

ТЕРМОДИНАМИКА



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 пределах 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

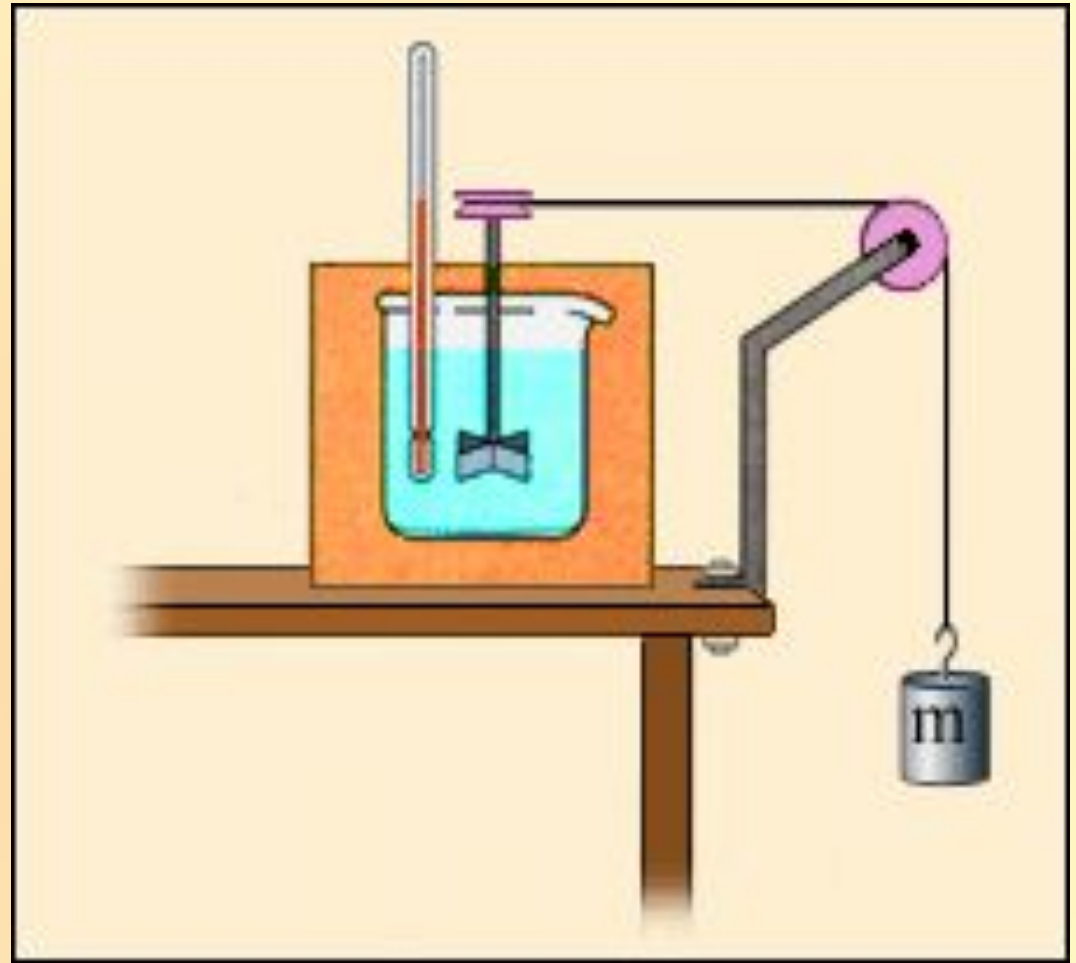
Количество теплоты —
энергия передаваемая
или получаемая путем
теплообмена

$Q > 0$ 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.



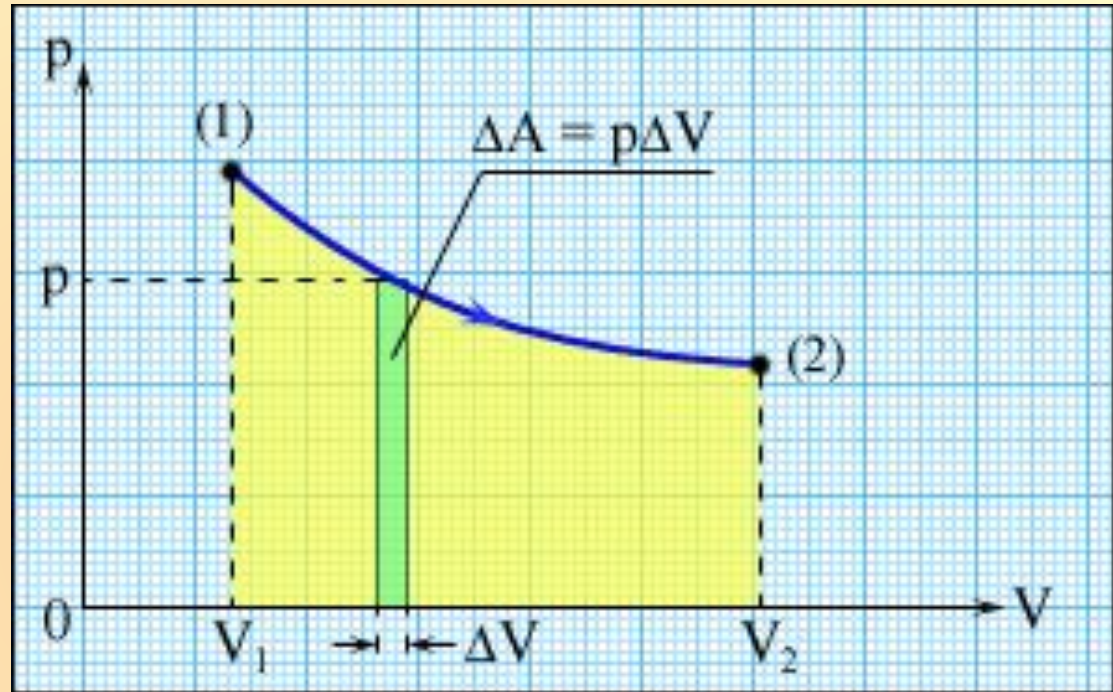
Механический эквивалент теплоты A/Q

Если система получает от внешних тел энергию в виде работы A , а отдает энергию в виде количества теплоты Q , то отношение A/Q равно $4,2$ 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):



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

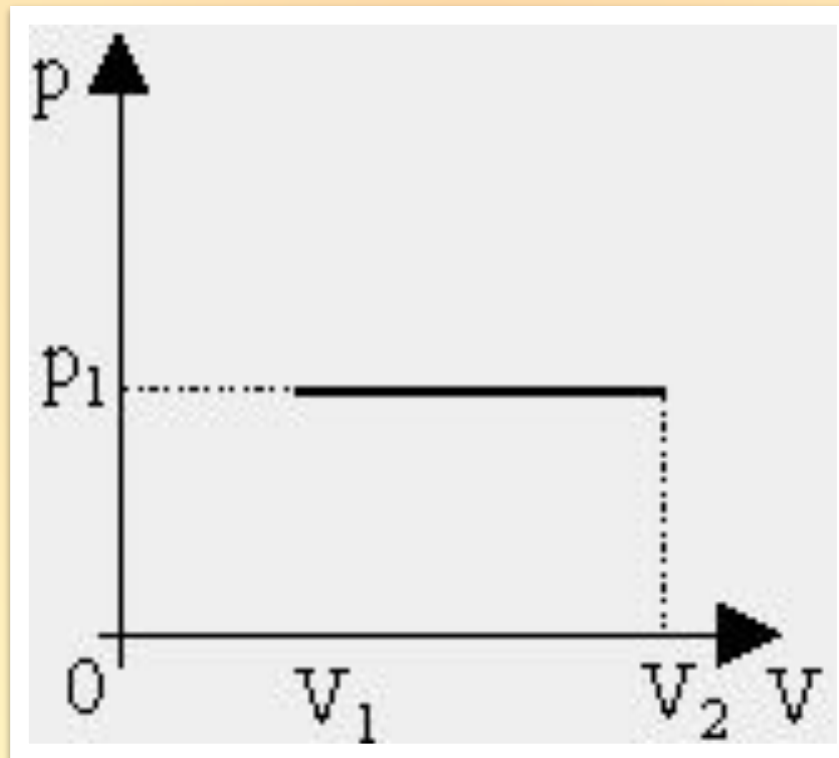
Работа при изменении объема

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,

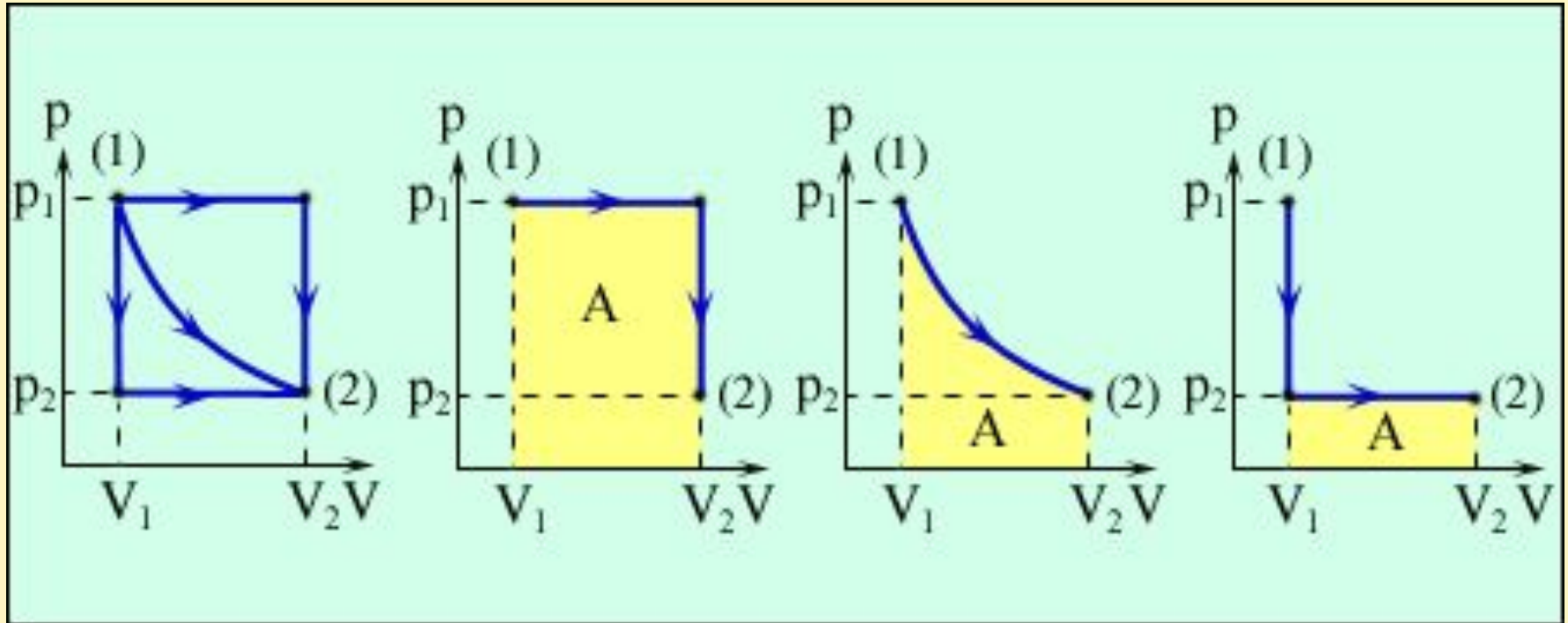
следовательно,

в изохорном процессе

работа не совершается!

Работа газа

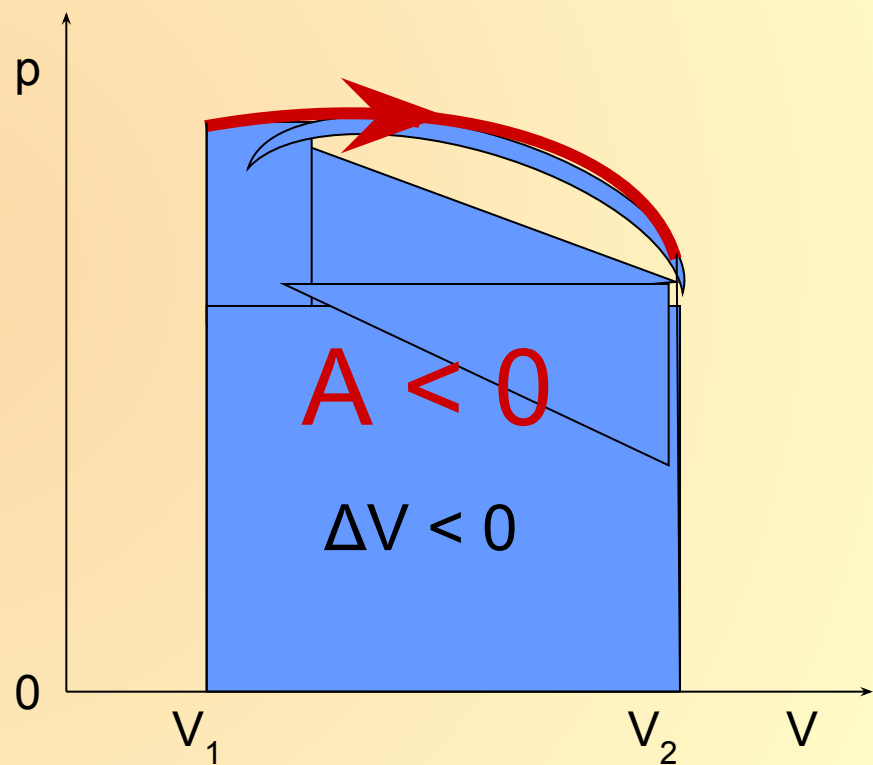
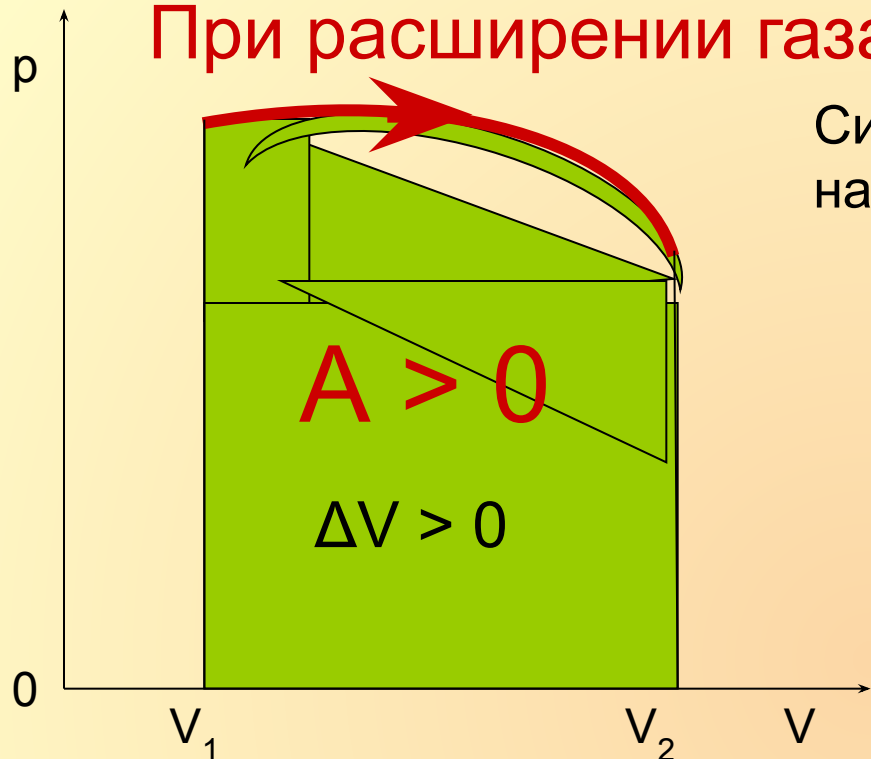
Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса.



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

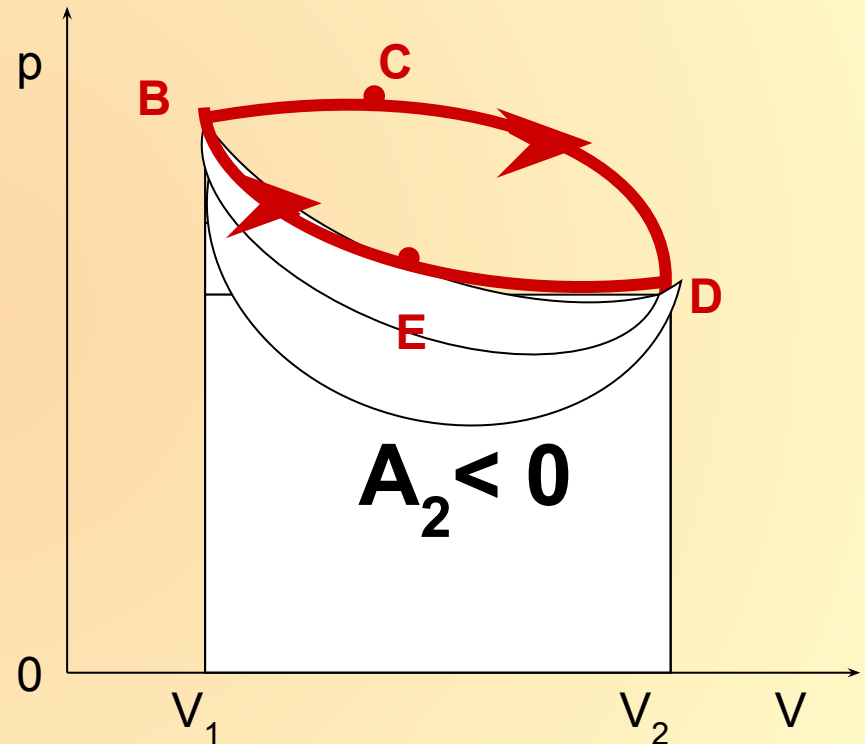
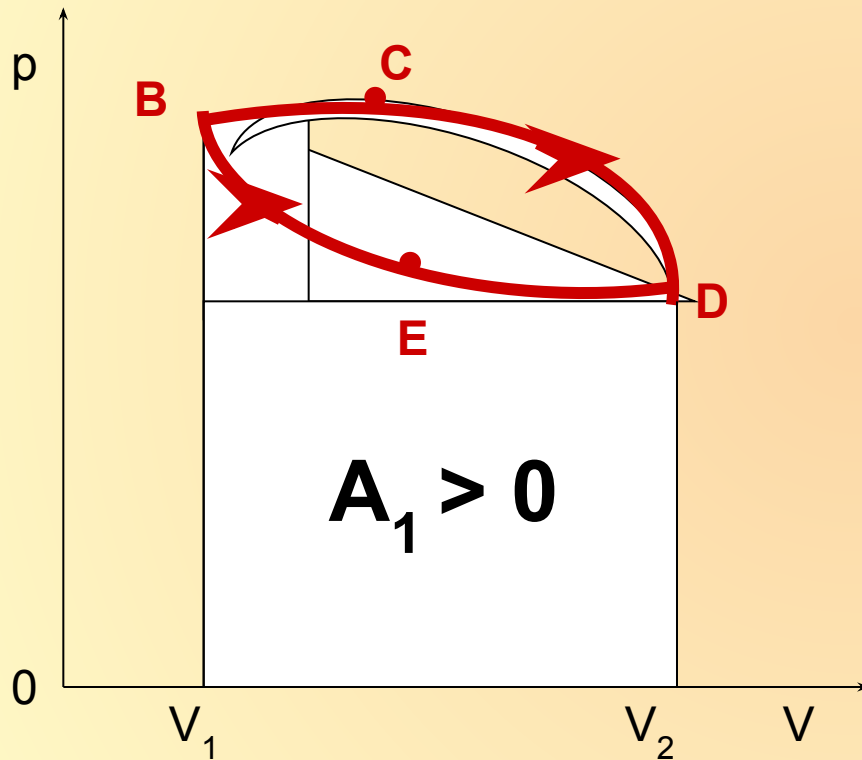
Сила давления газа и перемещение направлены одинаково.



При сжатии газа работа отрицательна

Работа при циклических процессах

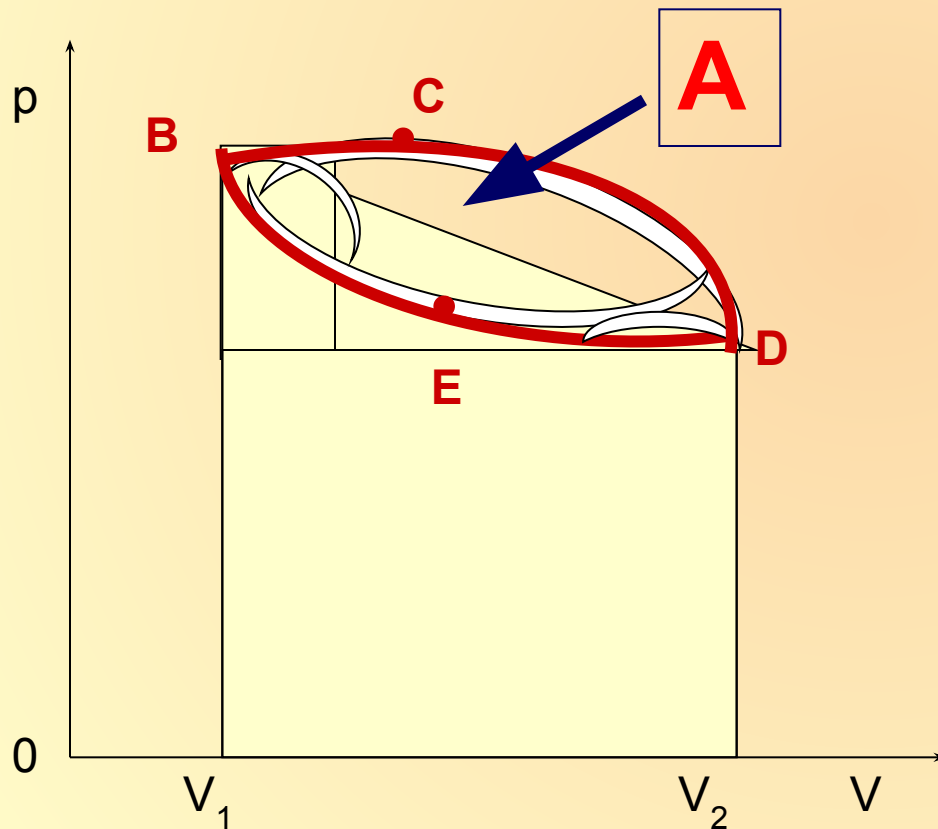
Полная работа за цикл $A = A_1 + A_2$



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

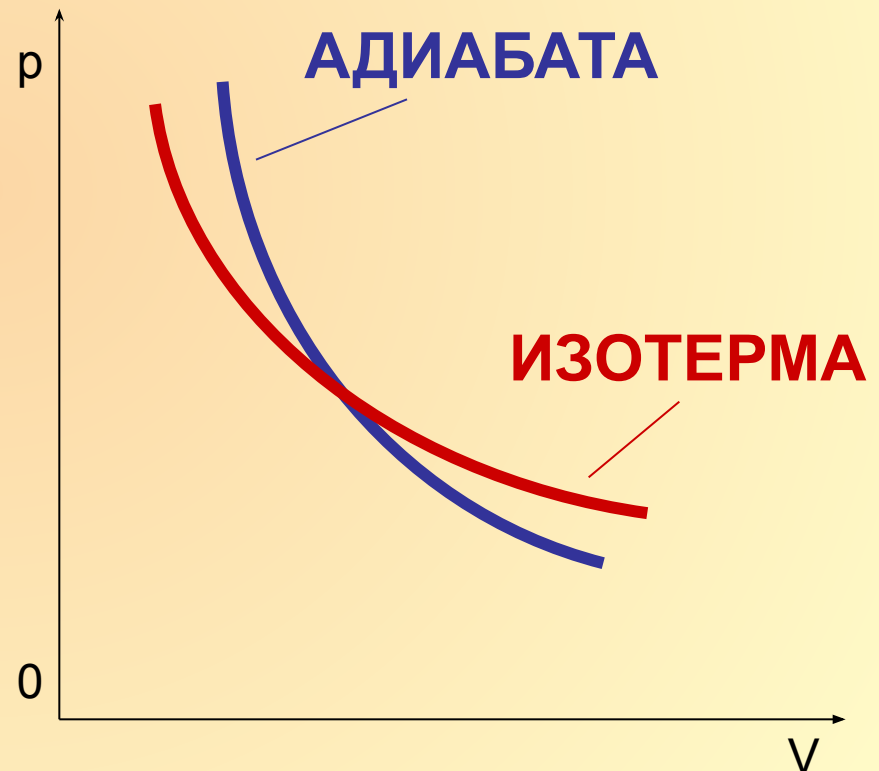
Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие в отсутствие теплообмена с окружающими телами.

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

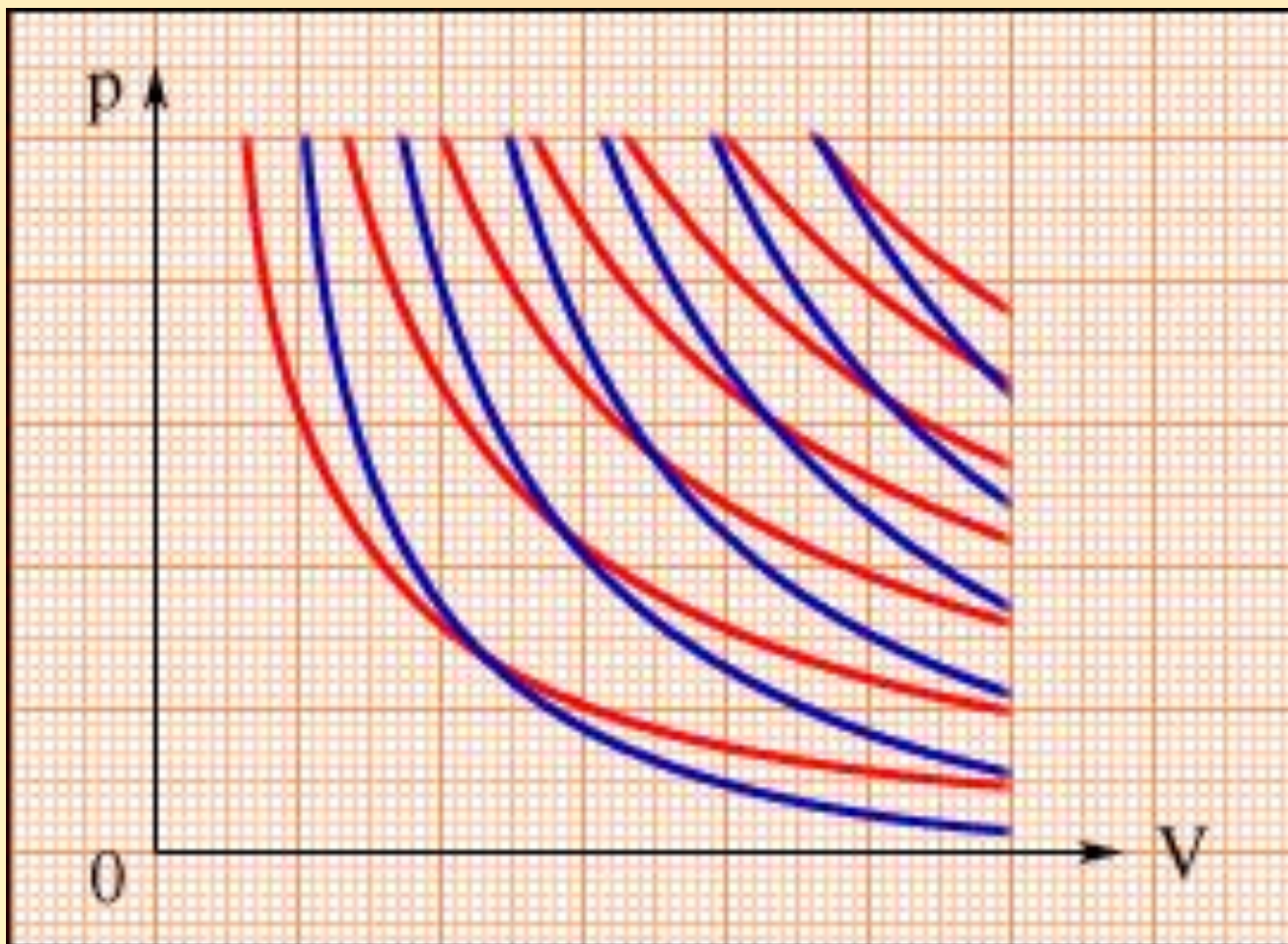
Процессы расширения или сжатия газа, протекающие в отсутствие теплообмена ($Q = 0$) называются **адиабатными или адиабатическими.**

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 отпуске пробки она вылетает, и в бутылке образуется туман!

- См. физикон Физика 7-11 Лаборатории
Адиабатный процесс

ПРИМЕНЕНИЕ

ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ

<p>Процесс</p>	<p>Постоянные</p>	<p>Изменение внутренней энергии</p>	<p>Запись 1-го закона термодинамики</p>	<p>Физический смысл</p>

I закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней
энергии

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

Изобарный процесс

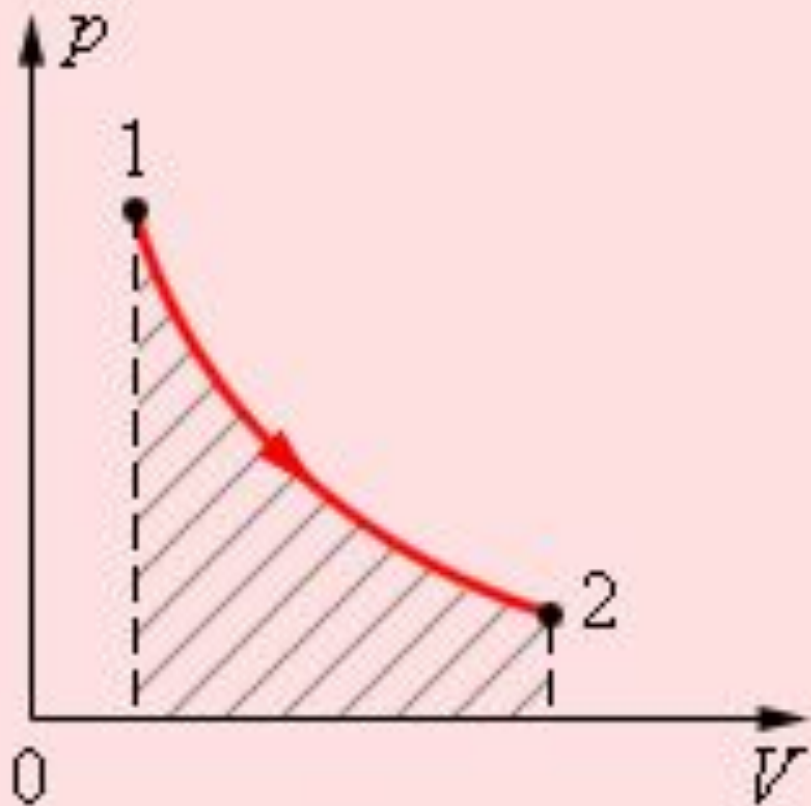
$$A = p \Delta V$$

Изотермический
процесс

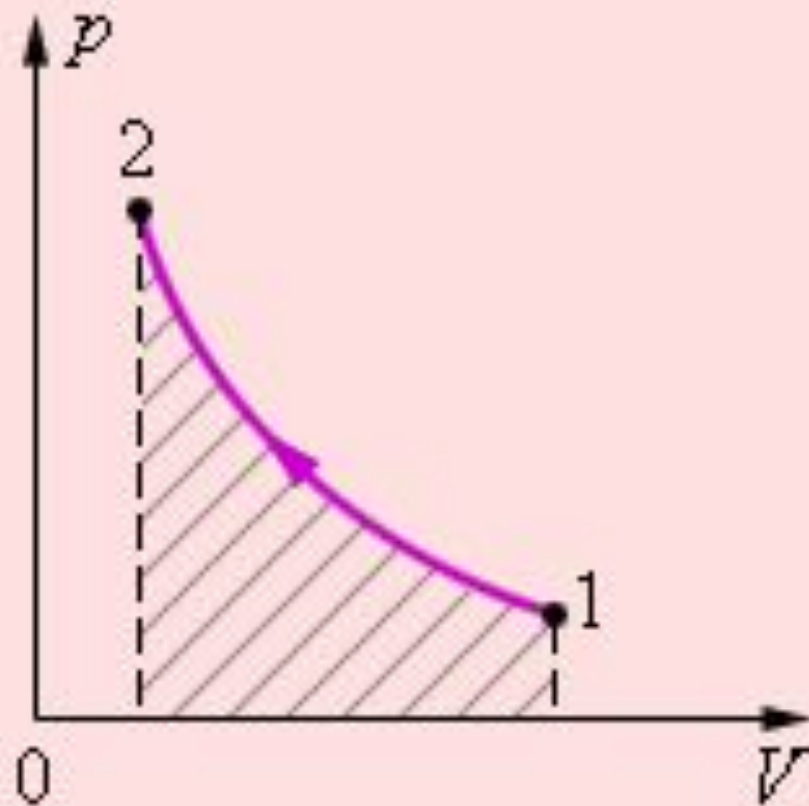
$$A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

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.



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



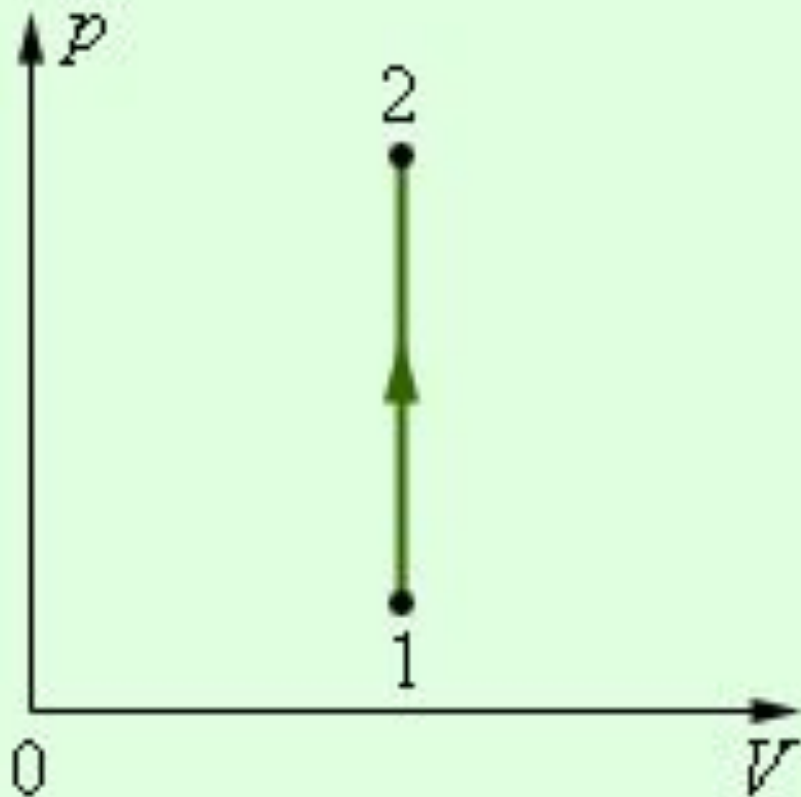
$$A < 0, \Delta U = 0, Q < 0$$

Первое начало термодинамики
для **изотермического процесса**.

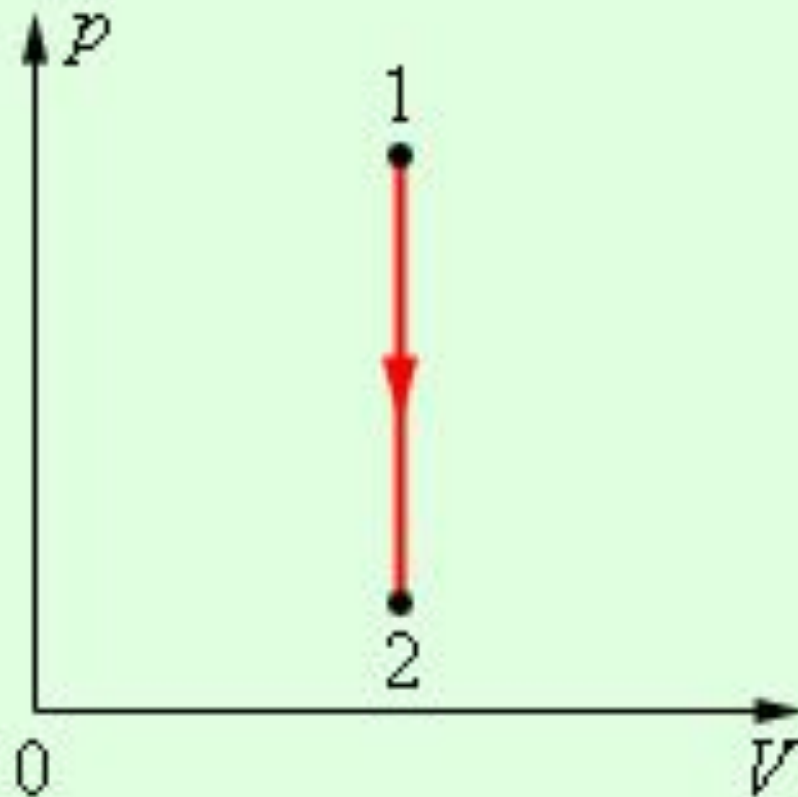
m=const
M=const
V=const

Изохорный процесс

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



$$Q > 0, A = 0$$

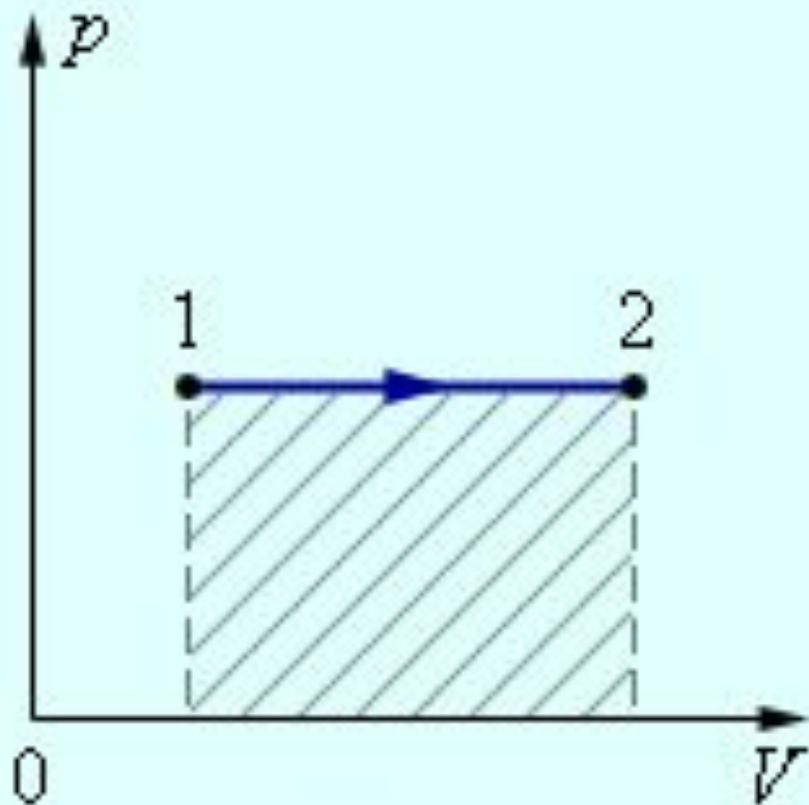


$$Q < 0, A = 0$$

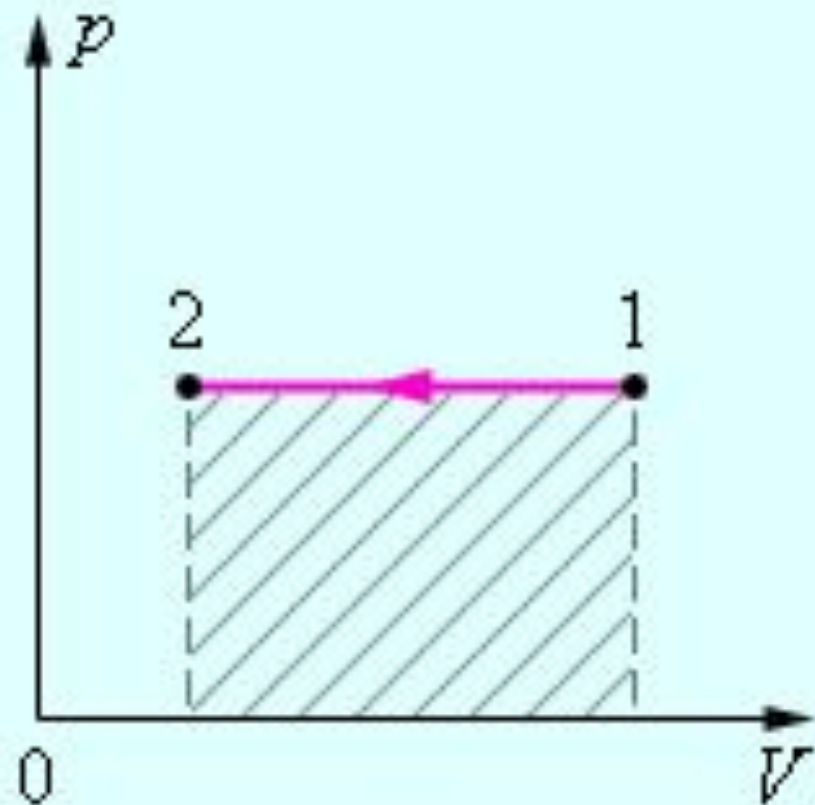
Первое начало термодинамики
для **изохорного процесса**.

Изобарный процесс

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



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

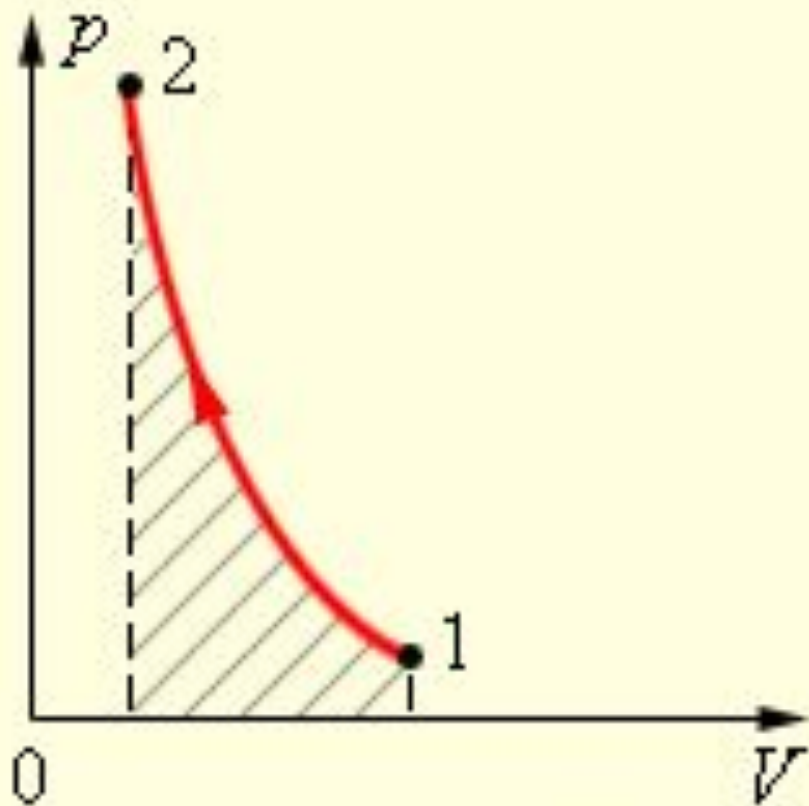


$$A < 0, \Delta U < 0, Q < 0$$

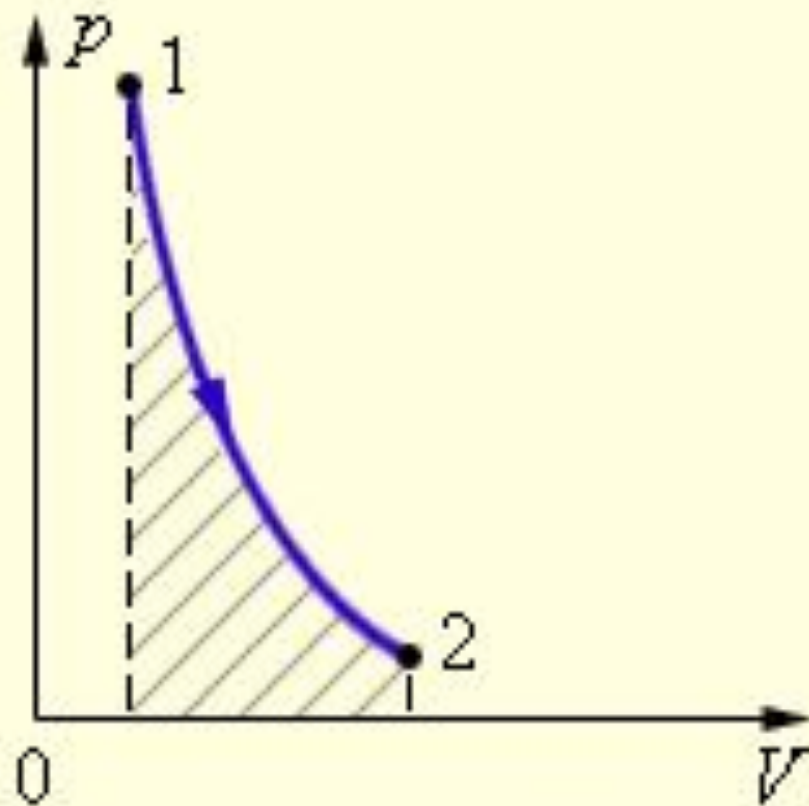
Первое начало термодинамики
для **изобарного процесса**.

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 $P = \text{const}$			
Адиабатный			