

# 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

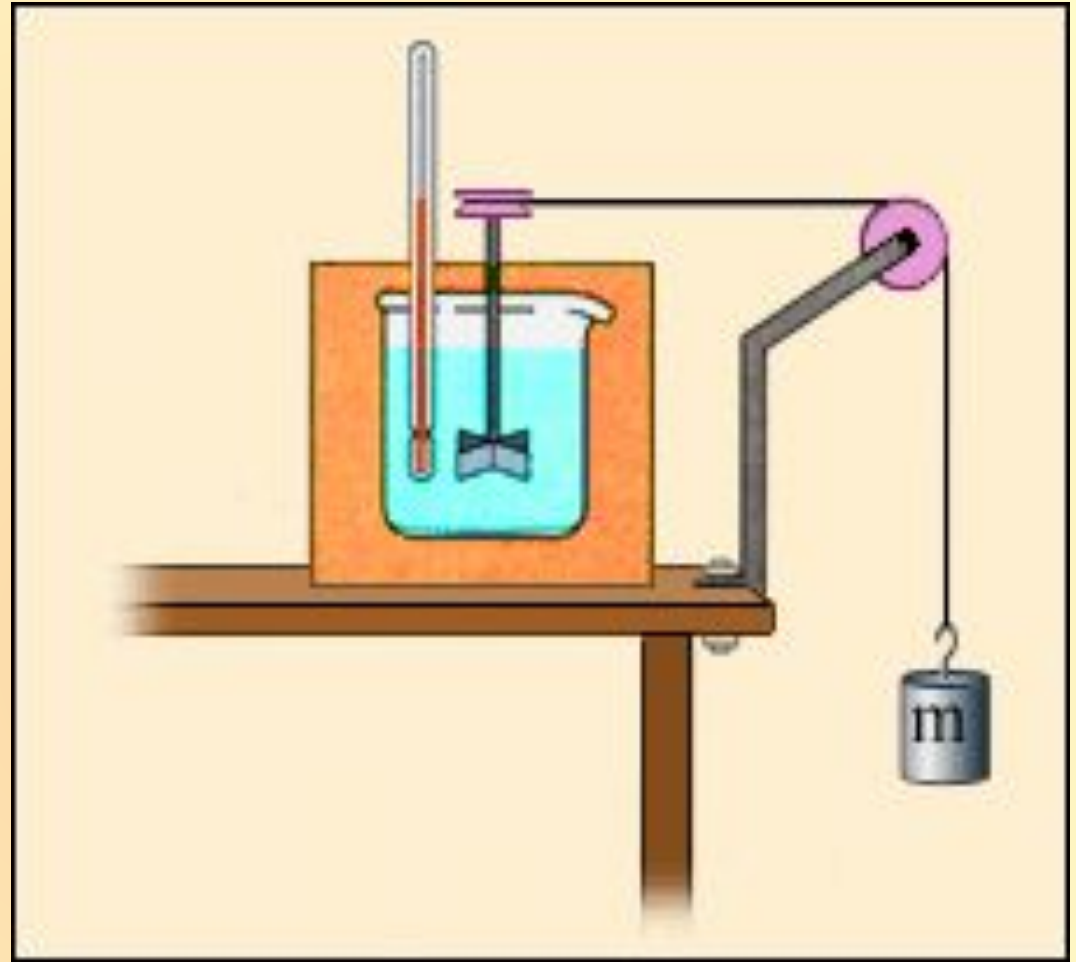
*Количество теплоты* —  
энергия передаваемая  
или получаемая путем  
теплообмена

$Q > 0$  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  $A/Q$**

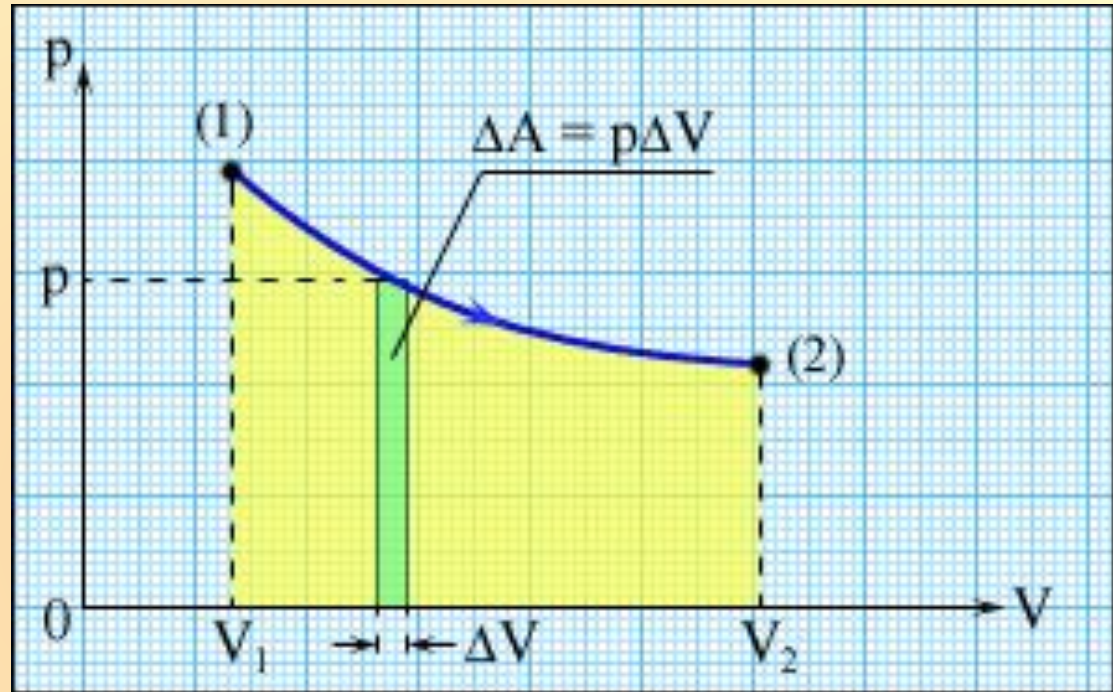
**Если система получает от внешних тел энергию в виде работы  $A$ , а отдает энергию в виде количества теплоты  $Q$ , то отношение  $A/Q$  равно  $4,2$  Дж/кал**



# 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):



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

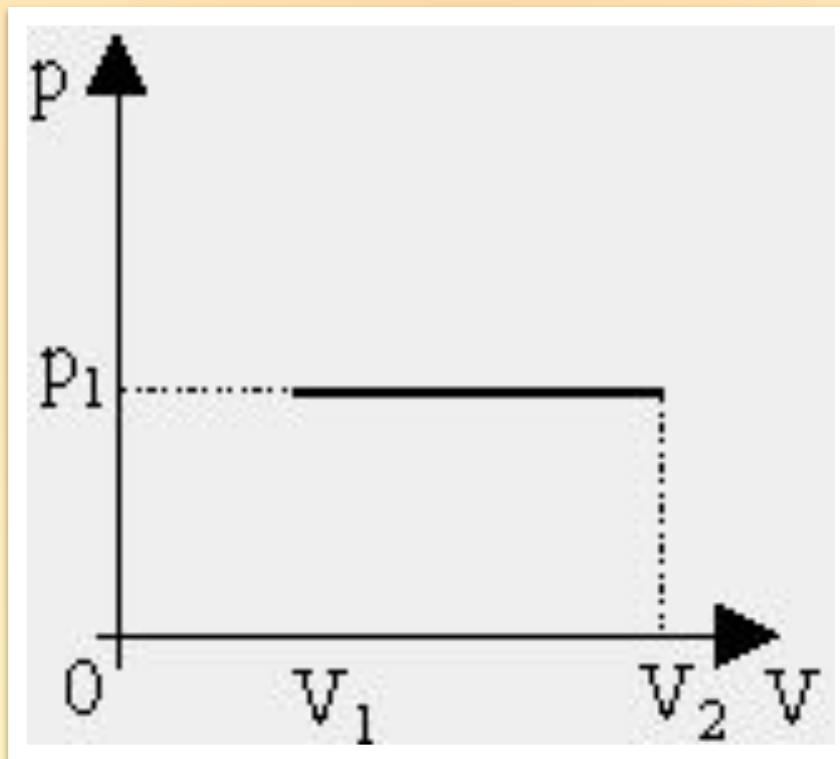
## Работа при изменении объема

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,

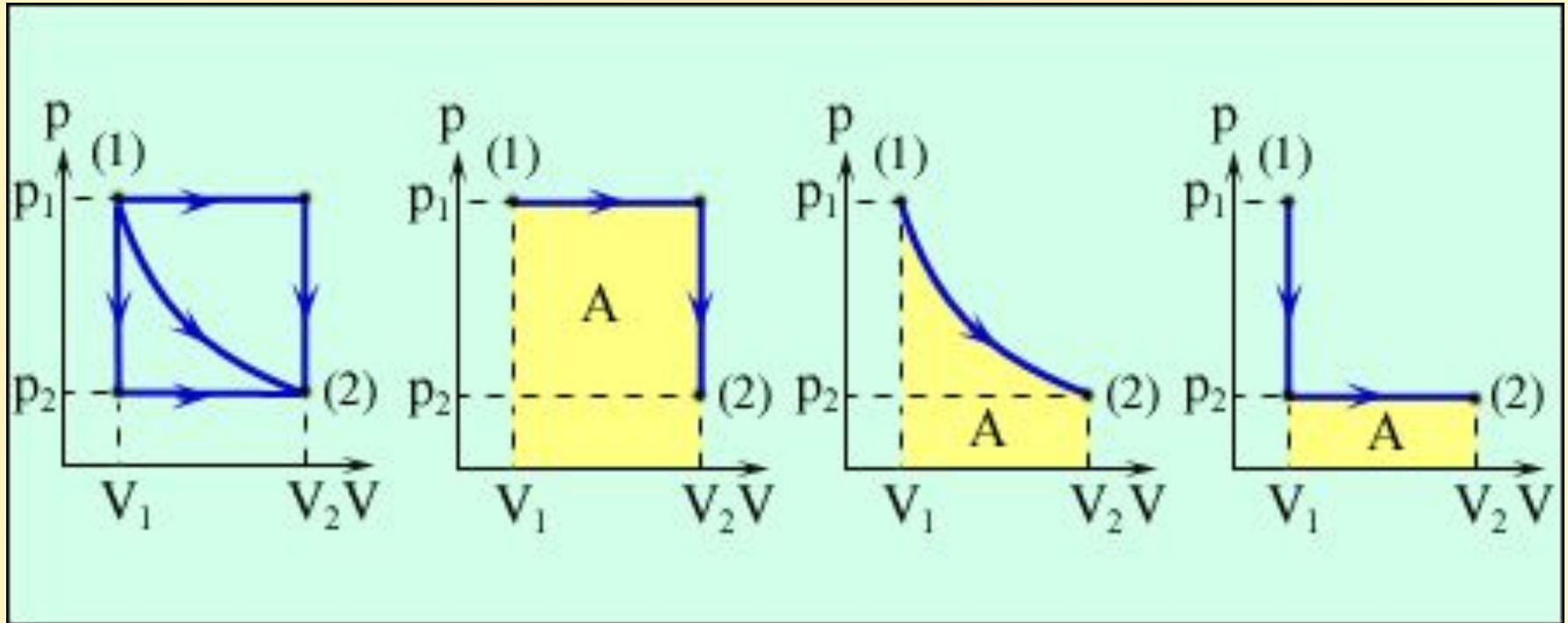
следовательно,

**в изохорном процессе**

**работа не совершается!**

# Работа газа

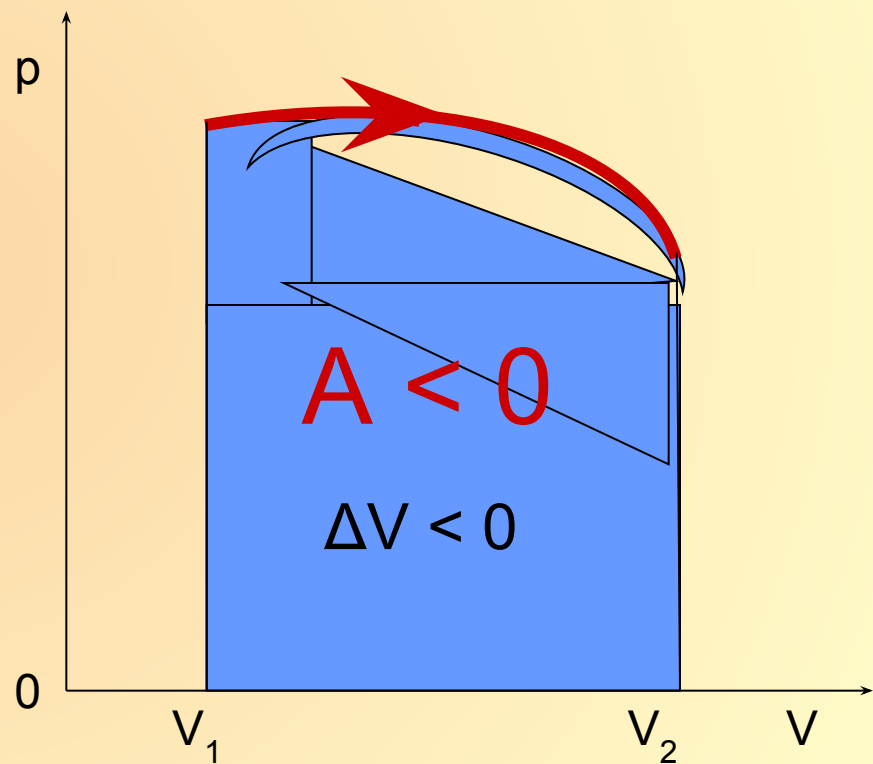
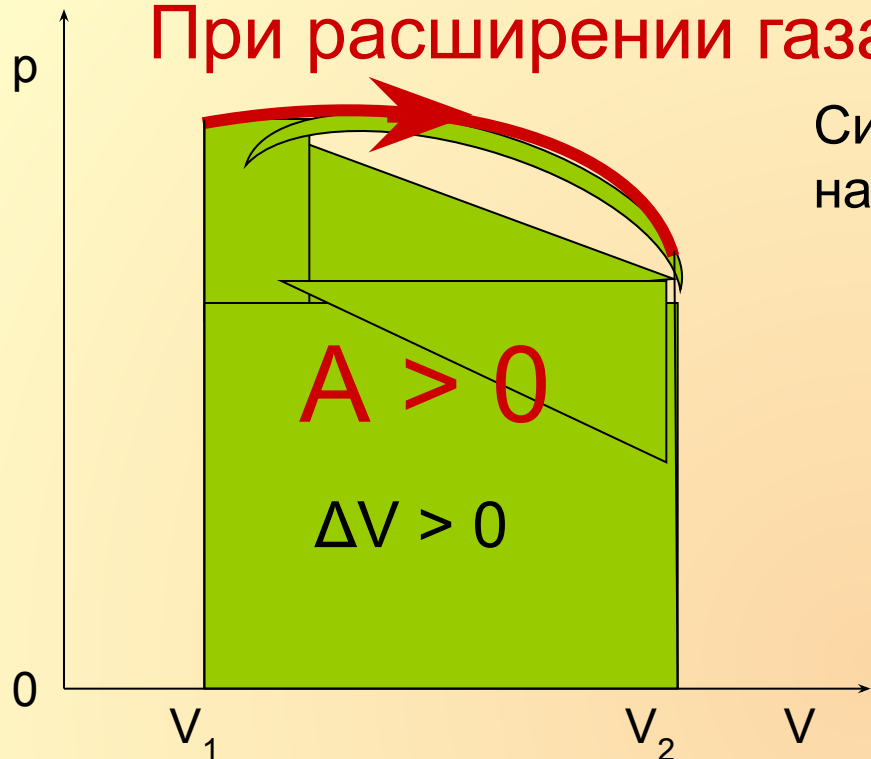
Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса.



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.

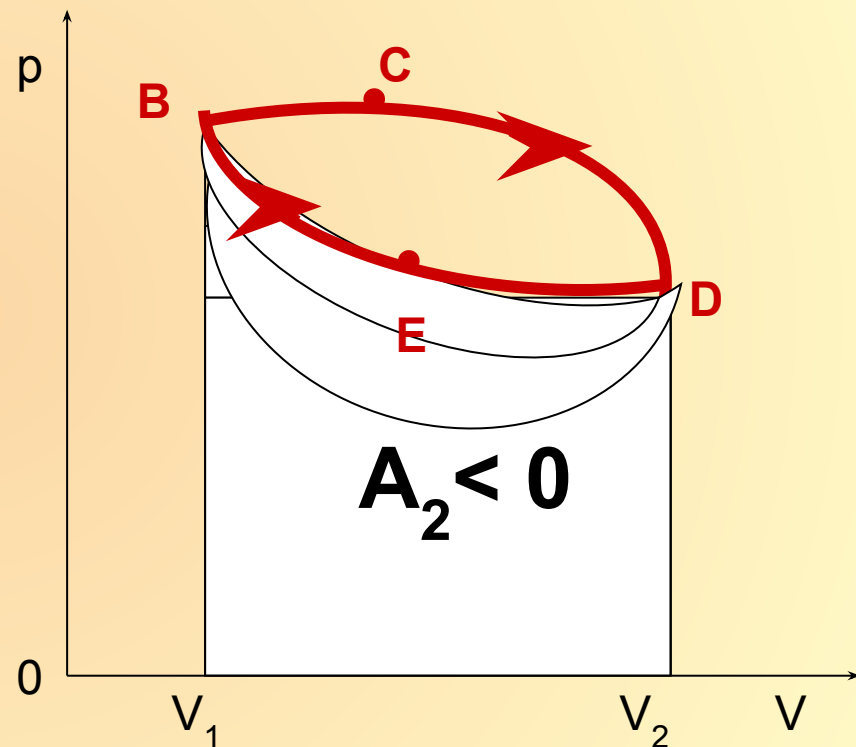
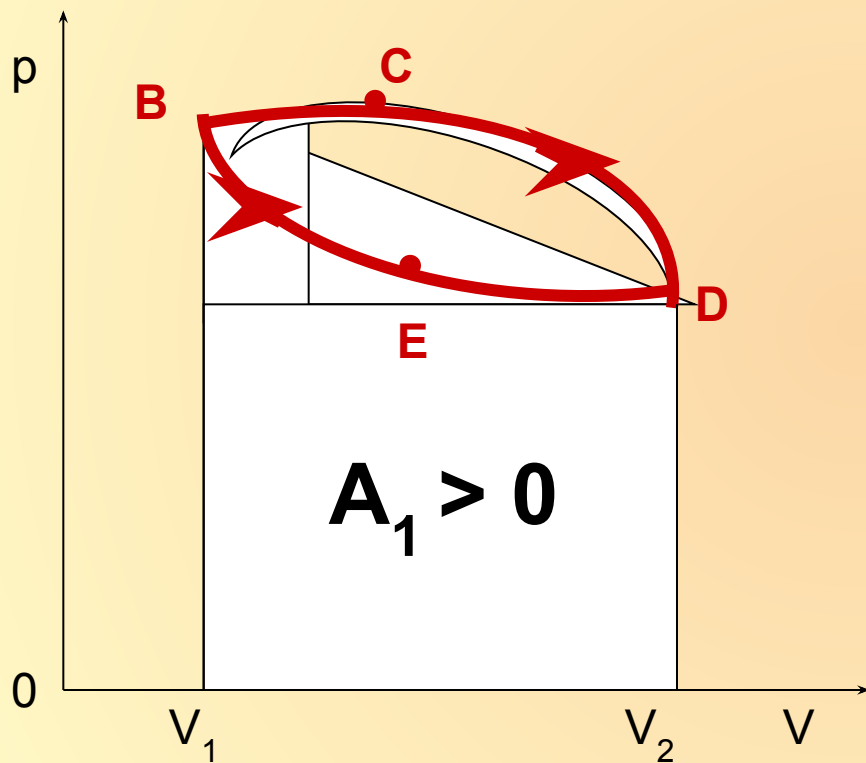


# При сжатии газа работа отрицательна



# Работа при циклических процессах

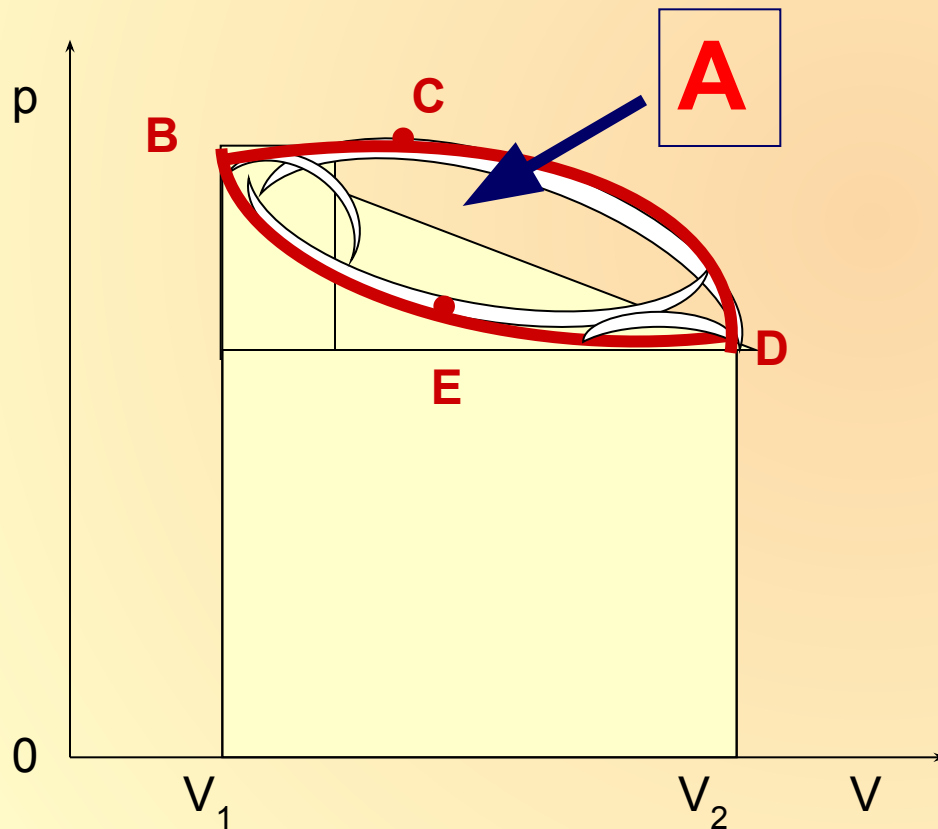
Полная работа за цикл  $A = A_1 + A_2$



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  $\Delta U$  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  $\Delta U$  своей внутренней энергии.

# АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

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

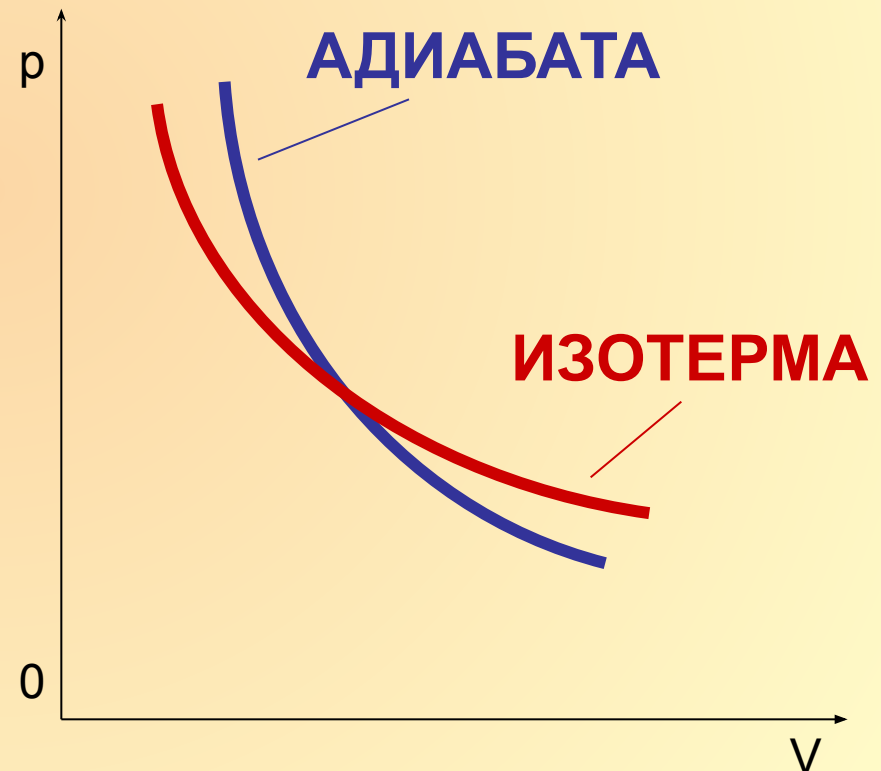
Сосуды с теплонепроницаемыми стенками называются **адиабатическими оболочками.**

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

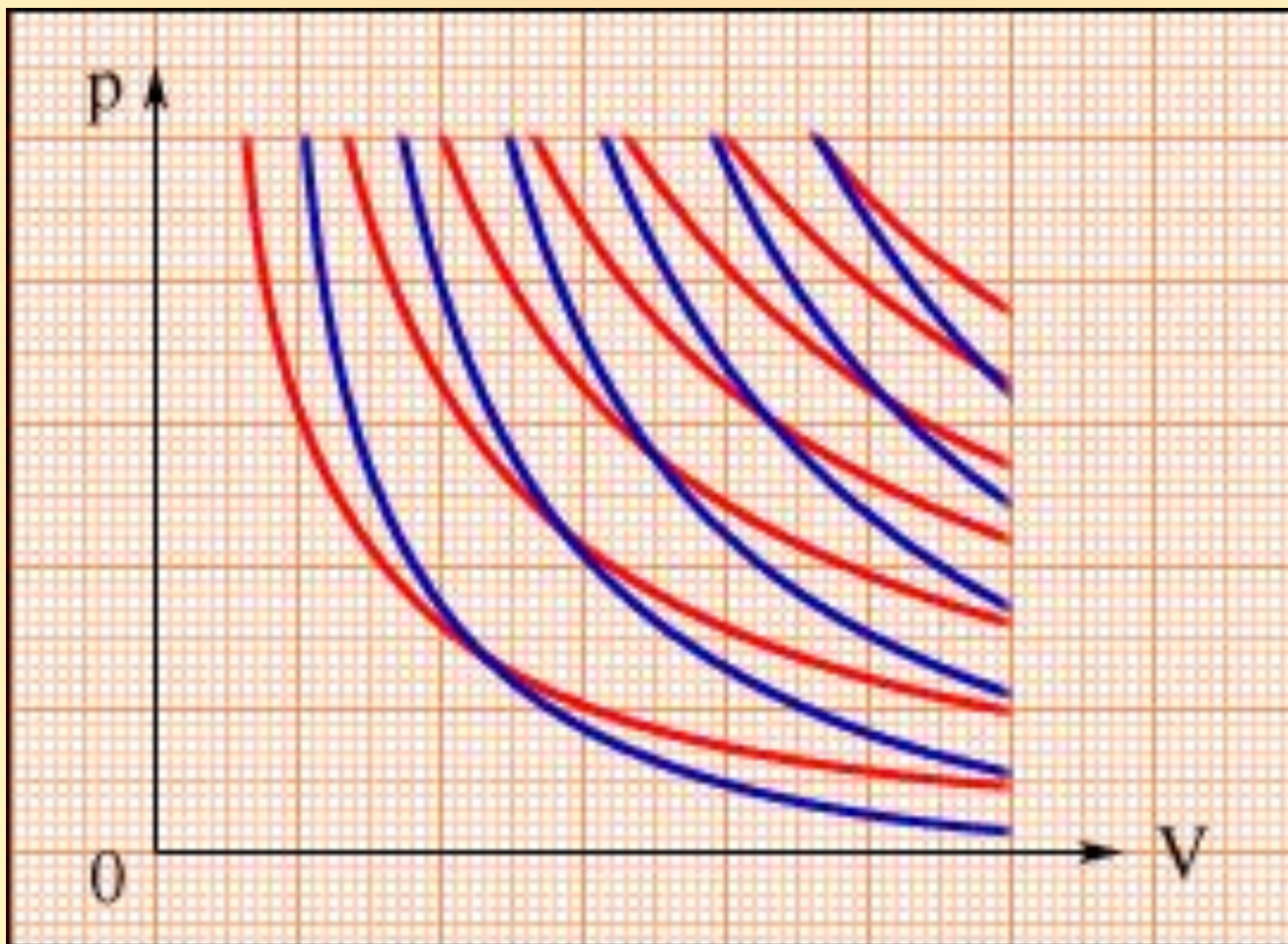


На плоскости ( $p$ ,  $V$ ) процесс адиабатического расширения (или сжатия) газа изображается кривой, которая называется **адиабатой**.

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**

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

# I закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней  
энергии

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

Изобарный процесс

$$A = p \Delta V$$

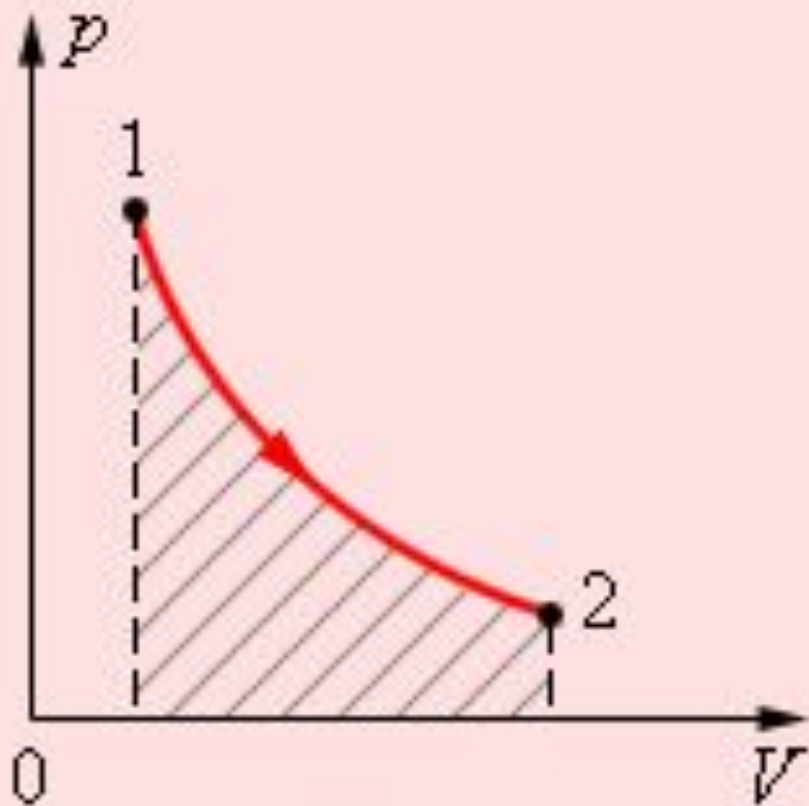
Изотермический  
процесс

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

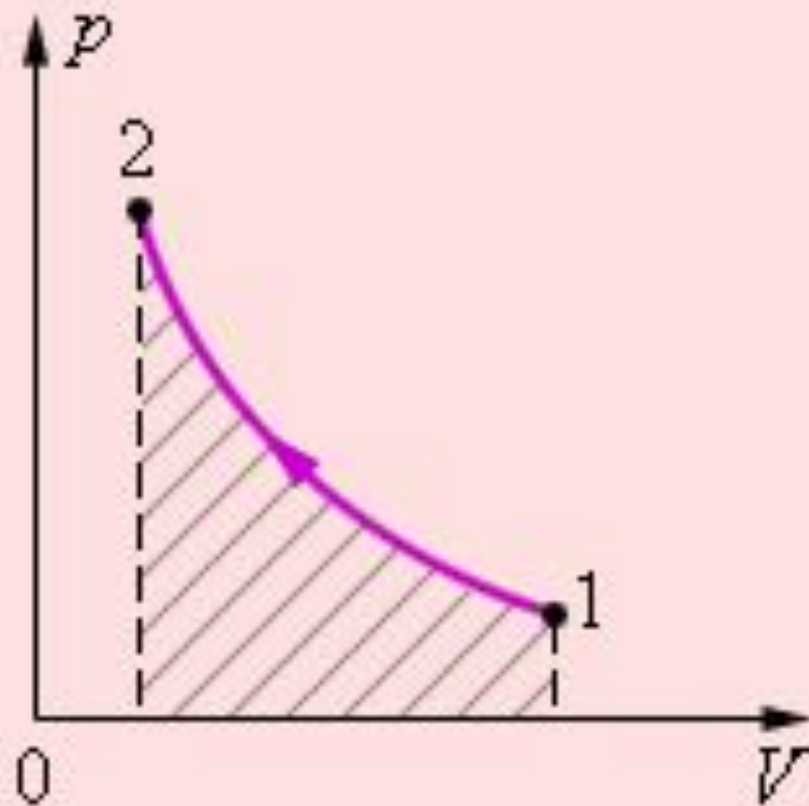


# Изотермический процесс

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



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



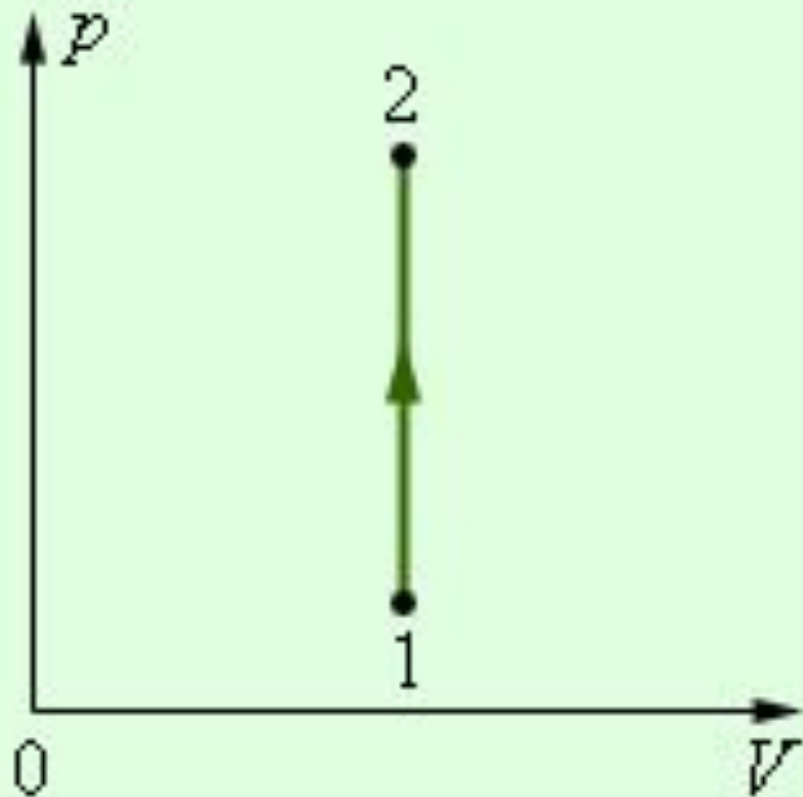
$$A < 0, \Delta U = 0, Q < 0$$

Первое начало термодинамики  
для **изотермического процесса**.

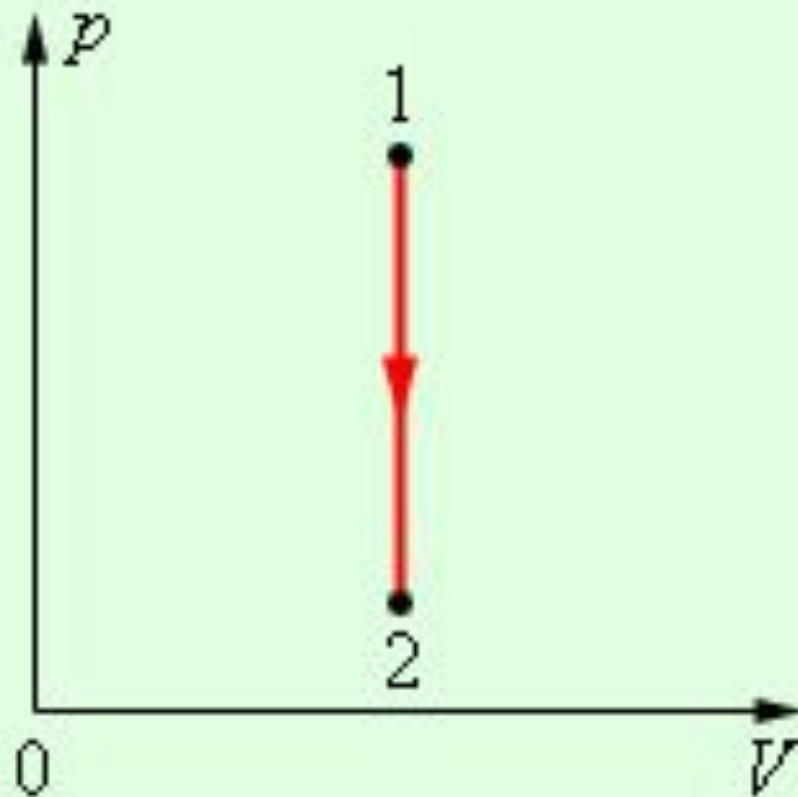
m=const  
M=const  
V=const

# Изохорный процесс

Процесс	Постоянные	Изменения внутренней энергии	Запись 1-го закона термодинамики	Физический смысл
Изохорное нагревание	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.
Изохорное охлаждение	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.



$$Q > 0, A = 0$$

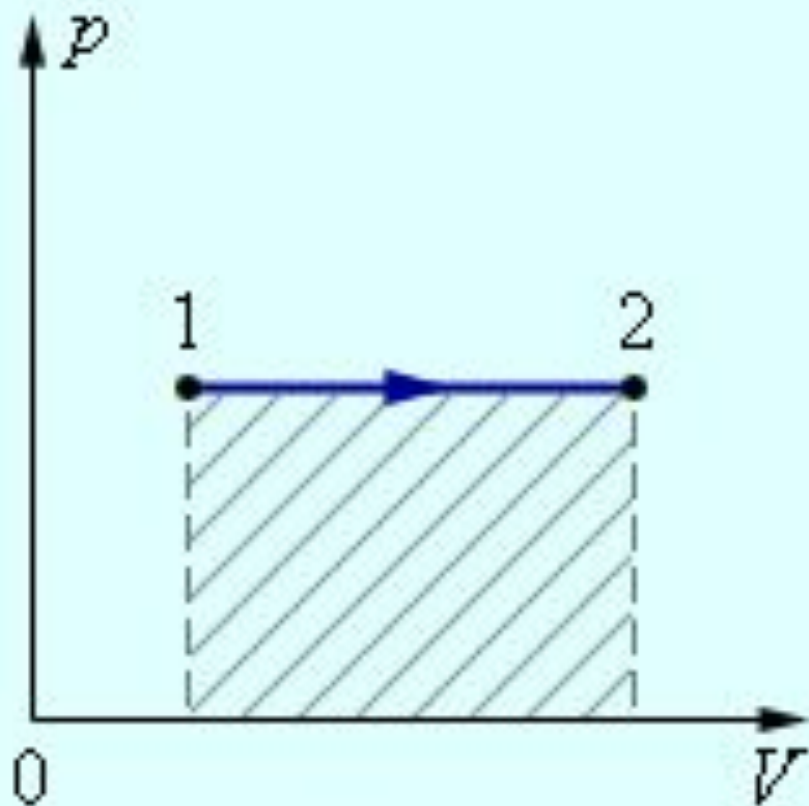


$$Q < 0, A = 0$$

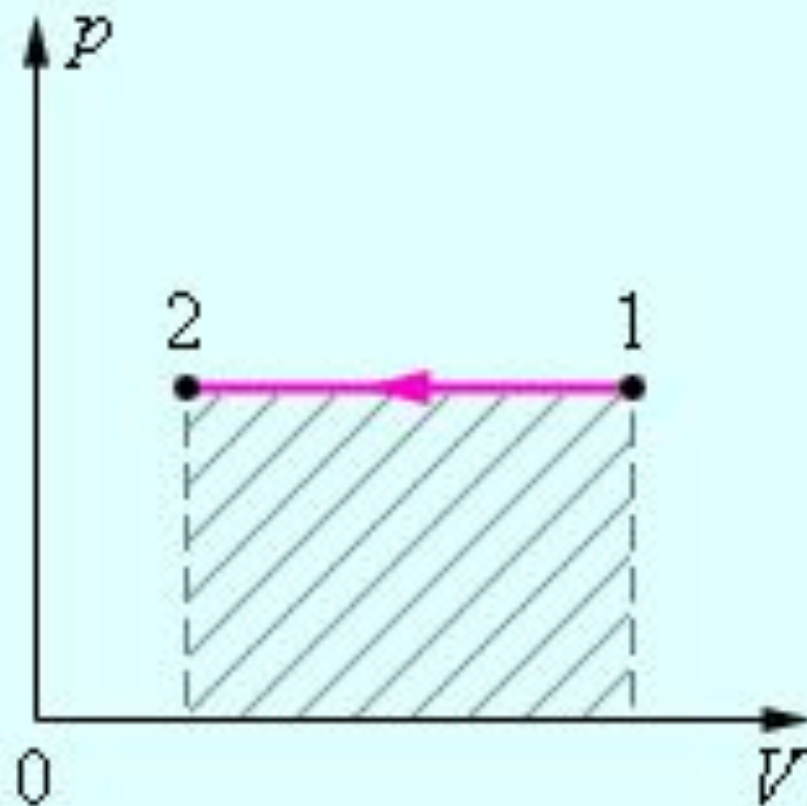
Первое начало термодинамики  
для **изохорного процесса**.

# Изобарный процесс

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



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

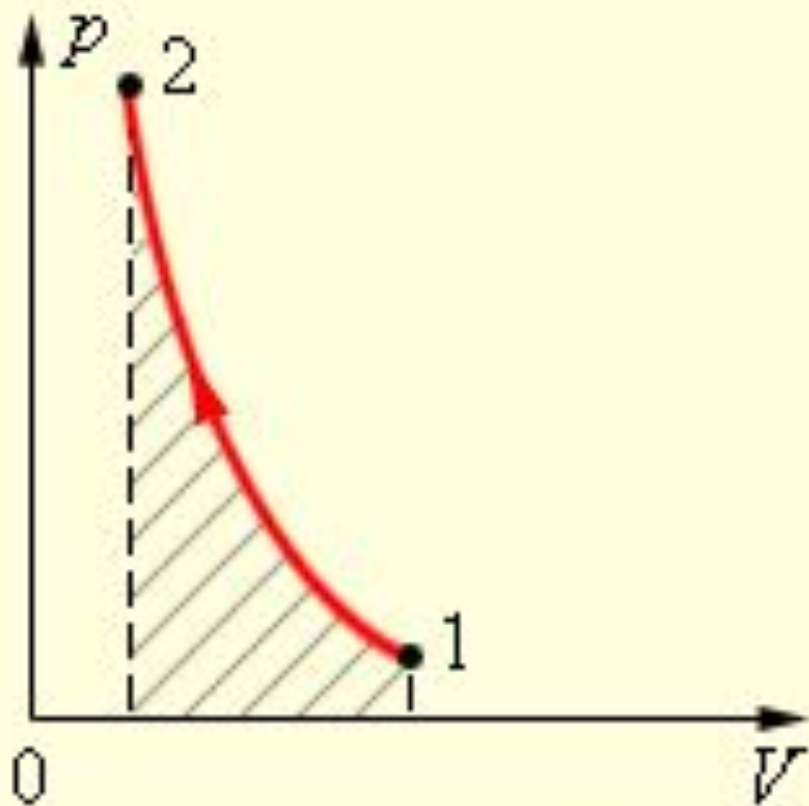


$$A < 0, \Delta U < 0, Q < 0$$

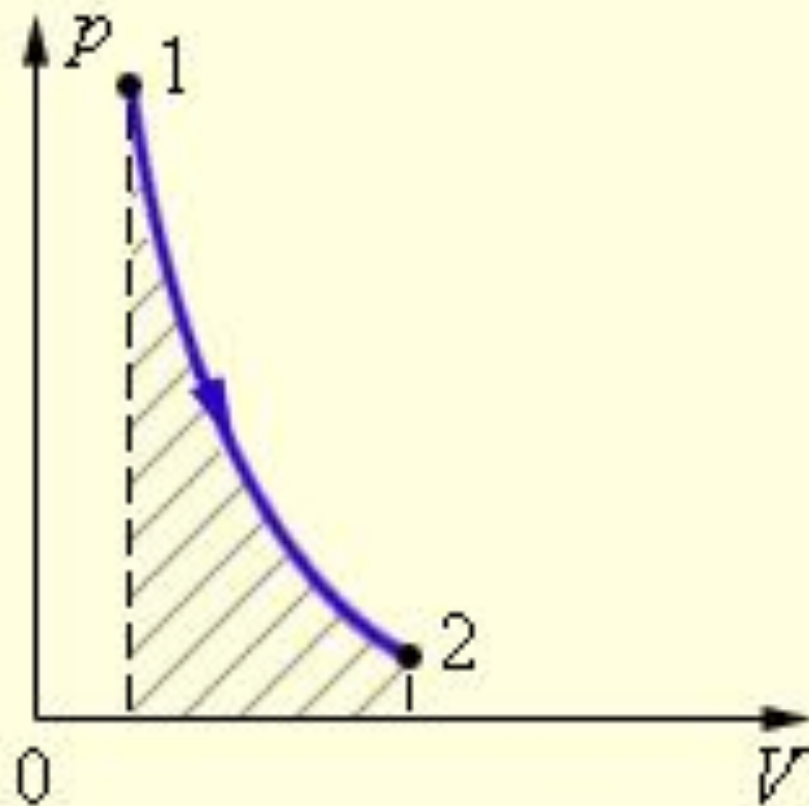
Первое начало термодинамики  
для **изобарного процесса**.

# 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	<b>Изменение внутренней энергии</b>	Запись I закона термодинамики	Следствия из I закона термодинам.
Изотермич. $T = \text{const}$			
Изохорный $V = \text{const}$			
Изобарный $P = \text{const}$			
Адиабатный			