

# 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.

Для идеального газа, состоящего из  $N$  молекул:

$$U = N \frac{i}{2} kT$$

**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

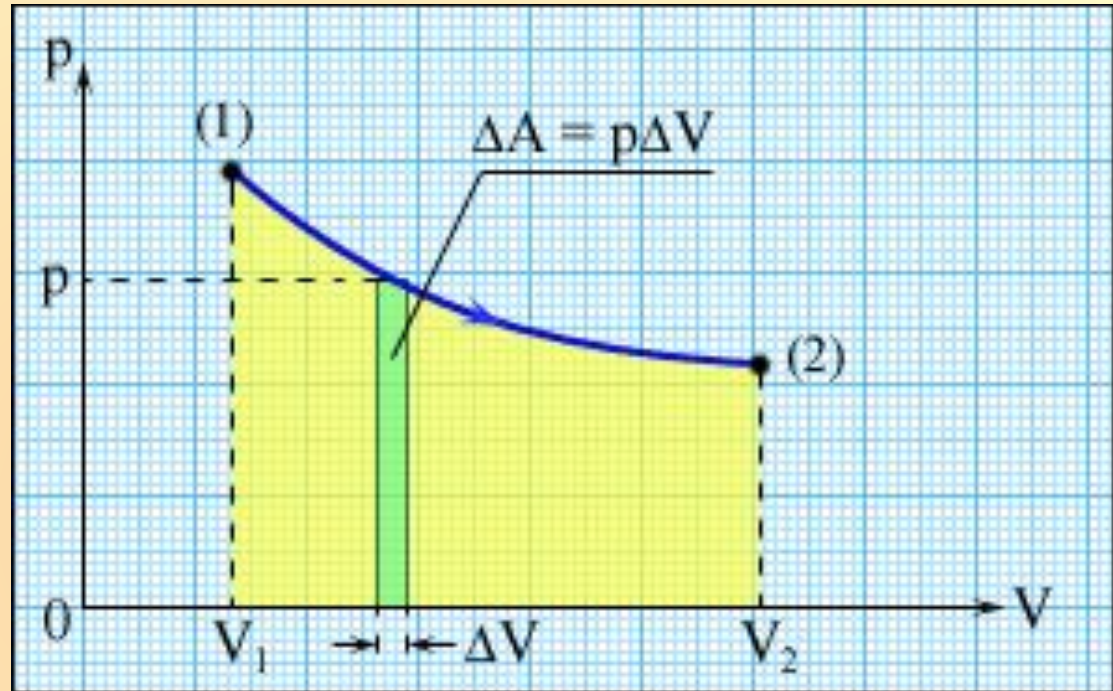
$Q < 0$  если система отдает  
теплоту

# 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



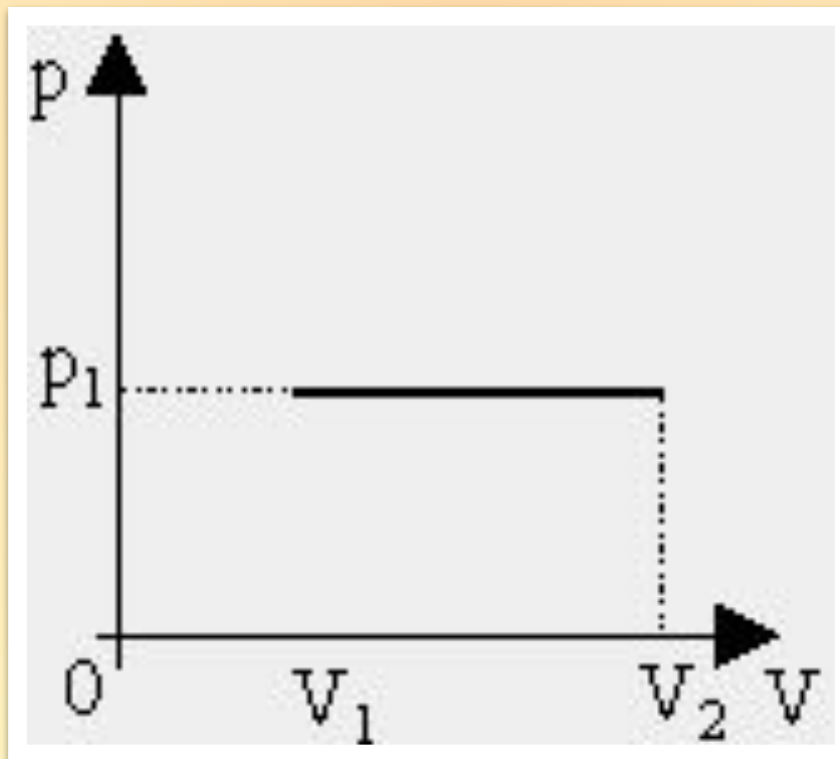
## Работа при изменении объема

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 изохорном процессе**

объем не меняется,

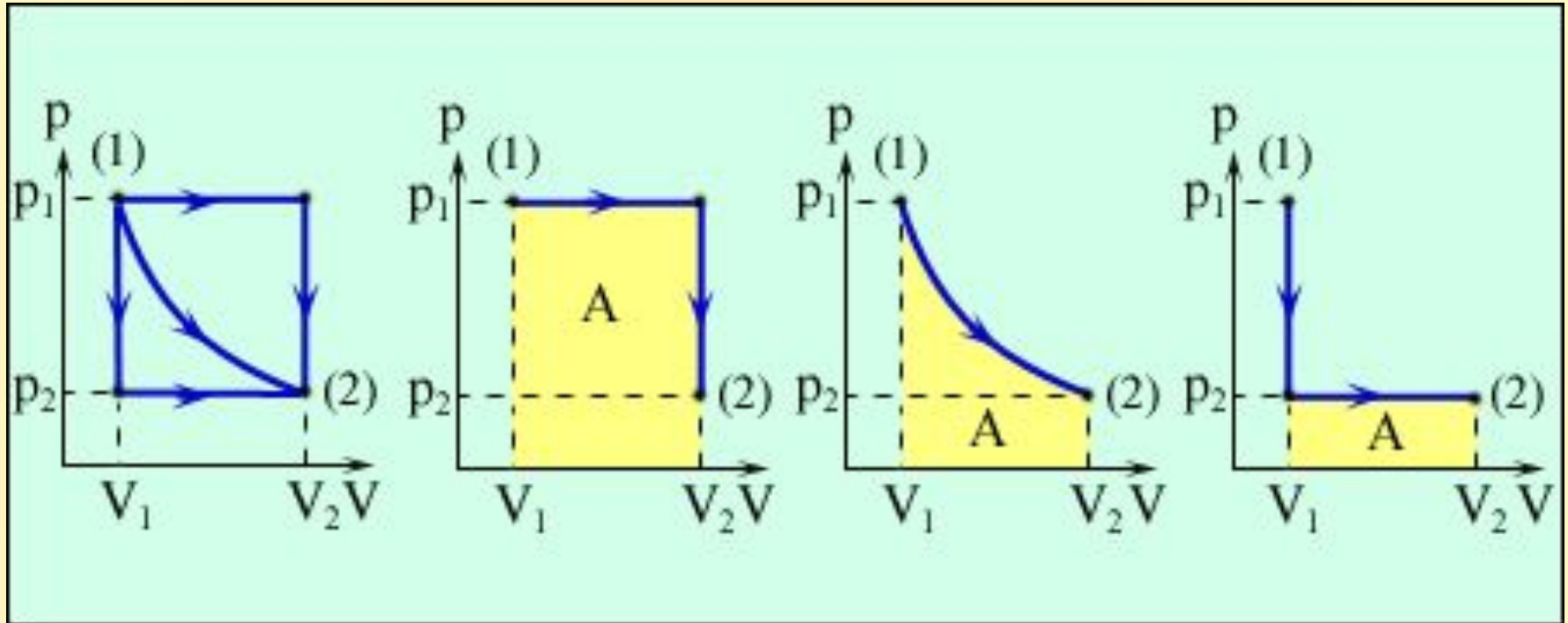
следовательно,

**в изохорном процессе**

**работа не совершается!**

# Работа газа

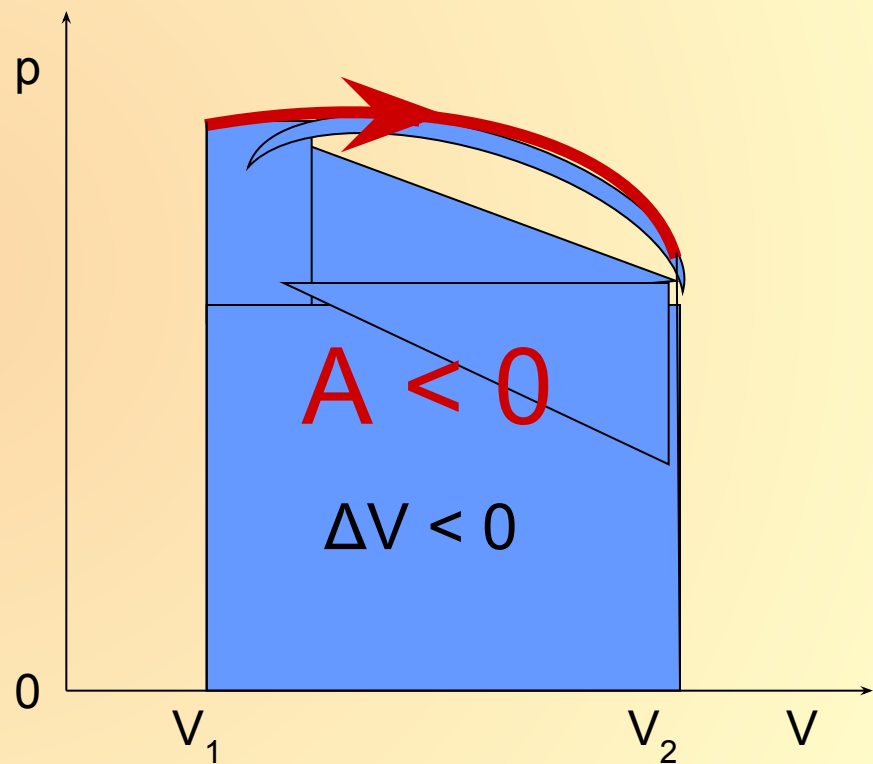
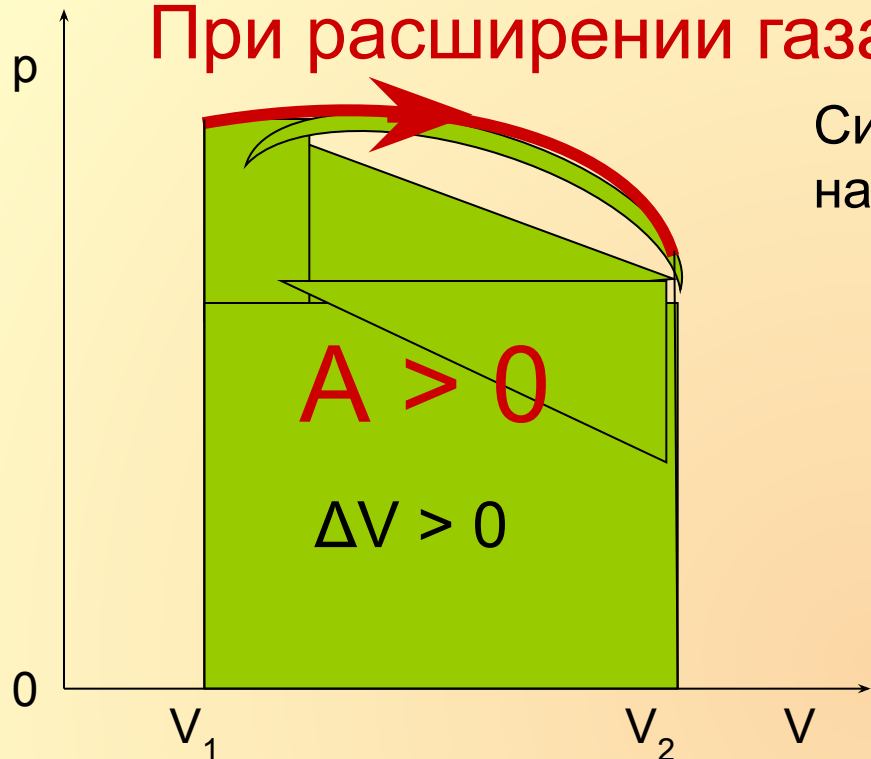
Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса.



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

# *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

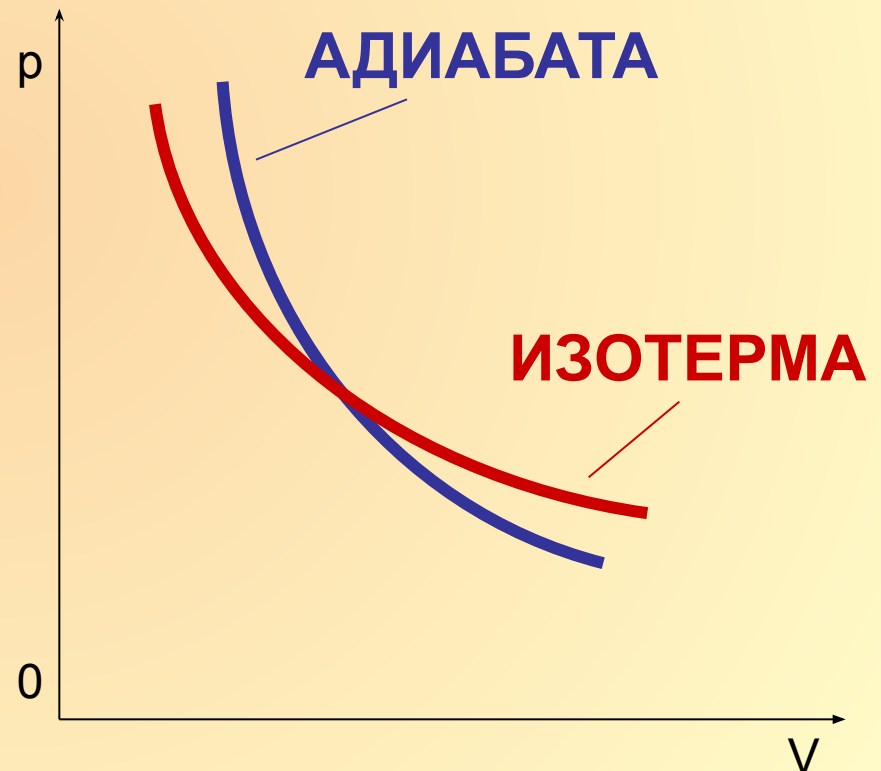
Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие в отсутствие теплообмена с окружающими телами.

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





**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!

<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>

# Применение первого закона термодинамики к изопроцессам



# I закон термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

Изменение внутренней  
энергии

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

Изобарный процесс

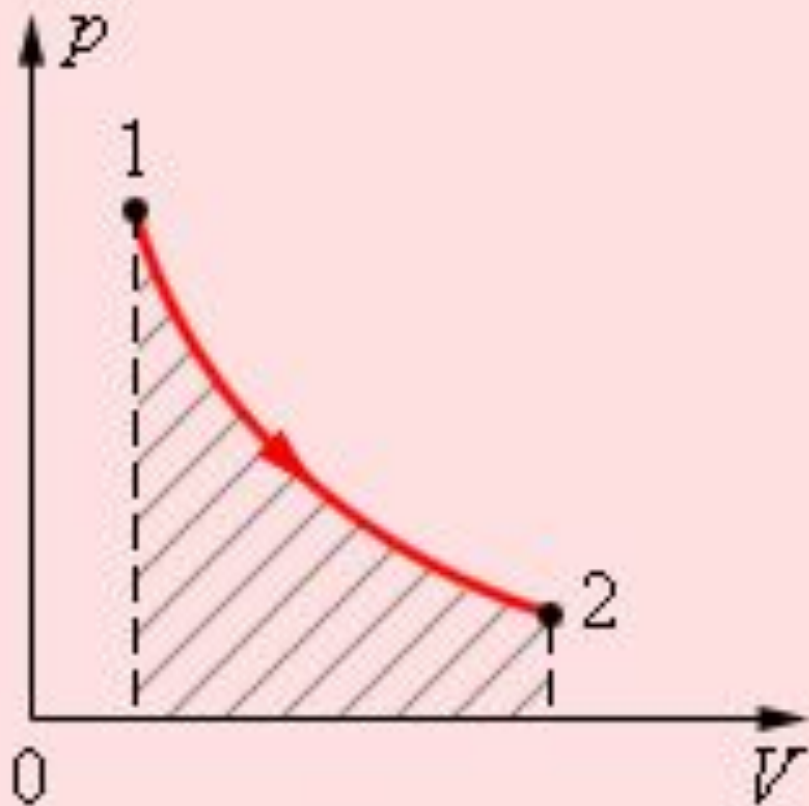
$$A = p \Delta V$$

Изотермический  
процесс

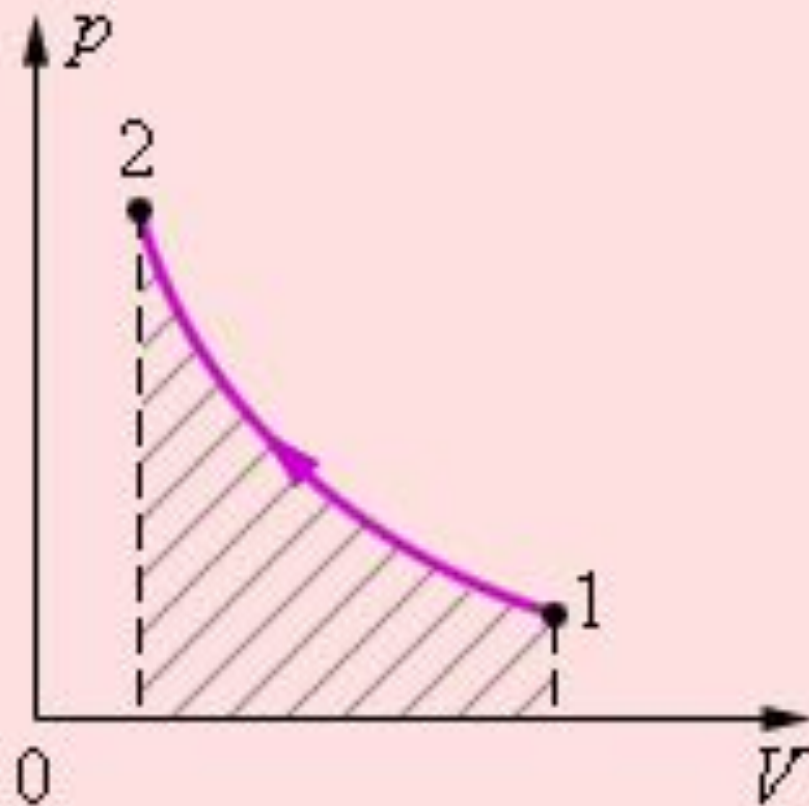
$$A = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

# Изотермический процесс

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



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



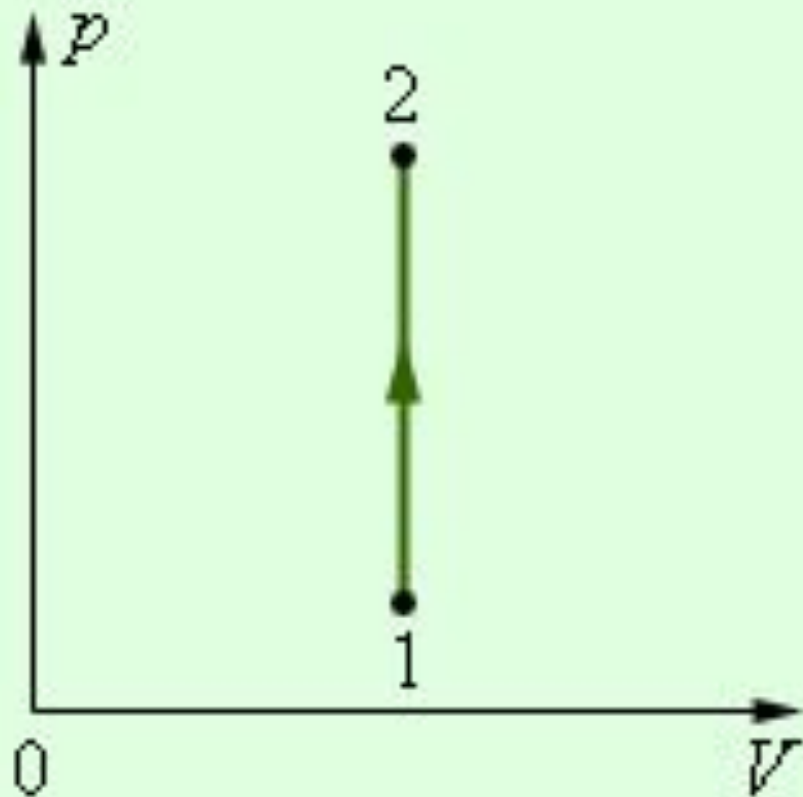
$$A < 0, \Delta U = 0, Q < 0$$

Первое начало термодинамики  
для **изотермического процесса**.

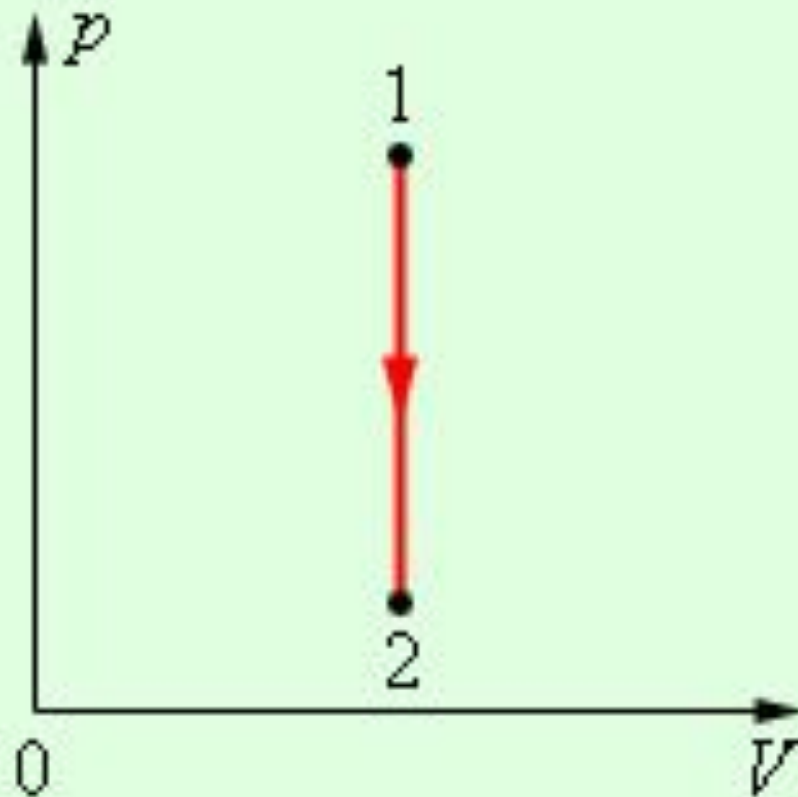
m=const  
M=const  
V=const

# Изохорный процесс

Процесс	Постоянны	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.



$$Q > 0, A = 0$$

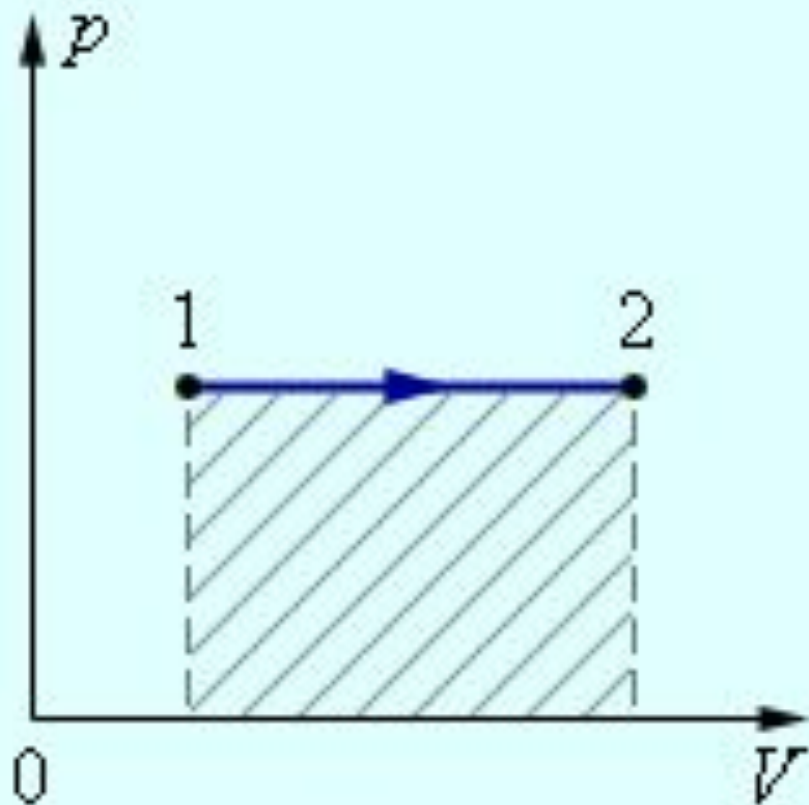


$$Q < 0, A = 0$$

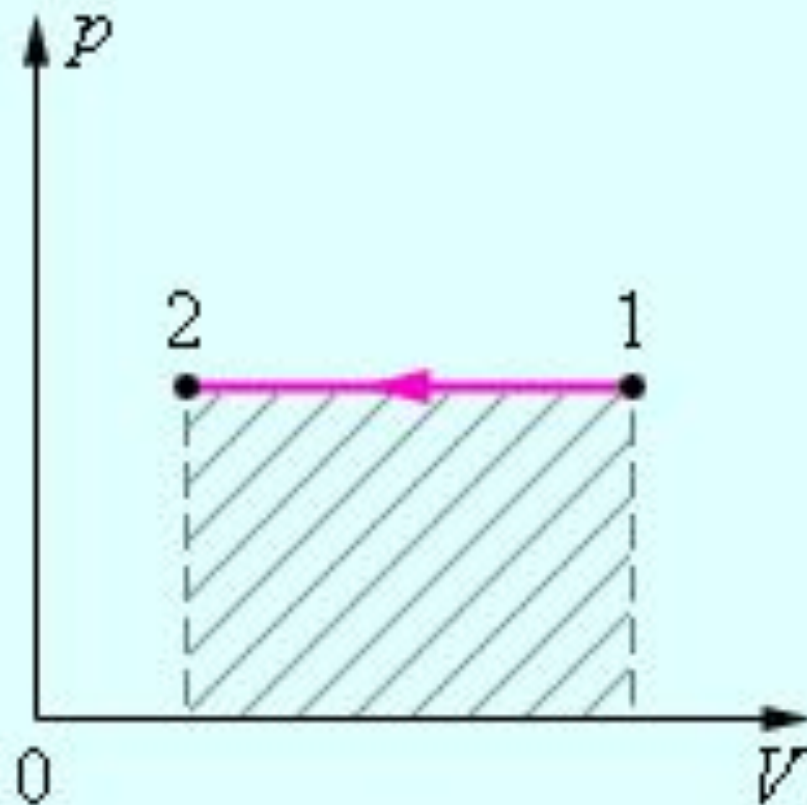
Первое начало термодинамики  
для **изохорного процесса**.

# 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.



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



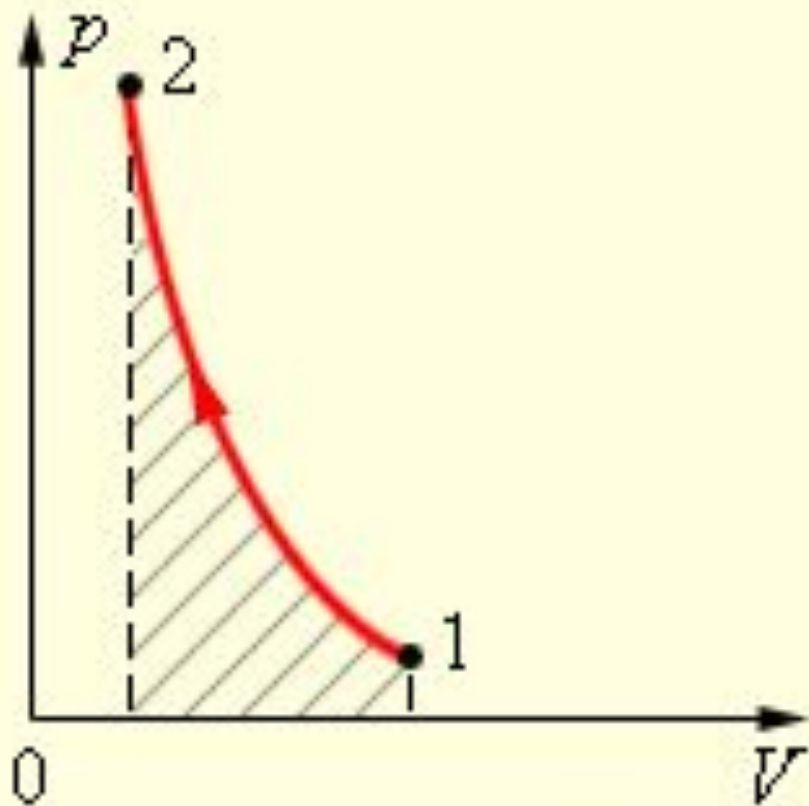
$$A < 0, \Delta U < 0, Q < 0$$

Первое начало термодинамики  
для **изобарного процесса**.

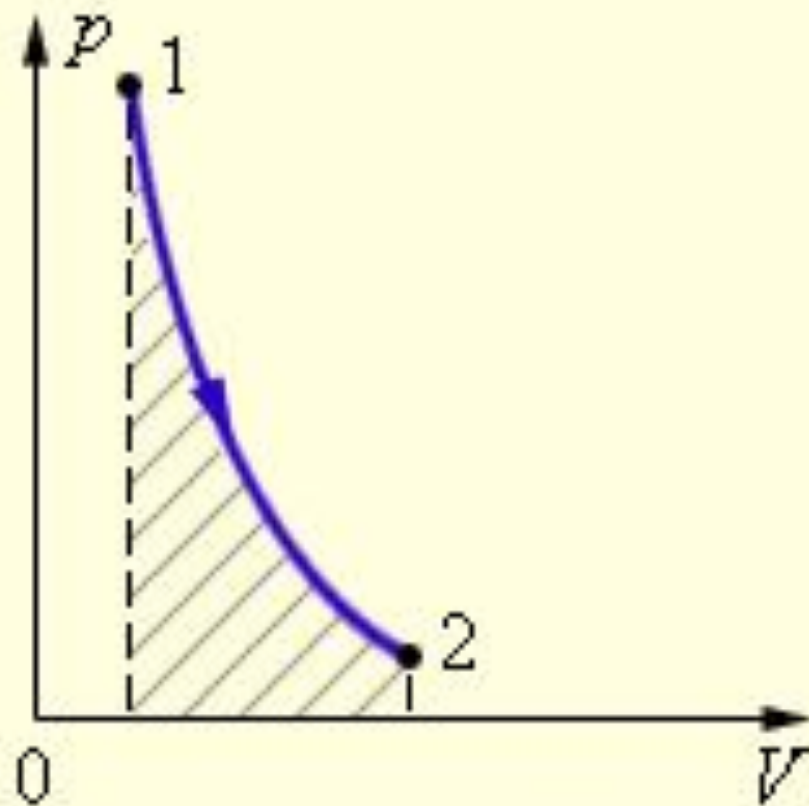
# Адиабатный процесс

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.





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

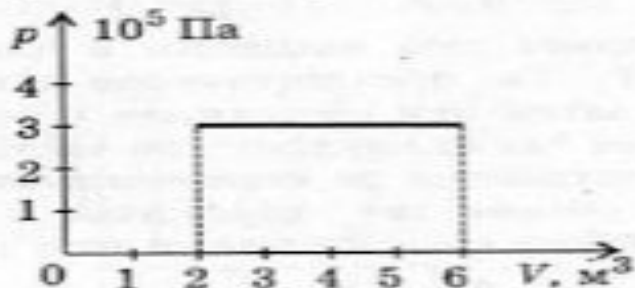


$$A > 0, Q = 0, \Delta U < 0$$

Первое начало термодинамики  
для **адиабатного процесса**.

# Практическая работа на тему «Работа газа»

1. При изобарном расширении газа была совершена работа 600 Дж. На сколько изменился объем газа, если давление газа было  $4 \cdot 10^5$  Па?
2. В процессе изобарного расширения газа была совершена работа, равная 400 Дж. При каком давлении совершался процесс, если объем газа изменился с 0,3 м<sup>3</sup> до 600 л?
3. Некоторый газ занимал объем 20 л. Каким стал объем газа, если при изобарном расширении была совершена работа 496 Дж. Давление газа 80 кПа.
4. Газ, занимающий некоторый объем под давлением  $1,2 \cdot 10^5$  Па, изобарно расширяясь, совершил работу 1,8 кДж. Определить начальный объем газа, если после расширения его объем стал 45 л.
5. На рисунке показана изобара газа в координатах  $p, V$ . Определите работу, совершенную газом в процессе расширения.



6. Воздух находился под давлением  $10^5$  Па и занимал объем 0,6 м<sup>3</sup>. Какая работа будет совершена при уменьшении его объема до 0,2 м<sup>3</sup>?

# Практическая работа на тему «Первый закон термодинамики»

1. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если ему сообщили количество теплоты 20 кДж и совершили над ним работу 30 кДж?

42

2. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, который совершил работу 100 кДж, получив количество теплоты 135 кДж?
3. Над газом была совершена работа 75 кДж, при этом его внутренняя энергия увеличилась на 25 кДж. Получил или отдал тепло газ в этом процессе? Какое именно количество теплоты?
4. Какое количество теплоты нужно передать газу, чтобы его внутренняя энергия увеличилась на 45 кДж и при этом газ совершил работу 65 кДж?
5. Во время расширения газа, вызванного его нагреванием, в цилиндре с поперечным сечением  $100 \text{ см}^2$  газу было передано количество теплоты  $0,75 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ , причем давление газа оставалось постоянным и равным  $1,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$ . На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние 40 см?
6. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого 800 моль, на 500 К ему сообщили количество теплоты 9,4 МДж. Определить работу газа и приращение его внутренней энергии.