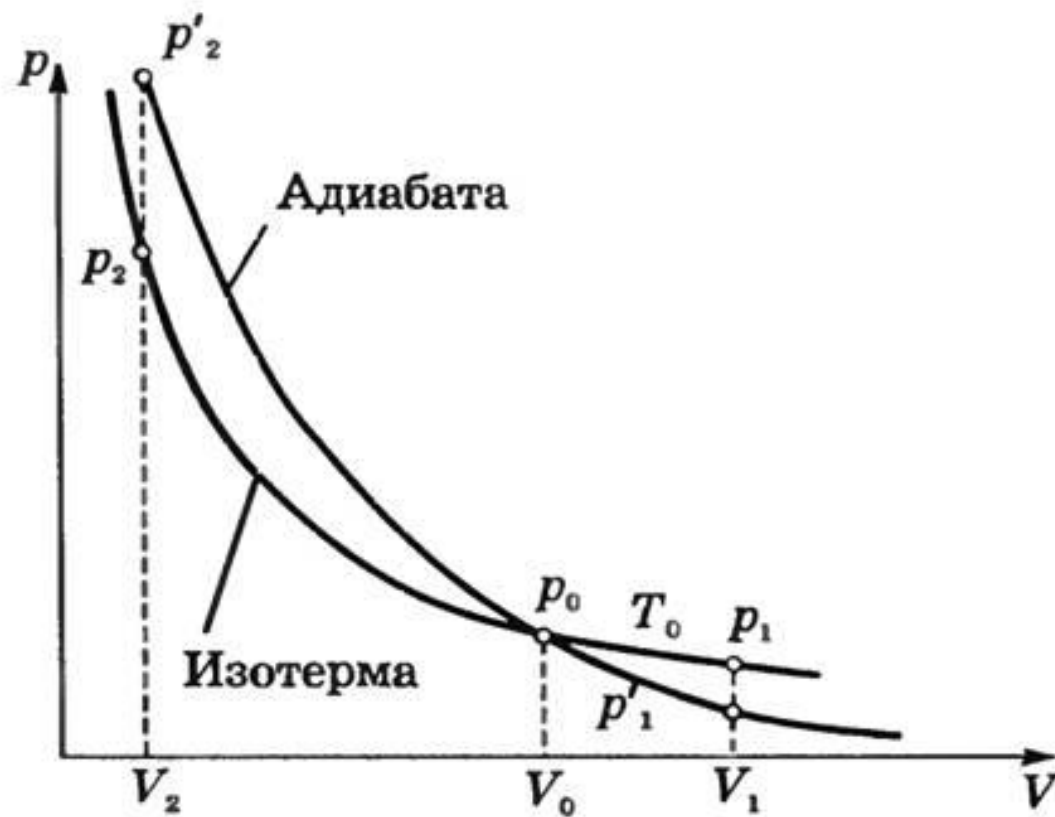
- ▶ Система, не обменивающаяся энергией с окружающими телами ($Q=0$)

Адиабатный процесс -

- ▶ Термодинамический процесс в теплоизолированной системе.
- ▶ Первое начало термодинамики для адиабатного процесса:

$$A = -\Delta U$$

Понижение температуры газа при адиабатном расширении приводит к тому, что его давление уменьшается более резко, чем при изотермическом процессе



Адиабатный процесс в дизельном двигателе

- ▶ Адиабатное сжатие воздуха в цилиндре → повышение температуры
- ▶ Впрыск жидкого топлива в конце такта сжатия → воспламенение → резкое возрастание давления рабочей смеси → ход поршня в противоположном направлении

Тепловой двигатель

- ▶ Устройство, преобразующее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.
- ▶ Необходимое условие для циклического получения механической работы в тепловом двигателе - наличие нагревателя и холодильника.



Замкнутый процесс (цикл) -

- ▶ совокупность термодинамических процессов, в результате которых система возвращается в исходное состояние.

Используются в:

- ▶ Двигателях внутреннего сгорания
- ▶ Паровых турбинах
- ▶ Газовых турбинах
- ▶ Холодильных машинах

Коэффициент полезного действия теплового двигателя (КПД) -

- ▶ Отношение работы, совершаемой двигателем за цикл, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

A - полезная работа, совершаемая двигателем за цикл

Q₁ - количество теплоты, получаемое от нагревателя

Q₂ - количество теплоты, отданное холодильнику

Коэффициент полезного действия теплового
двигателя всегда меньше единицы!

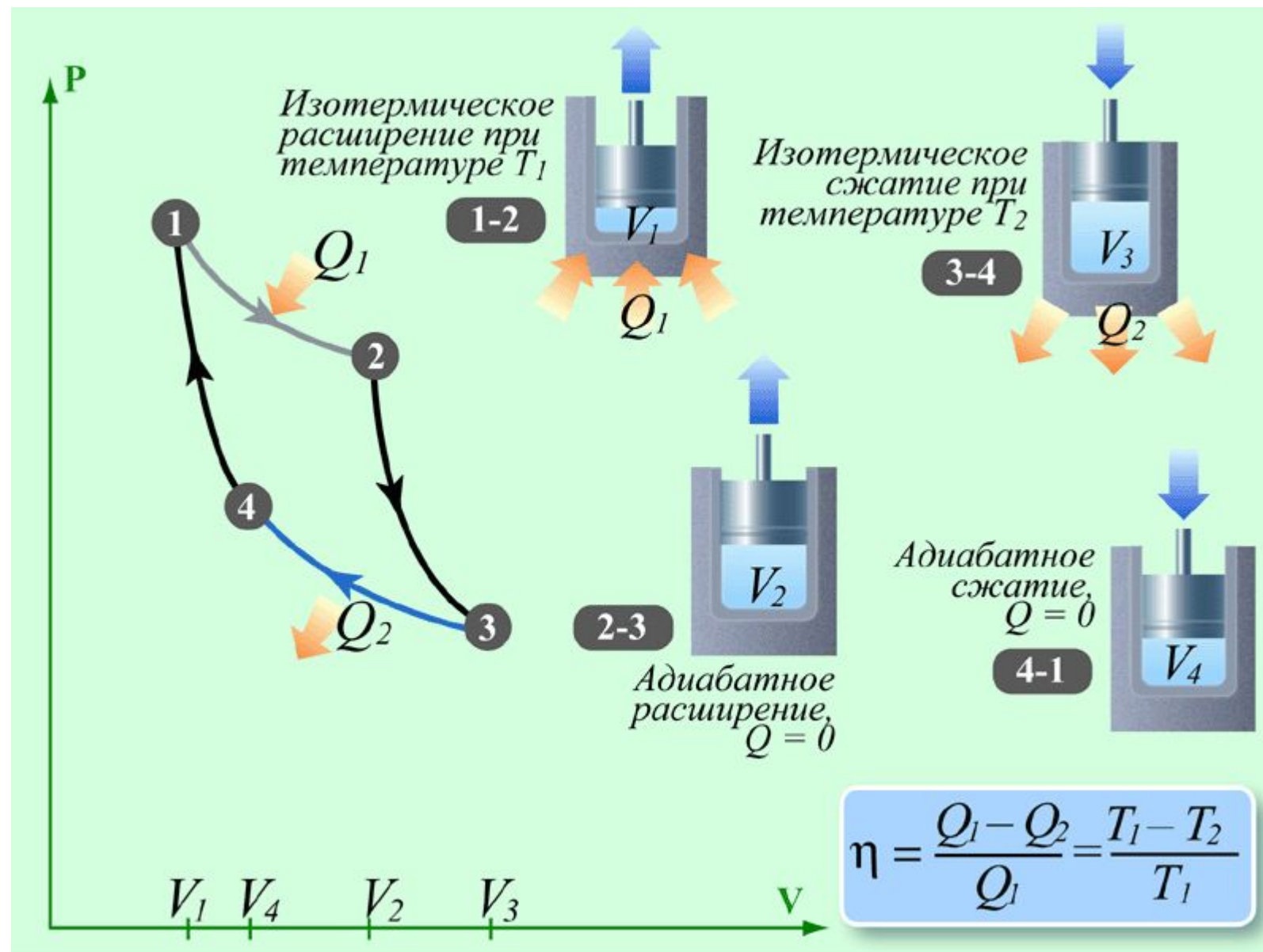
Цикл Карно

- ▶ **Сади Карно** (франц. инженер) предложил циклический термодинамический процесс, имеющий **максимальный КПД**.

Цикл Карно состоит из следующих этапов:

- ▶ Изотермическое расширение
- ▶ Адиабатное расширение
- ▶ Изотермическое сжатие
- ▶ Адиабатное сжатие

Цикл Карно



Термодинамические процессы

ОБРАТИМЫЕ

Происходит как в прямом,
так и в обратном
направлении

НЕОБРАТИМЫЕ

Процесс, обратный
которому самопроизвольно
не происходит

Второе начало термодинамики

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

Второе начало термодинамики - следствие необратимости тепловых процессов.

Статистическое истолкование второго начала термодинамики

- ▶ Замкнутая система многих частиц самопроизвольно переходит из более упорядоченного состояния в менее упорядоченное, то есть из менее вероятного в более вероятное.

Вспомните понятия:

- ▶ Диффузия
- ▶ Энтропия