

ТЕРМОДИНАМИКА



The background image is a technical schematic of a thermodynamic cycle, possibly a Rankine cycle. It features a closed loop of pipes and components. On the left, there is a vertical cylindrical vessel, likely a boiler or steam generator, with a green liquid inside. To its right is a horizontal cylindrical vessel, possibly a condenser. Above the condenser is a turbine, represented by a circular component with internal details. Below the condenser is a pump, represented by a cylindrical component. The pipes connect these components in a continuous loop. The entire diagram is rendered in a stylized, somewhat pixelated manner with various colors like blue, green, and brown. Overlaid on this diagram is the word 'ТЕРМОДИНАМИКА' in large, bold, red Cyrillic letters, which is the Russian word for 'Thermodynamics'.

Термодинамика – теория тепловых явлений, в которой не учитывается молекулярное строение тел.

Выводы термодинамики опираются на совокупность опытных фактов и не зависят от наших знаний о внутреннем устройстве вещества, хотя в целом ряде случаев термодинамика использует молекулярно-кинетические модели для иллюстрации своих выводов.

В противоположность **молекулярно-кинетической теории**, которая делает выводы на основе представлений о молекулярном строении вещества

Если термодинамическая система была подвержена внешнему воздействию, то в конечном итоге она перейдет в другое равновесное состояние.

Такой переход называется
***термодинамическим
процессом.***

Если процесс протекает достаточно медленно (в пределе бесконечно медленно), то система в каждый момент времени оказывается близкой к равновесному состоянию.

Процессы, состоящие из последовательности равновесных состояний, называются ***квазистатическими.***

Внутренняя энергия

С точки зрения молекулярно-кинетической теории

внутренняя энергия вещества

=

кинетическая энергия всех атомов и молекул

+

потенциальная энергия их взаимодействия

Внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий (**только**) всех частиц газа, находящихся в непрерывном и беспорядочном тепловом движении.

ВЫВОД:

**внутренняя энергия U тела определяется
макроскопическими параметрами, характеризующими
состояние тела.**

Способы изменения ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

СОВЕРШЕНИЕ
РАБОТЫ

ТЕПЛООБМЕН

- КОНВЕКЦИЯ
- ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ
- ИЗЛУЧЕНИЕ

$A > 0$ при работе
внешних сил над
системой

$A < 0$ при работе
системы над
внешними телами

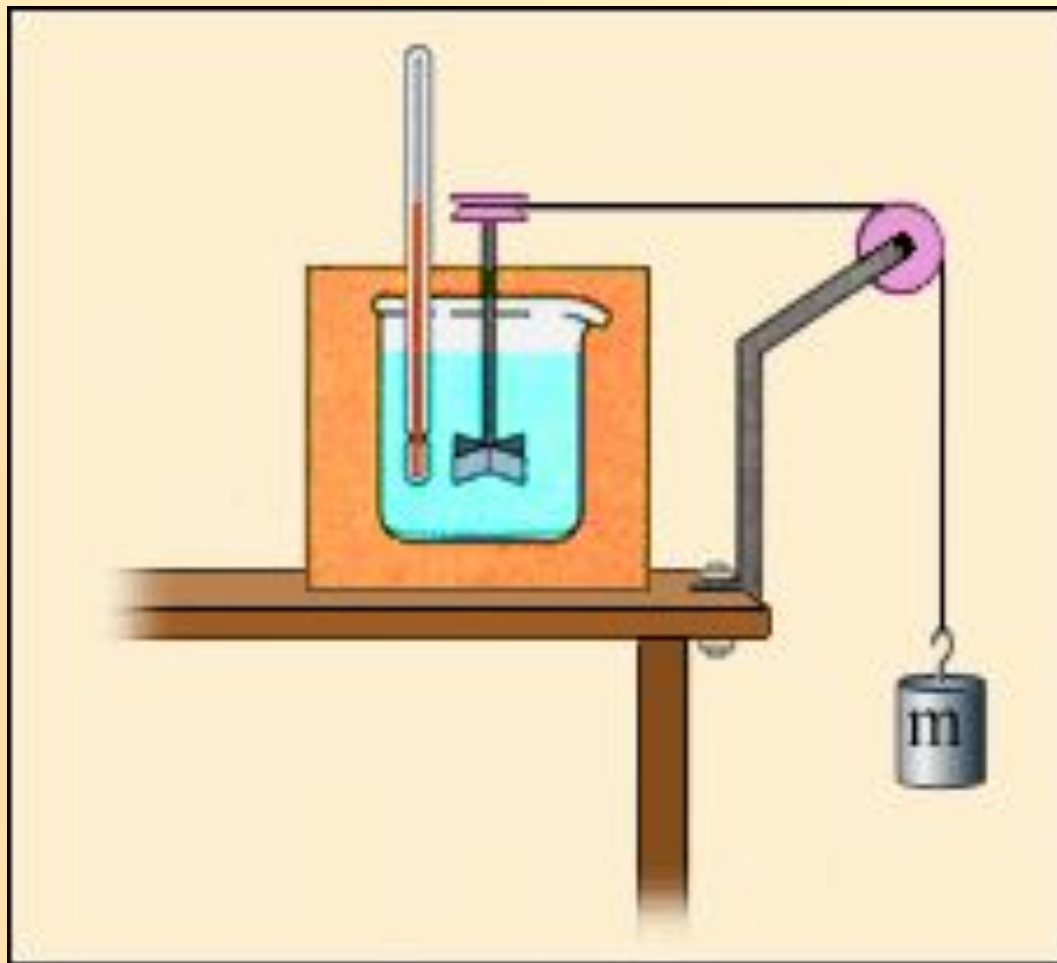
Количество теплоты –
энергия передаваемая
или получаемая путем
теплообмена

$Q > 0$ если система получает
теплоту

$Q < 0$ если система отдает
теплоту

(1843 г.) Опыт Джоуля
по определению
**механического
эквивалента
теплоты**

При вращении вертушки, погруженной в жидкость, внешние силы совершают положительную работу ($A' > 0$); при этом жидкость из-за наличия сил внутреннего трения нагревается, т. е. увеличивается ее внутренняя энергия.



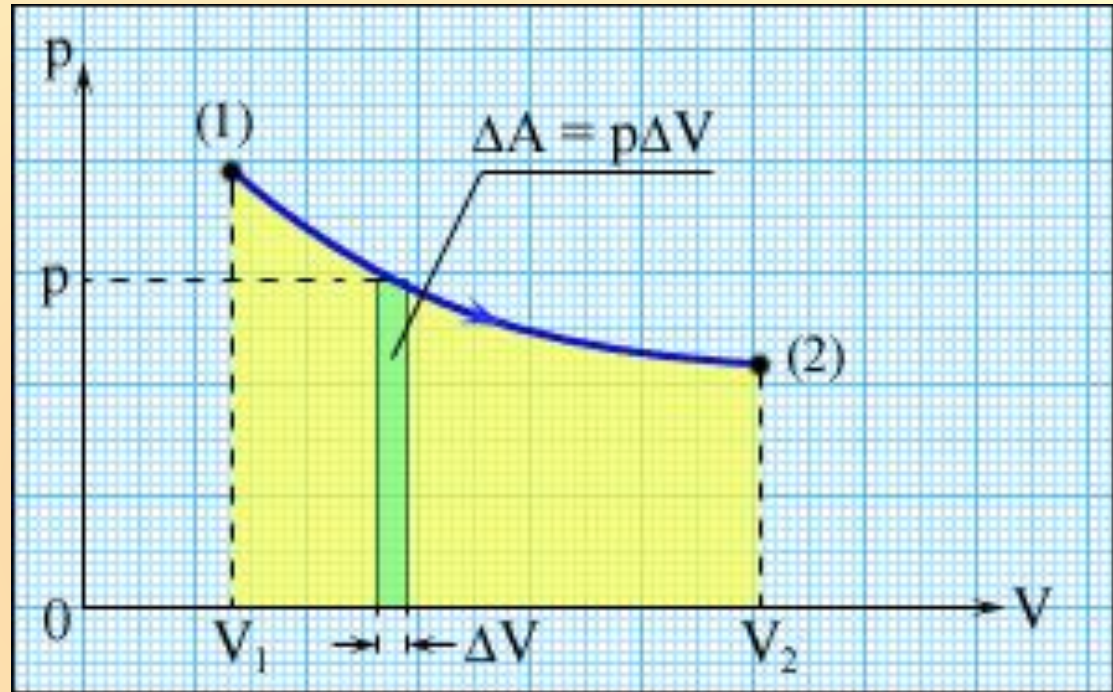
Механический эквивалент теплоты A/Q

Если система получает от внешних тел энергию в виде работы A , а отдает энергию в виде количества теплоты Q , то отношение A/Q равно $4,2 \text{ Дж/кал}$

Расчет работы в термодинамике

Расчет работы в термодинамике

В общем случае надо процесс разбить на малые части и сосчитать элементарные работы, а затем их сложить (процесс интегрирования):



$$A = \sum_{n=1}^N p_n \Delta V = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

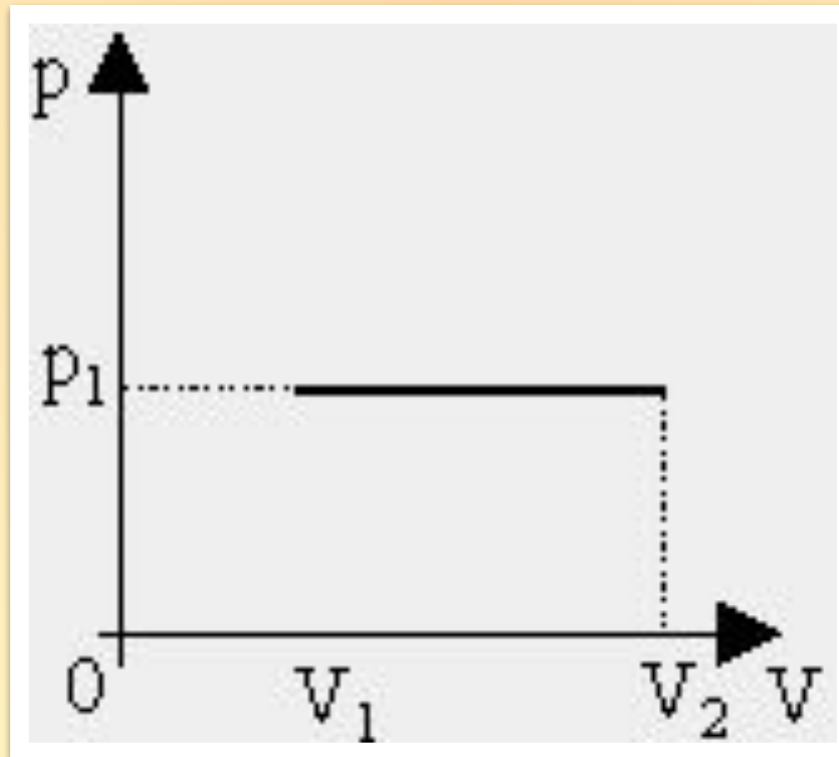
Работа при изменении объема

При расширении работа газа положительна.

$A = p\Delta V$ - работа газа

При сжатии - отрицательна.

$A' = -p\Delta V$ - работа внешних сил.



Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, получим:

$$A = p \Delta V = p \frac{\nu R \Delta T}{p} = \nu R \Delta T$$

В изотермическом процессе

$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

В изохорном процессе

объем не меняется,

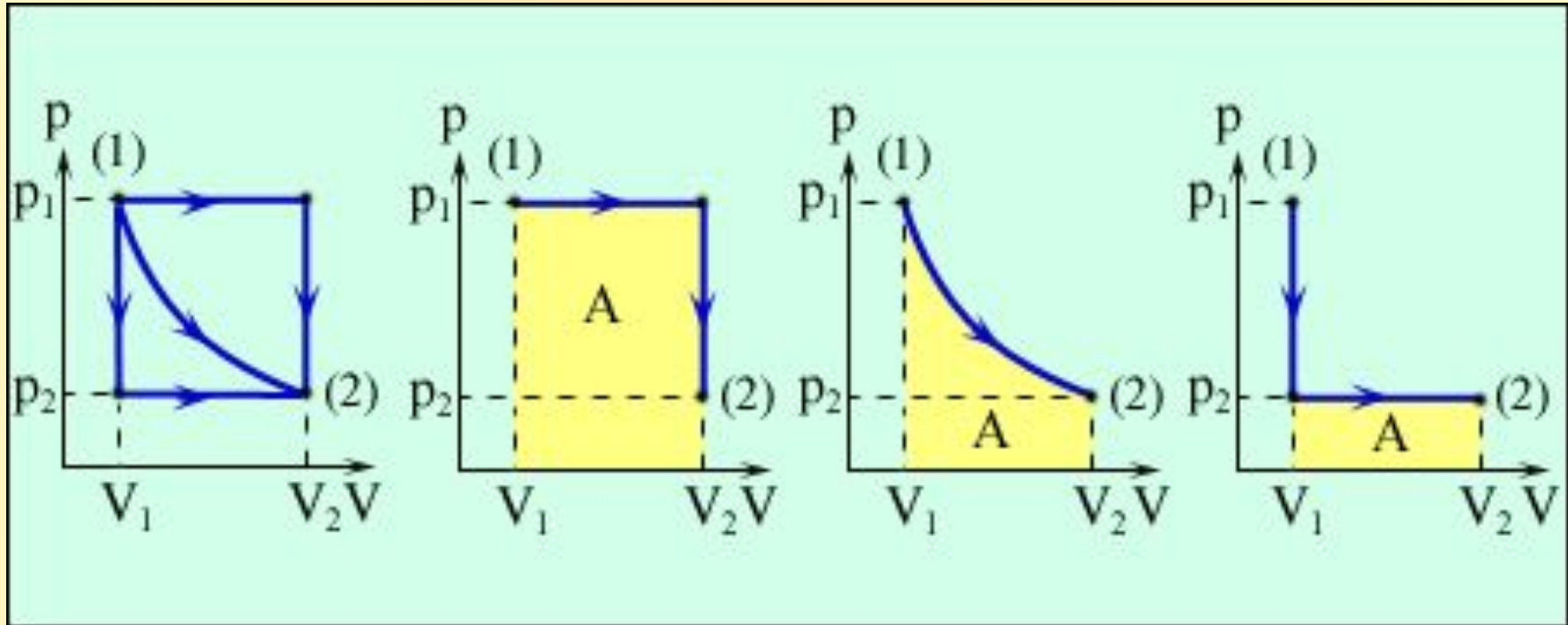
следовательно,

в изохорном процессе

работа не совершается!

Работа газа

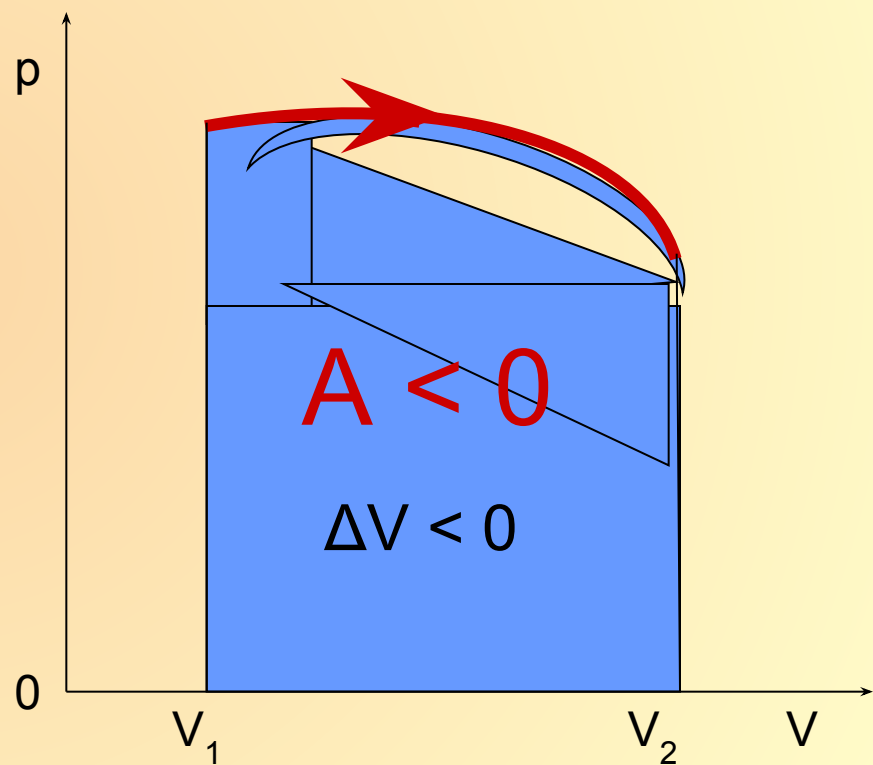
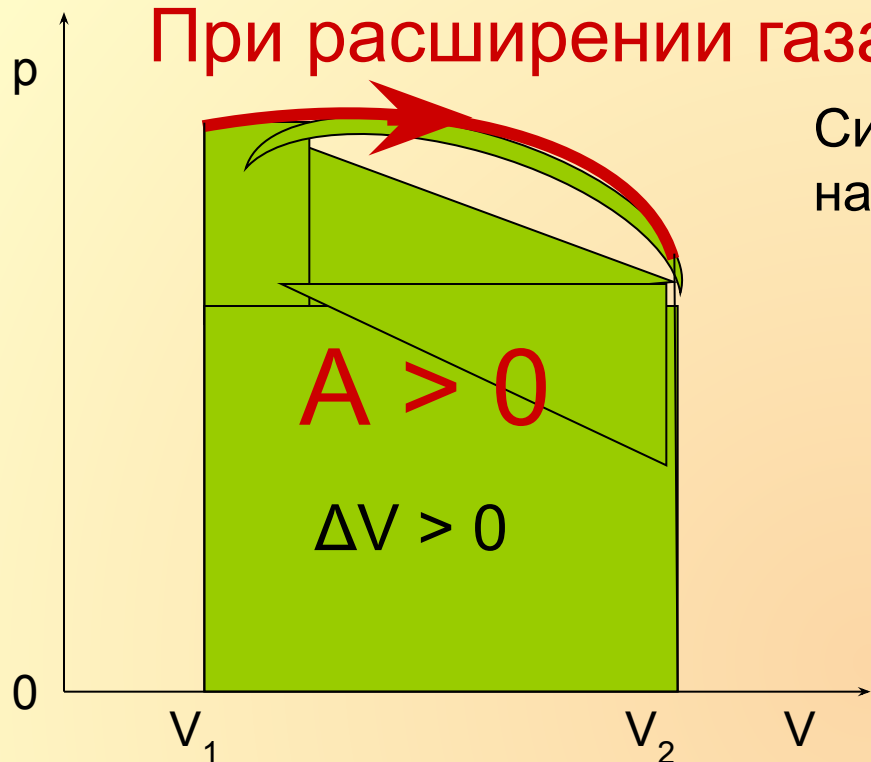
Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса.



Процессы, изображенные на рисунке, можно провести и в обратном направлении; тогда работа A просто изменит знак на противоположный. Процессы такого рода, которые можно проводить в обоих направлениях, называются **обратимыми**

При расширении газа работа положительна

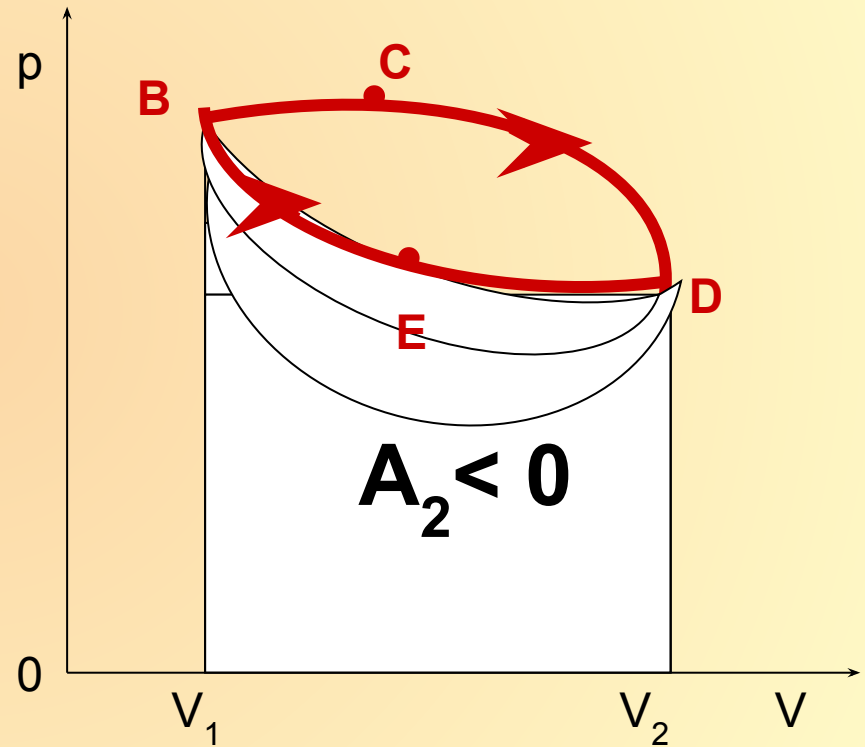
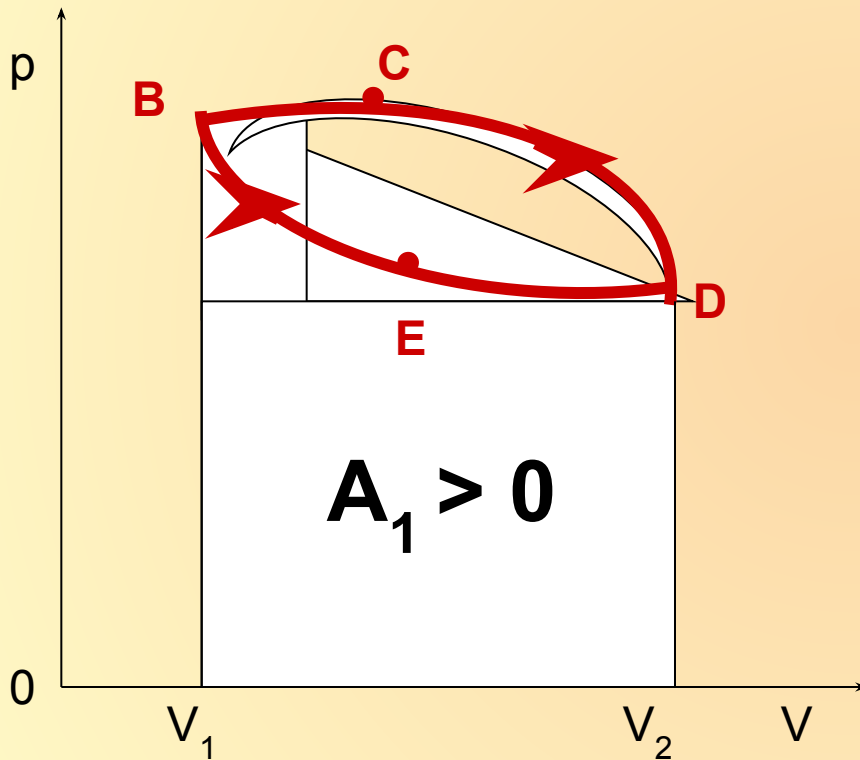
Сила давления газа и перемещение направлены одинаково.



При сжатии газа работа отрицательна

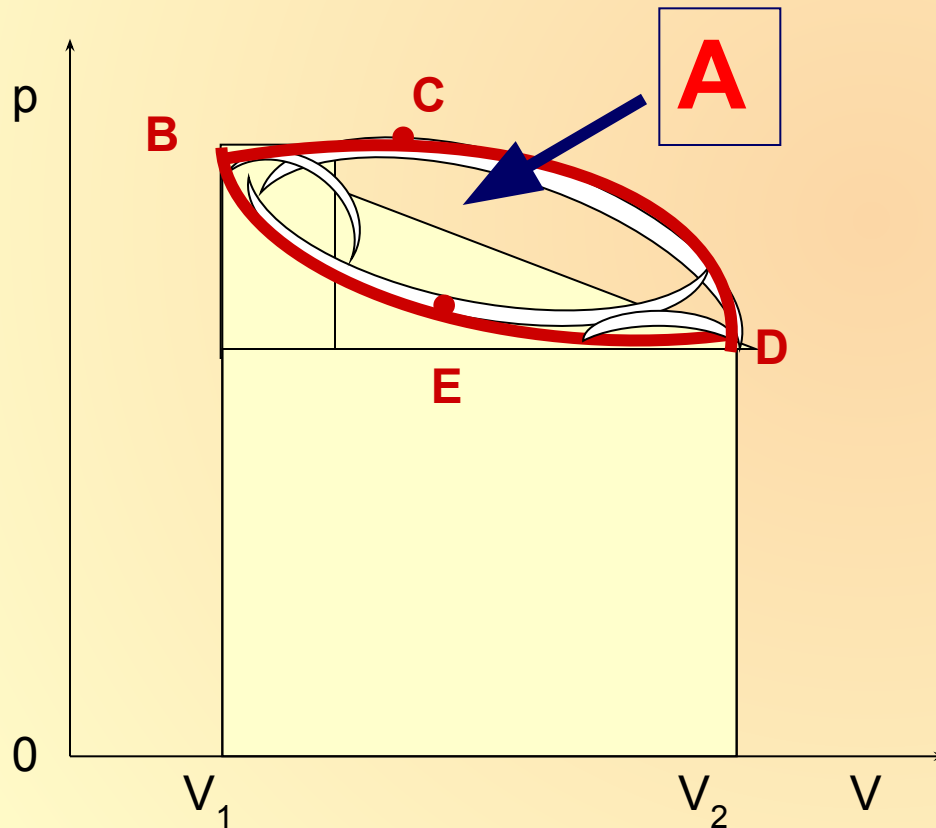
Работа при циклических процессах

Полная работа за цикл $A = A_1 + A_2$



При осуществлении кругового
процесса в направлении BCDEB
работа газа за цикл -
положительна

Работа совершается за счет
количества теплоты, получаемого газом
от нагревателя



При осуществлении
кругового процесса в
направлении BEDCB
работа газа за цикл -
отрицательна

Работа газа совершается
за счет уменьшения его
внутренней энергии

- См. TeachPro
- 1 закон термодинамики

Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы.

Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами.

$$\Delta U = Q - A$$

Другая форма записи соотношения,
выражающего первый закон термодинамики:

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

**Количество теплоты, полученное
системой, идет на изменение ее
внутренней энергии и совершение
работы над внешними телами.**

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую.

Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Такая гипотетическая машина получила название **вечного двигателя (perpetuum mobile) первого рода**. Многочисленные попытки создать такую машину неизменно заканчивались провалом. Любая машина может совершать положительную работу A над внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты Q от окружающих тел или уменьшения ΔU своей внутренней энергии.

АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

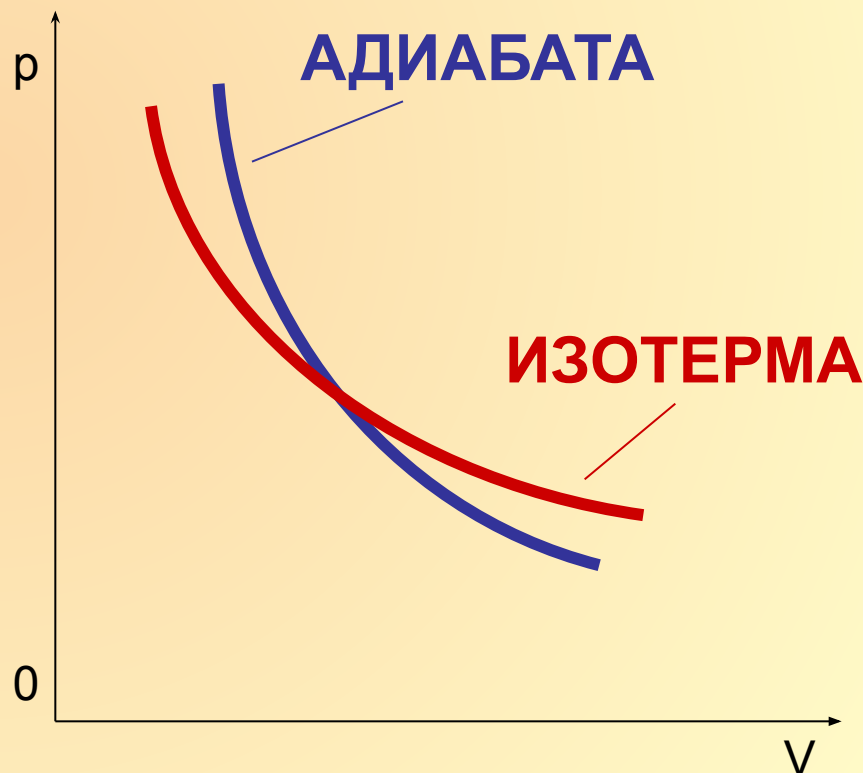
Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие в отсутствие теплообмена с окружающими телами.

Сосуды с теплонепроницаемыми стенками называются **адиабатическими оболочками**.

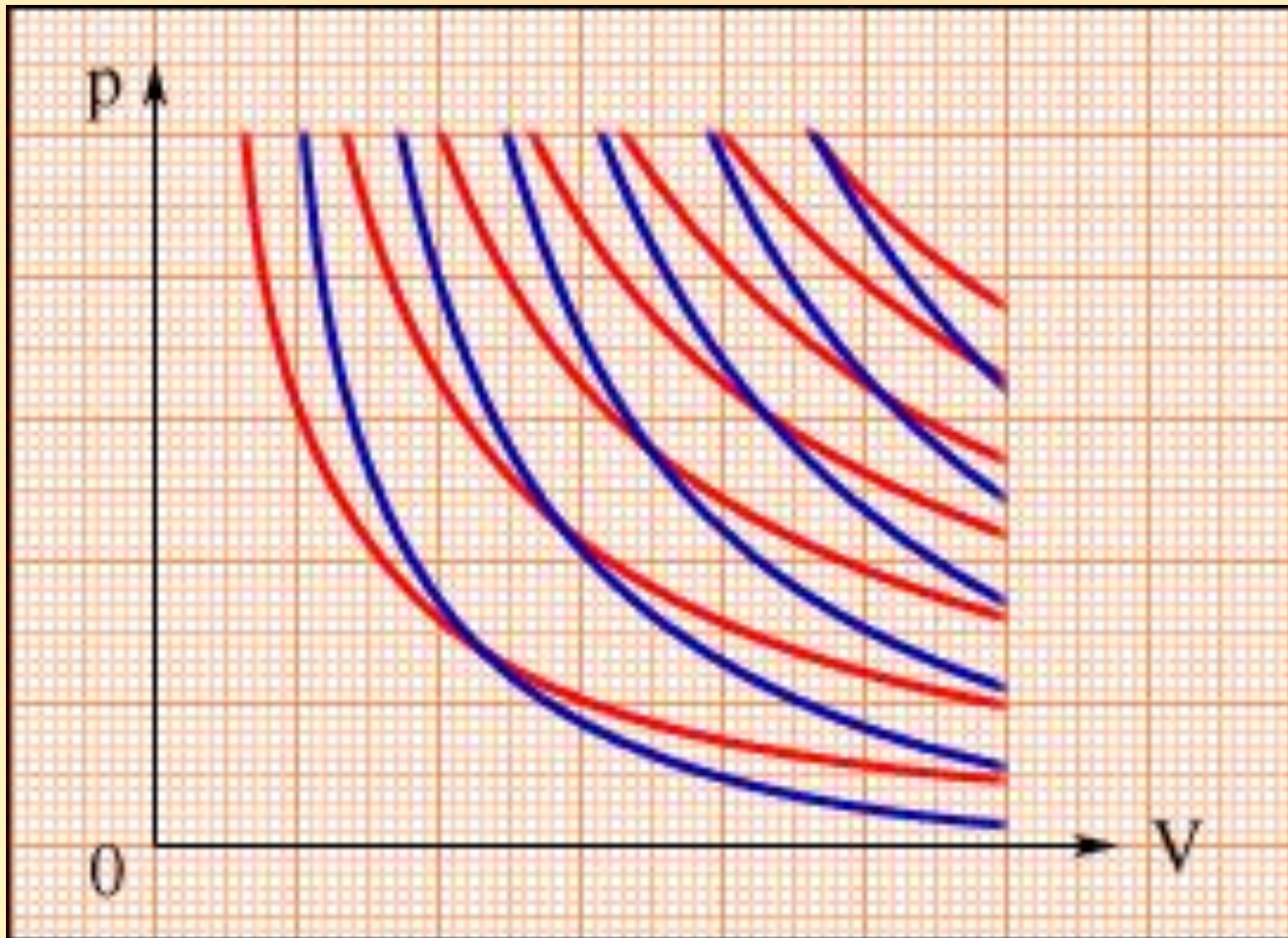
Процессы расширения или сжатия газа, протекающие в отсутствие теплообмена ($Q = 0$) называются **адиабатными** или **адиабатическими**.

На плоскости (p , V) процесс адиабатического расширения (или сжатия) газа изображается кривой, которая называется **адиабатой**.

При адиабатическом расширении газ совершает положительную работу ($A > 0$); поэтому его внутренняя энергия уменьшается ($\Delta U < 0$). Это приводит к понижению температуры газа. Вследствие этого давление газа при адиабатическом расширении убывает быстрее, чем при изотермическом расширении



Семейства **изотерм** (красные кривые) и **адиабат** (синие кривые) идеального газа.





Опыт "воздушное огниво". Возьмем толстостенный стеклянный цилиндр с поршнем. На дно цилиндра насыплем измельченной "серы" от спичек. Резко ударив по рукоятке, мы сильно сожмем воздух. В результате он нагревается настолько сильно, что серный порошок воспламеняется.



Опыт "туман в бутылки". Для него нам потребуются бутылка и насос, изображенные на рисунке. Прежде чем вставить пробку, в бутылку наливают немного воды и несколько раз встряхивают, чтобы воздух внутри стал влажным. Придерживая пробку рукой, накачивают воздух. Когда пробка готова выскочить, накачивание прекращают и ожидают 5-10 минут, чтобы воздух в бутылке охладился до комнатной температуры (так как при совершении над ним работы он нагрелся). При отпускании пробки она вылетает, и в бутылке образуется туман!

- См. физикон Физика 7-11 Лаборатории
Адиабатный процесс

ПРИМЕНЕНИЕ

ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ

Процесс	Постоянные	Изменение внутренней энергии	Запись 1-го закона термодинамики	Физический смысл

I закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней
энергии

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

Изобарный процесс

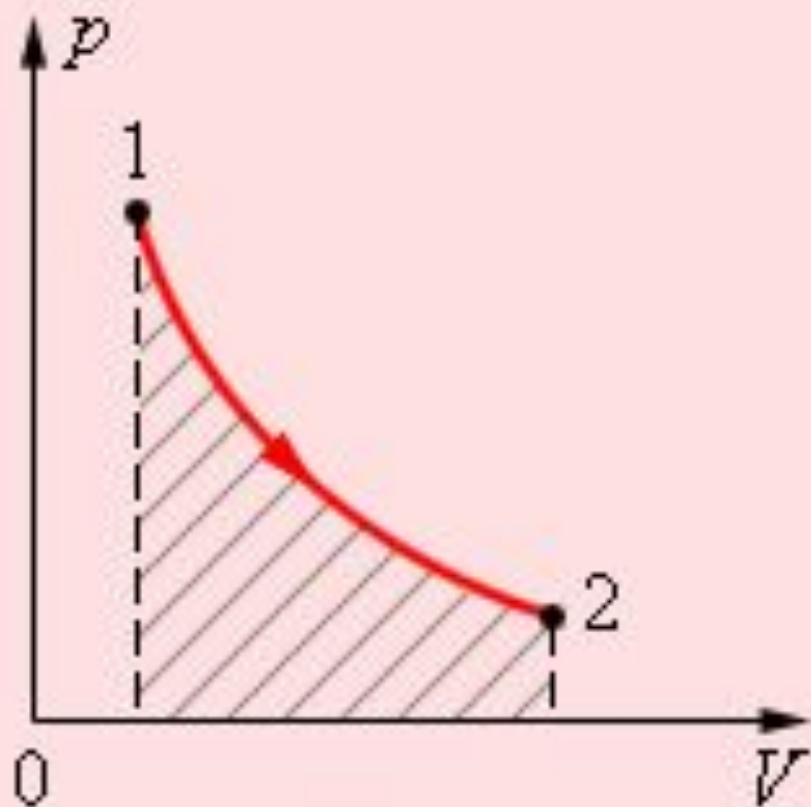
$$A = p \Delta V$$

Изотермический
процесс

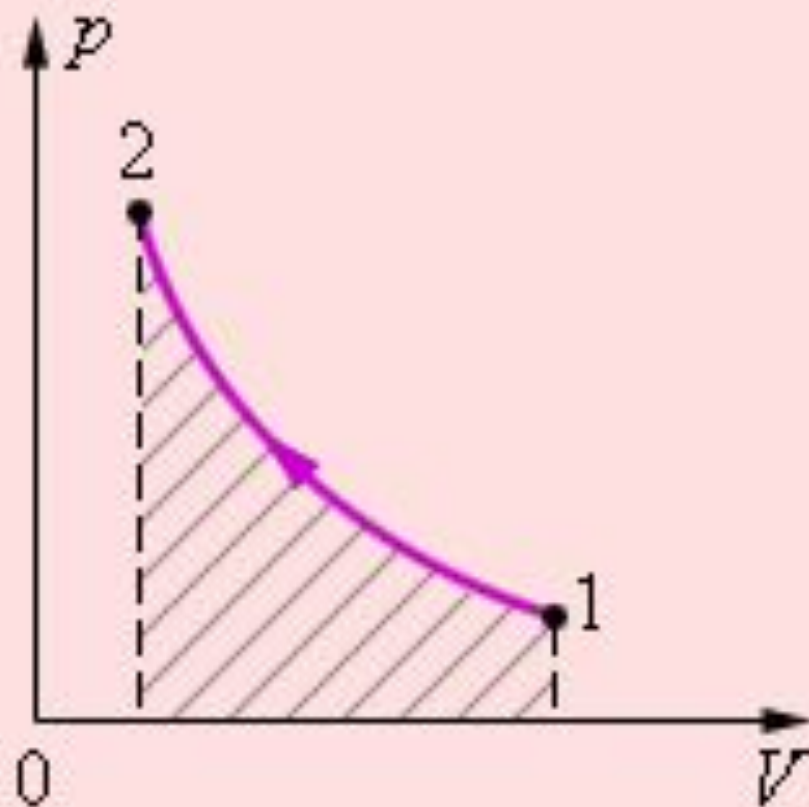
$$A = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Изотермический процесс

Процесс	Постоянные	Изменение внутренней энергии	Запись 1-го закона термодинамики	Физический смысл
Изотермическое расширение	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$ $T = \text{const}$ $pV = \text{const}$	$\Delta T = 0$ $\Delta U = 0$ $U = \text{const}$	$Q = A'$	Изотермический процесс не может происходить без теплопередачи. Все количество теплоты, переданное системе, расходуется на совершение этой системой механической работы.
Изотермическое сжатие	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$ $T = \text{const}$ $pV = \text{const}$	$\Delta T = 0$ $\Delta U = 0$ $U = \text{const}$	$Q = -A$	Изотермический процесс не может происходить без теплопередачи. Вся работа внешних сил выделяется в виде тепла.



$$A > 0, \Delta U = 0, Q > 0$$



$$A < 0, \Delta U = 0, Q < 0$$

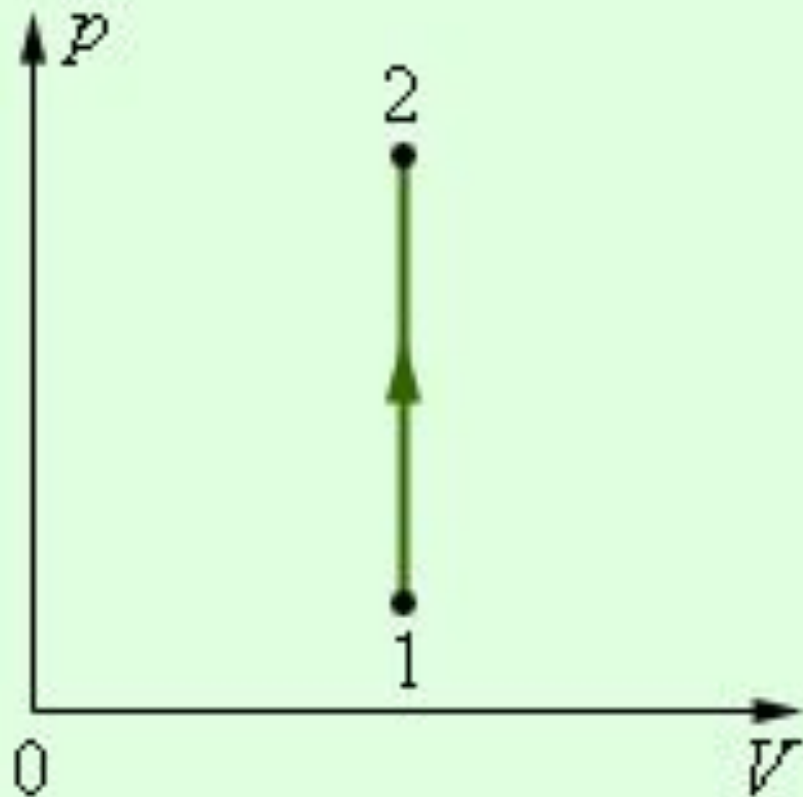
Первое начало термодинамики
для **изотермического процесса**.

m=const
M=const
V=const

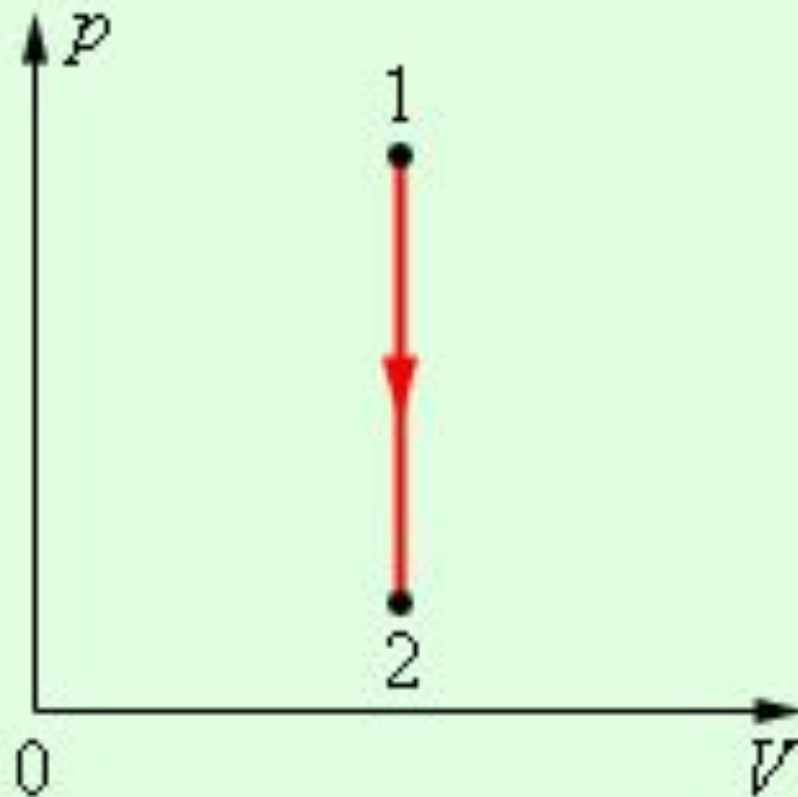
Изохорный процесс

p
T

Процесс	Постоян ные	Изменени е внутренн ей энергии	Запись 1-го закона термодинам ики	Физический смысл
Изохорн ое нагрева ние	m=const M=const V=const	$p \uparrow \Rightarrow$ $T \uparrow \Rightarrow$ $U \uparrow \Rightarrow$ $\Delta U > 0$	$A = 0$ $Q = \Delta U$	Все количество теплоты, переданное системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии.
Изохорн ое охлажде ние	m=const M=const V=const	$p \downarrow \Rightarrow$ $T \downarrow \Rightarrow$ $U \downarrow \Rightarrow$ $\Delta U < 0$	$A = 0$ $Q = \Delta U < 0$	Система уменьшает свою внутреннюю энергию, отдавая тепло окружающим телам.



$$Q > 0, A = 0$$

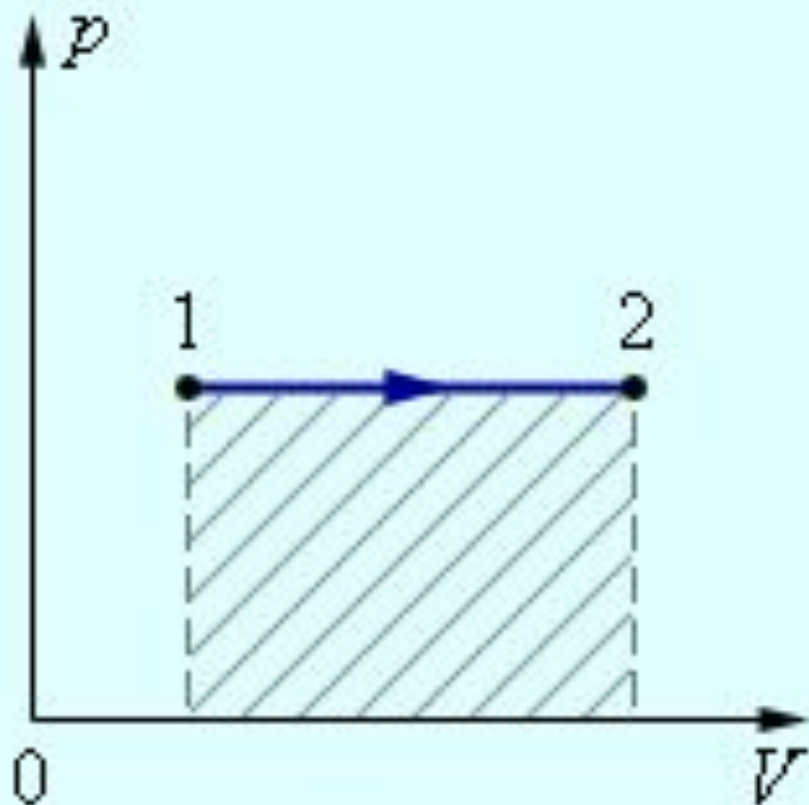


$$Q < 0, A = 0$$

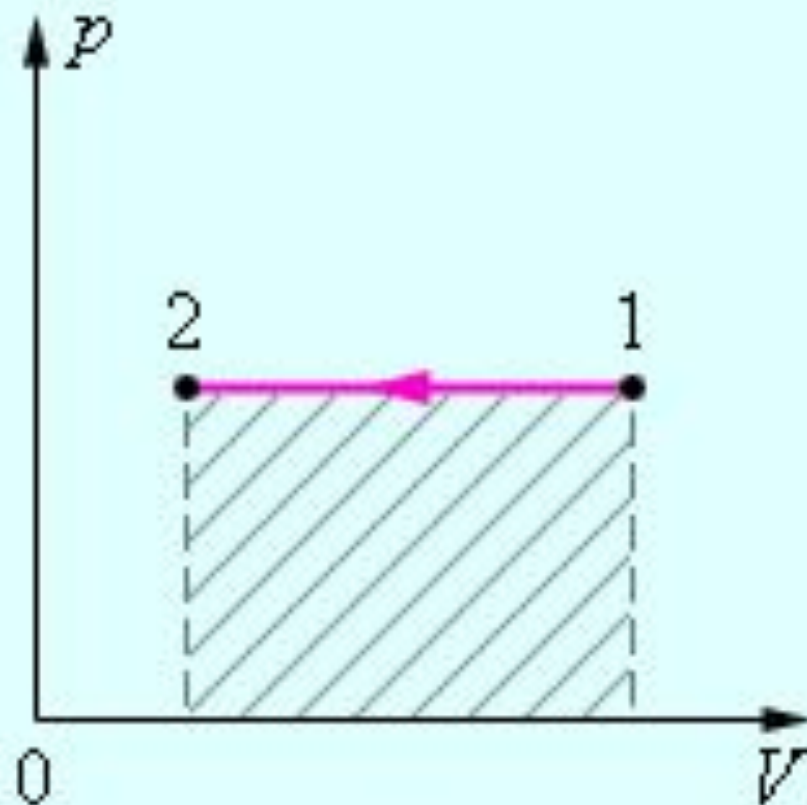
Первое начало термодинамики
для **изохорного процесса**.

Изобарный процесс

Процесс	Постоян ные	Изменение внутренней энергии	Запись 1-го закона термодинамики	Физический смысл
Изобарное расшире ние (нагрева ние)	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$ $p = \text{const}$ $\frac{V}{T} = \text{const}$	$V \uparrow \Rightarrow$ $T \uparrow \Rightarrow$ $U \uparrow \Rightarrow$ $\Delta U > 0$	$Q = \Delta U + A'$ $\Delta U = Q - A' > 0$	Количество теплоты, переданное системе, превышает совершенную ею механическую работу. Часть тепла расходуется на совершение работы, а часть – на увеличение внутр. энергии.
Изобарное сжатие (охлажден ие)	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$ $p = \text{const}$ $\frac{V}{T} = \text{const}$	$V \downarrow \Rightarrow$ $T \downarrow \Rightarrow$ $U \downarrow \Rightarrow$ $\Delta U < 0$	$\Delta U = Q + A < 0$ $Q < 0$	Количество теплоты, отдаваемое системой, превышает работу внешних сил. Часть тепла система отдает за счет уменьшения внутр. энергии.



$$A > 0, \Delta U > 0, Q > 0$$

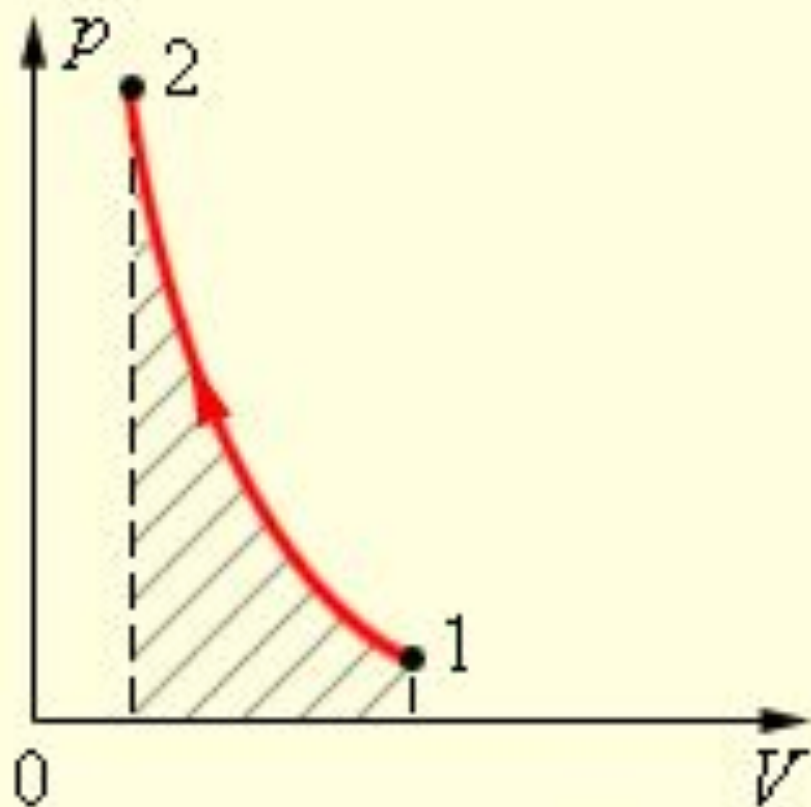


$$A < 0, \Delta U < 0, Q < 0$$

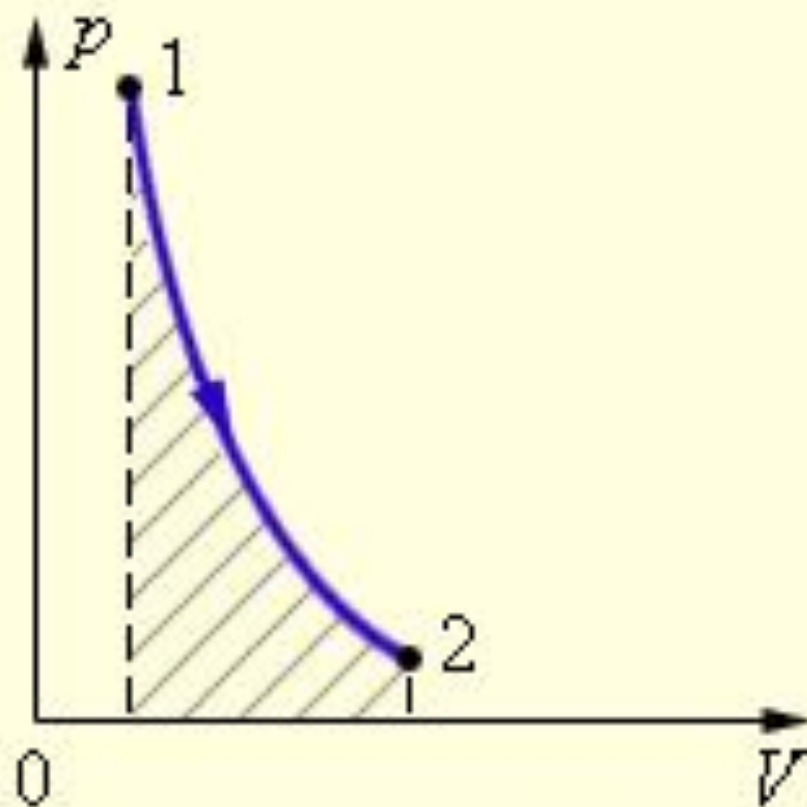
Первое начало термодинамики
для **изобарного процесса**.

Адиабатный процесс

Процесс	Постоянны е	Изменение внутренне й энергии	Запись 1-го закона термодинами ки	Физический смысл
Адиабат ное расши рение	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$	$\Delta U < 0$ $U \downarrow \Rightarrow T \downarrow$	$Q = 0$ $A' > 0$ $\Delta U = -A' < 0$ $A' = -\Delta U$	Система совершает механическую работу только за счет уменьшения своей внутренней энергии.
Адиабат ное сжатие	$m = \text{const}$ $M = \text{const}$	$\Delta U > 0$ $U \uparrow \Rightarrow T \uparrow$	$Q = 0$ $A > 0$ $\Delta U = A$	Внутренняя энергия системы увеличивается за счет работы внешних сил.



$$A < 0, Q = 0, \Delta U > 0$$



$$A > 0, Q = 0, \Delta U < 0$$

Первое начало термодинамики
для **адиабатного процесса**.

Название процесса	Изменение внутренней энергии	Запись I закона термодинамики	Следствия из I закона термодинам.
Изотермич. $T = \text{const}$			
Изохорный $V = \text{const}$			
Изобарный $P = \text{const}$			
Адиабат- ный			