



## **ЛЕКЦИЯ 2**

# **Основы термодинамики**

- Термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии
- ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ – энергия физической системы, зависящая от ее внутреннего состояния. Внутренняя энергия включает кинетическую энергию хаотического (теплого) движения микрочастиц системы (молекул, атомов и т. д.) и потенциальную энергию взаимодействия этих частиц друг с другом. Внутренняя энергия однородных газов и жидкостей зависит от их температуры и объема.

# Основные законы термодинамики

- ПЕРВЫЙ ЗАКОН (первое начало) ТЕРМОДИНАМИКИ - изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе.
- ВТОРОЙ ЗАКОН (второе начало) ТЕРМОДИНАМИКИ - невозможен процесс, при котором тепло самопроизвольно переходит от тел менее нагретых к телам более нагретым.
- ТРЕТИЙ ЗАКОН (третье начало) ТЕРМОДИНАМИКИ - абсолютный нуль температуры недостижим. К абсолютному нулю можно лишь асимптотически приближаться, никогда не достигая его.

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО–КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

- Все тела состоят из огромного числа частиц (молекул, атомов или ионов), между которыми есть промежутки.
- Частицы вещества непрерывно и хаотически движутся.
- Частицы вещества взаимодействуют друг с другом: притягиваются на небольших расстояниях (сравнимых с размером частиц) и отталкиваются, когда эти расстояния уменьшаются.

## РАБОТА (в термодинамике)

- – это изменение внутренней энергии системы, связанное с изменением ее объема и расположения ее частей относительно друг друга. Например, ударяя по куску свинца молотком, сгибая и разгибая проволоку или сжимая находящийся под поршнем в цилиндре газ, мы каждый раз совершаем над системой работу и тем самым изменяем ее внутреннюю энергию. Мерой изменения внутренней энергии при этом является величина совершенной работы. Работа газа положительна при расширении газа и отрицательна при его сжатии.

# ТЕПЛОВОЕ РАВНОВЕСИЕ

- это состояние системы, при котором ее макроскопические параметры с течением времени не меняются. При тепловом равновесии прекращаются все процессы, связанные с изменением этих параметров: не меняются объем и давление, не происходит теплообмен, отсутствуют взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел, прекращаются химические реакции, диффузия и т. д. Состояние теплового равновесия системы характеризуется одинаковой для всех частей этой системы температурой. Согласно нулевому началу термодинамики любая изолированная макроскопическая система рано или поздно приходит в состояние теплового равновесия и самопроизвольно выйти из него уже не может.



## ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ

- это изменение размеров тела в процессе его нагревания. Большинство тел в процессе нагревания расширяется, но существуют и исключения. Например, вода при изменении температуры от 0 до 4 °С при атмосферном давлении сжимается. В процессе увеличения линейных размеров тела меняется и его объем (объемное расширение). В пределах небольшого интервала температур можно говорить об изменении длины и объема тел пропорционально температуре и ввести линейный коэффициент расширения.

## ТРОЙНАЯ ТОЧКА

- это состояние теплового равновесия вещества, в котором оно одновременно может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях. Тройной точке воды соответствует давление 611 Па и температура 0,01 °С (или 273,16 К).

## УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

- это скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре. Единицей удельной теплоты парообразования в СИ является Дж/кг.

## УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

- это скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг кристаллического вещества, взятого при температуре плавления, в жидкость той же температуры. Единицей удельной теплоты плавления в СИ является Дж/кг.

## УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

- это физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг. Единицей удельной теплоты сгорания топлива в СИ является Дж/кг.



# УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ (в термодинамике)

- это уравнение, выражающее связь между макроскопическими параметрами состояния вещества.

Основные термодинамические параметры состояния  $P$ ,  $V$ ,  $T$  однородного тела зависят один от другого и взаимно связаны уравнением состояния:

$$F(P, V, T)$$

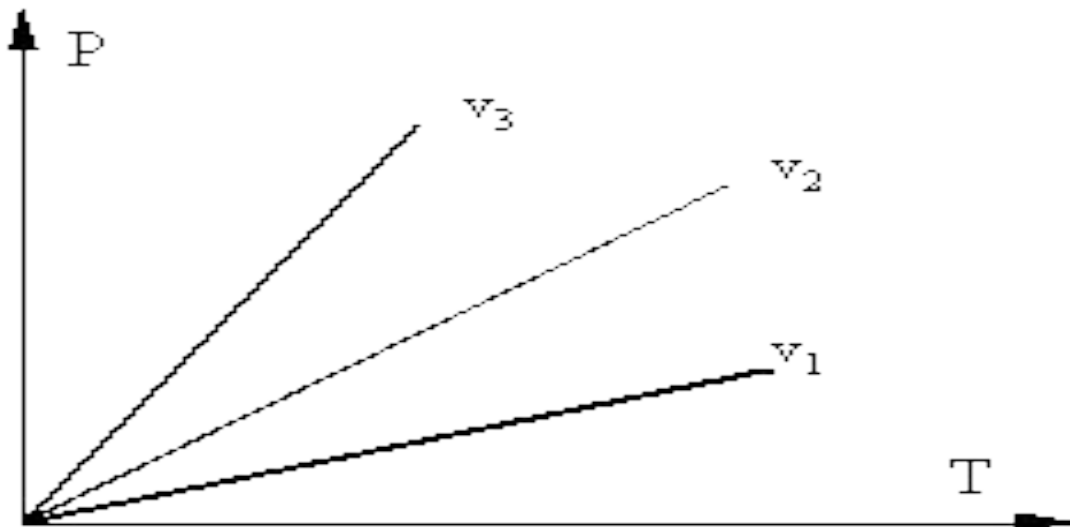
Если известно уравнение состояния, то для определения состояния простейших систем достаточно знать две независимые переменные из 3-х:

$$P = f_1(v, T); v = f_2(P, T); T = f_3(v, P)$$

где:  $P$  – давление;  $v$  – удельный объем;  $T$  – температура.

Если поршень зафиксирован и объем не меняется, то произойдет повышение давления в сосуде. Такой процесс называется *изохорным* ( $v = \text{const}$ ), идущим при постоянном объеме;

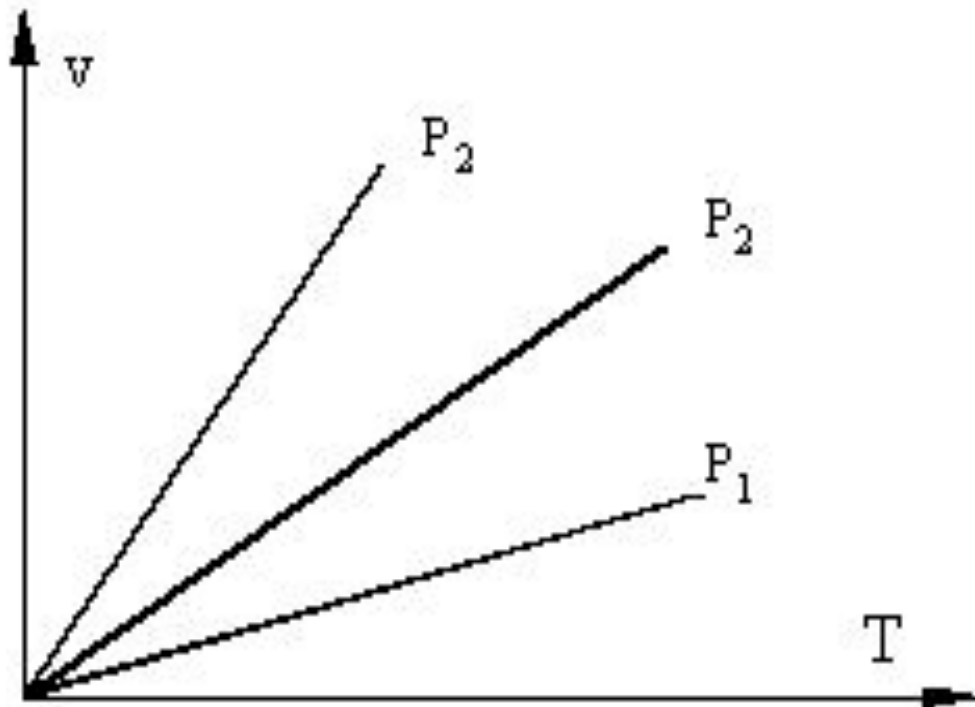
Изохорные процессы в  $P - T$  координатах:



●  $v_1 > v_2 > v_3$

Если поршень свободен, то нагреваемый газ будет расширяться, при постоянном давлении такой процесс называется *изобарическим* ( $P = \text{const}$ ), идущим при постоянном давлении.

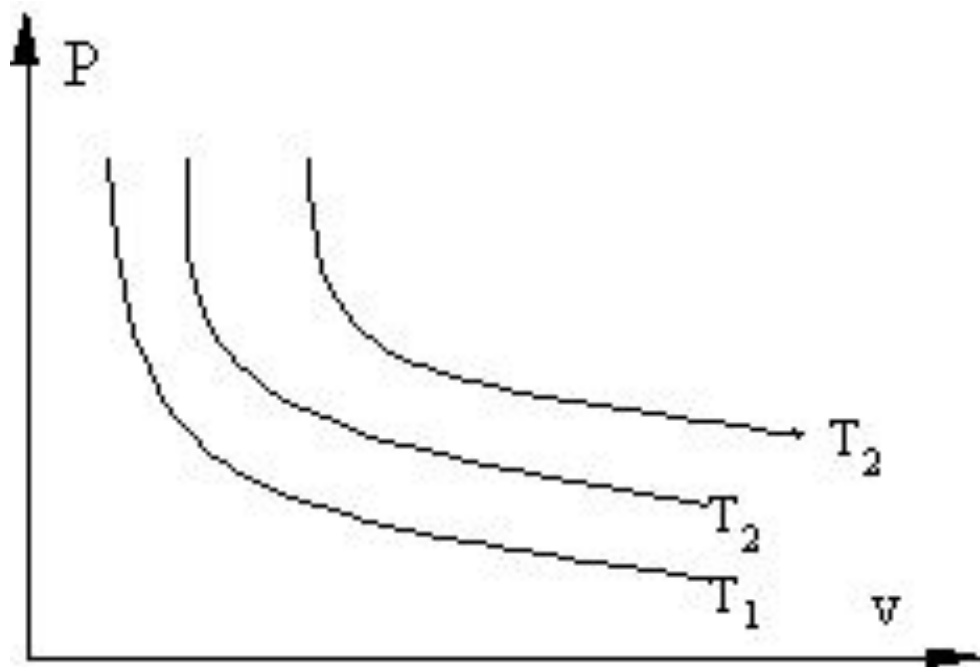
Изобарные процессы в  $v - T$  координатах



$$P_1 > P_2 > P_3$$

Если, перемещая поршень, изменять объем газа в сосуде то, температура газа тоже будет изменяться, однако можно охлаждая сосуд при сжатии газа и нагревая при расширении можно достичь того, что температура будет постоянной при изменениях объема и давления, такой процесс называется *изотермическим* ( $T = \text{const}$ ).

## ● Изотермические процессы в P-v координатах

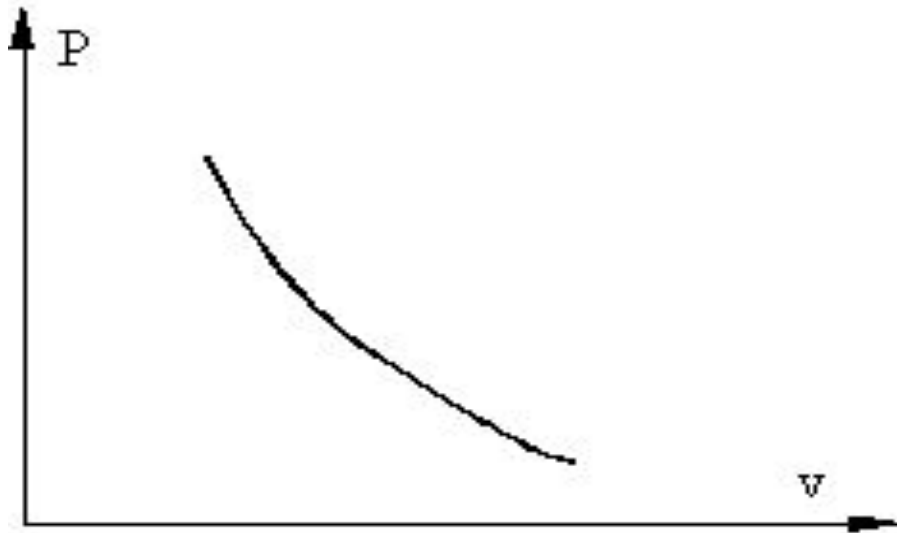


$$T_1 > T_2 > T_3$$

Процесс, при котором отсутствует теплообмен между системой и окружающей средой, называется *адиабатным*, при этом количество теплоты в системе остается постоянными ( $Q = \text{const}$ ). В реальной жизни адиабатных процессов не существует поскольку полностью изолировать систему от окружающей среды не возможно. Однако часто происходят процессы, при которых теплообменном с окружающей средой очень мал, например, быстрое сжатие газа в сосуде поршнем, когда тепло не успевает отводиться за счет нагрева поршня и сосуда.



- Примерный график адиабатного процесса в  $P - v$  координатах.



Круговой процесс (Цикл) - это совокупность процессов, возвращающих систему в первоначальное состояние. Число отдельных процессов может быть любым в цикле.

# Теплота и работа

Тела, участвующие в процессе, обмениваются между собой энергией. Энергия одних тел увеличивается, других - уменьшается. Передача энергии от одного тела к другому происходит 2-мя способами:

- Первый способ передачи энергии при непосредственном контакте тел, имеющих различную температуру, путем обмена кинетической энергии между молекулами соприкасающихся тел (или лучистым переносом при помощи электромагнитных волн). Энергия передается от более нагретого тела к менее нагретому. Энергия кинетического движения молекул называется тепловой, поэтому такой способ передачи энергии называется передача энергии в форме теплоты. Количество энергии, полученной телом в форме теплоты, называется *подведенной теплотой* (сообщенной), а количество энергии, отданное телом в форме теплоты - *отведенной теплотой* (отнятой). Обычное обозначение теплоты  $Q$ , размерность Дж. В практических расчетах важное значение приобретает отношение теплоты к массе - удельная теплота обозначается  $q$  размерность Дж/кг. Подведенная теплота - положительна, отведенная - отрицательна.
- Второй способ передачи энергии связан с наличием силовых полей или внешнего давления. Для передачи энергии этим способом тело должно либо передвигаться в силовом поле, либо изменять свой объем под действием внешнего давления. Этот способ называется *передачей энергии в форме работы*.

# Первый закон термодинамики.

**Формулировка:** *В изолированной термодинамической системе сумма всех видов энергии является величиной постоянной.*

Этот закон является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии, который гласит, что энергия не появляется и не исчезает, а только переходит из одного вида в другой.

- Из этого закона следует, что уменьшение общей энергии в одной системе, состоящей из одного или множества тел, должно сопровождаться увеличением энергии в другой системе тел.

Существуют другие формулировки этого закона:

1. Не возможно возникновение или уничтожение энергии (эта формулировка говорит о невозможности возникновения энергии ни из чего и уничтожения ее в ничто);
2. Любая форма движения способна и должна превращаться в любую другую форму движения (эта философская формулировка подчеркивает неуничтожимость энергии и ее способность взаимопревращаться в любые другие виды энергии);
3. Вечный двигатель первого рода невозможен. (Под вечным двигателем первого рода понимают машину, которая была бы способна производить работу не используя никакого источника энергии);
4. Теплота и работа являются двумя единственно возможными формами передачи энергии от одних тел к другим.

# Энтальпия

*это сумма внутренней энергии тела и произведения давления на объем:*

$$I = U + PV$$

где:  $I$  - энтальпия;  $U$  - внутренней энергия;  $P$  - давление;  $V$  - объем.

Удельная энтальпия  $i$  это отношение энтальпии тела к его массе.

Удельная энтальпия это параметр состояния.

# Энтропия

Теплота  $q$  не является функцией состояния, количество теплоты выделившейся или поглотившейся в процессе зависит от самого процесса. Функцией состояния является энтропия обозначается  $S$  размерность Дж/К

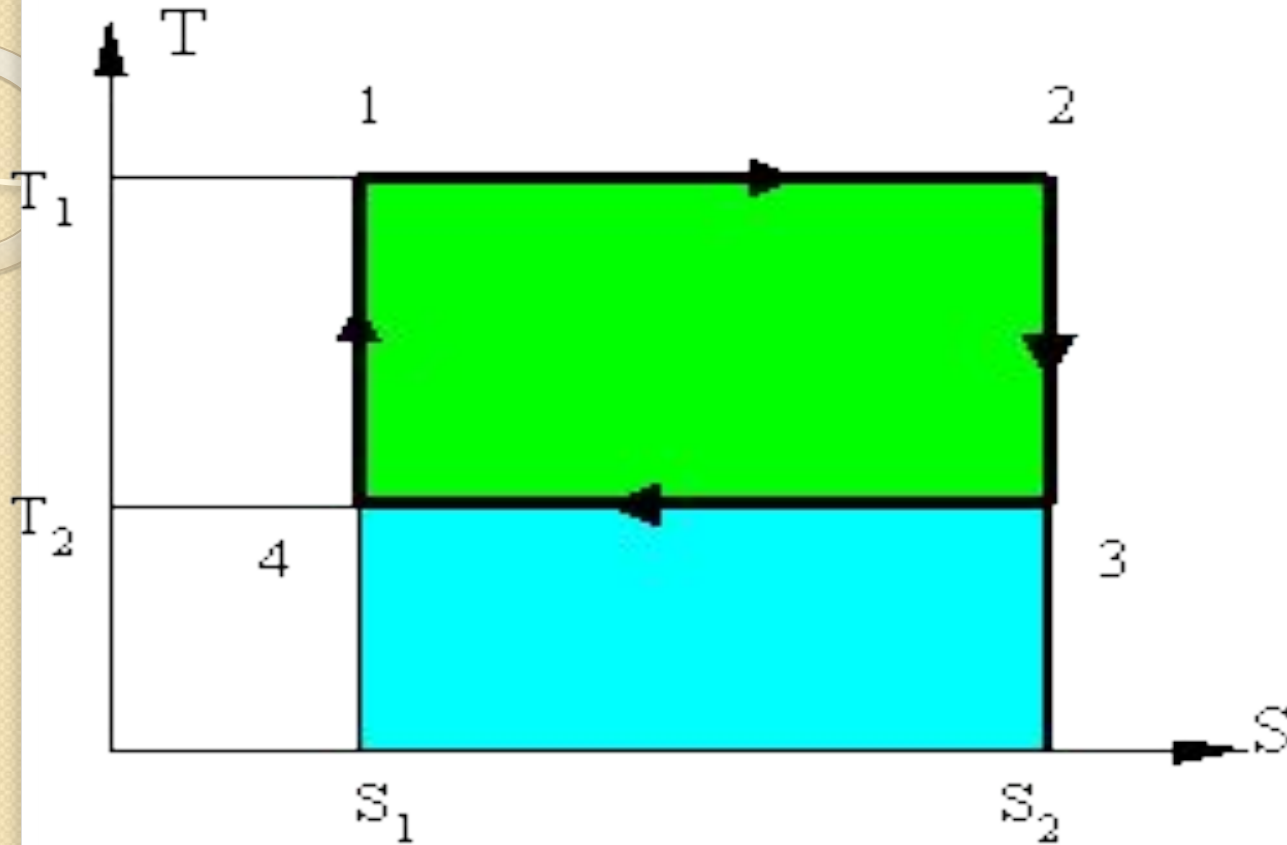
$$dS = dQ/T$$

Где:  $dS$  - дифференциал энтропии;  $dQ$  - дифференциал теплоты;  $T$  - абсолютная температура.

- Удельная энтропия отношение энтропии тела к его массе.
- Удельная энтропия - функция состояния вещества, принимающая для каждого его состояния определенное значение:

$$s = f(P, v, T) \text{ [Дж/кгЧ к]}$$

# Тепловая T- S диаграмма цикла Карно.



- для увеличения КПД необходимо увеличивать температуру подвода тепла  $T_1$ , и снижать температуру отвода тепла  $T_2$ .



- Количество тепла подводимое к системе:

$$Q_1 = T_{1\Gamma} (S_2 - S_1) \text{ площадь прямоугольника } 1-2-S_2-S_1-1$$

- Количество тепла отдаваемое системой:

$$Q_2 = T_{2\Gamma} (S_2 - S_1) \text{ площадь прямоугольника } 3-S_2-S_1-4-3$$

- Работа цикла  $L = Q_1 - Q_2$

- К.П.Д цикла  $h = (Q_1 - Q_2) / Q_1$



**Спасибо за внимание!**