

10 класс

Зачёт 3: Термодинамика

# 1. Взаимные превращения жидкостей и газов

- Парообразование
- Влажность воздуха

## 2. Твёрдые тела

- Кристаллические тела
- Аморфные тела

# 3. Основы термодинамики

- Внутренняя энергия
- Работа в термодинамике
- Количество теплоты
- Первый закон термодинамики
- Применение первого закона термодинамики к изопроцессам
- Второй закон термодинамики
- Принцип действия тепловых двигателей

# ПАРООБРАЗОВАНИЕ

Существует два вида парообразования: **испарение** и **кипение**

- **ИСПАРЕНИЕ** – это процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное (пар). Испарение происходит только со свободной поверхности жидкости. Конденсация – это обратный процесс (сформулируйте определение самостоятельно).

При испарении из жидкости вылетают **ТЕ** молекулы, у которых кинетическая энергия движения больше энергии взаимодействия между молекулами. Поэтому энергия жидкости уменьшается и происходит понижение температуры жидкости.

Если сосуд с жидкостью плотно закрыть, то со временем между жидкостью и её паром наступит тепловое равновесие (**динамическое т.е. подвижное равновесие**) – одновременно будут происходить и испарение и конденсация.

**Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным паром.**

Давление насыщенного пара будем обозначать  $p_0$ .

$p_0 = nkT$ , где  $n$  – концентрация молекул пара;  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура по абсолютной шкале Кельвина.

Давление насыщенного пара зависит от температуры и от концентрации молекул (плотности пара) и **НЕ** зависит от объёма сосуда.

- **КИПЕНИЕ** – это парообразование по всему объёму жидкости. Визуально это всплывающие и лопающиеся на поверхности пузырьки воздуха. Имеются в виду пузырьки воздуха в жидкости, которые являются «закрытыми сосудами» плавающими в жидкости и внутри которых образуется насыщенный пар.

**Кипение начинается при температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках сравнивается с давлением в жидкости.**

**Чем больше внешнее давление тем, выше температура кипения.**

При этом, чем выше давление насыщенного пара внутри пузырька, тем ниже температура кипение соответствующей жидкости (т.е. пузырёк лопается раньше, его распирает изнутри).

# ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

- Влажность воздуха – это содержание водяного пара в воздухе.

**Относительную влажность** воздуха можно определить в процентах по формуле

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%$$

где  $p$  – парциальное давление (давление той порции водяного пара, который находится в воздухе при данной температуре),  $p_0$  – давление насыщенного пара при той же температуре (смотри таблицу)

Зависимость давления  $p_0$  насыщенного пара от температуры  
(для задач)

| t, оС | p <sub>0</sub> , кПа | t, оС | p <sub>0</sub> , кПа | t, оС | p <sub>0</sub> , кПа | t, оС | p <sub>0</sub> , кПа | t, оС | p <sub>0</sub> , кПа | t, оС | p <sub>0</sub> , кПа |
|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|
| -5    | 0,40                 | 3     | 0,76                 | 7     | 1,0                  | 11    | 1,33                 | 15    | 1,71                 | 19    | 2,20                 |
| 0     | 0,61                 | 4     | 0,81                 | 8     | 1,06                 | 12    | 1,40                 | 16    | 1,81                 | 20    | 2,33                 |
| 1     | 0,65                 | 5     | 0,88                 | 9     | 1,14                 | 13    | 1,49                 | 17    | 1,93                 | 25    | 3,17                 |
| 2     | 0,71                 | 6     | 0,93                 | 10    | 1,23                 | 14    | 1,60                 | 18    | 2,07                 | 50    | 12,3                 |

- **Психрометр** – прибор для измерения влажности. Он состоит из двух термометров. Один термометр (назовём его «сухой») – непосредственно измеряет температуру воздуха; другой термометр (назовём его «мокрый», т.к. он обернут мокрой тканью) - показывает пониженную температуру из-за испарения влаги с ткани.

Чем больше относительная влажность воздуха, тем менее интенсивно идёт испарение и тем большую температуру показывает «мокрый» термометр. При влажности 100% вода с мокрого термометра вообще не будет испаряться и показания термометра будут одинаковы. Влажность определяют по разности температур «сухого» и «мокрого» термометров.

# КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ и АМОРФНЫЕ ТЕЛА

- **КРИСТАЛЛЫ** – это твёрдые тела, атомы или молекулы которых занимают определённые, упорядоченные положения в пространстве. Поэтому кристаллы имеют плоские грани.

**Анизотропия** (анизос – неравный, тропос – направление). Многие кристаллы по-разному проводят теплоту, электрический ток в разных направлениях. От направления зависят оптические свойства кристаллов. Так кристалл кварца по-разному преломляет свет в зависимости от направления падающих на него лучей.

Твёрдые тела, состоящие из большого числа одиночных кристаллов, называют **поликристаллами**. Одиночные кристаллы называют **монокристаллами**.

- **АМОРФНЫЕ** тела – твёрдые тела, у которых нет определённого порядка в расположении атомов. Часто одно и то же вещество может находиться в кристаллическом и аморфном состоянии. Например кварц ( $\text{SiO}_2$ ) – кристаллическая форма, а кремнезём – аморфная форма.

Свойства аморфных тел:

1. Они изотропны, т.е. их физические свойства одинаковы по всем направлениям;
2. При внешних воздействиях одновременно проявляют упругость как твёрдые тела и текучесть как жидкости;
3. Атомы аморфных тел имеют определённое время «осёдлой жизни» как жидкости;
4. У аморфных тел нет определённой температуры плавления как у кристаллов;

# ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

- Наряду с механической энергией макроскопическое тело обладает ещё и энергией, заключённой внутри тела. Эта внутренняя энергия входит в баланс энергетических превращений. После открытия внутренней энергии был сформулирован *закон сохранения энергии*.

**ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ макроскопического** тела равна сумме кинетической энергии беспорядочного движения всех молекул (или атомов) и потенциальной энергии взаимодействия всех молекул друг с другом (но не с молекулами других тел).

Молекулы идеального одноатомного газа не взаимодействуют друг с другом (смотри определение идеального газа), поэтому потенциальная энергия их взаимодействия равна нулю. Тогда всю внутреннюю энергию представляет кинетическая энергия беспорядочного движения молекул.

Идеальный газ – это, конечно же, математическая модель, но есть реальные газы, которые являются одноатомными – это инертные газы (гелий, неон, аргон и др).

Итак, умножаем кинетическую энергию одного атома на число атомов

$$U = \bar{E}_k \cdot N = \frac{3}{2} kT \cdot \frac{m}{M} N_A = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT \quad \text{или окончательно} \quad U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT \quad \text{можно и так} \quad U = \frac{3}{2} \cdot \nu \cdot RT$$

здесь  $R = kN_A = 8,31$  Дж/моль\*К – универсальная газовая постоянная

Так как внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры, то её изменение будет происходить при изменении температуры.

значок  $\Delta$  - означает изменение, т.е. разность м/у конечным и начальным значением:  $\Delta U = U_2 - U_1$ ;  $\Delta T = T_2 - T_1$

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





# РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

**Работа в механике** определяется как произведение силы на перемещение и на косинус угла между ними  $\mathbf{A} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} \cdot \cos\alpha$  равна изменению кинетической энергии тела в целом.

В термодинамике движение тела как целого не рассматривается, а рассматривается перемещение частей тела друг относительно друга. При этом меняется его объём, но само тело неподвижно. И тогда **работа в термодинамике** равна изменению внутренней энергии тела.

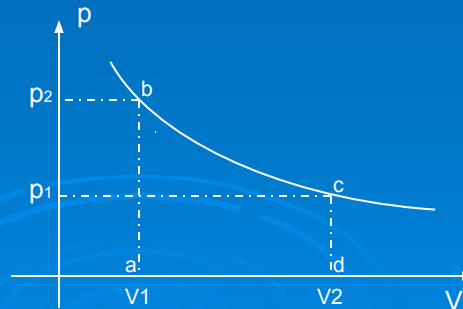
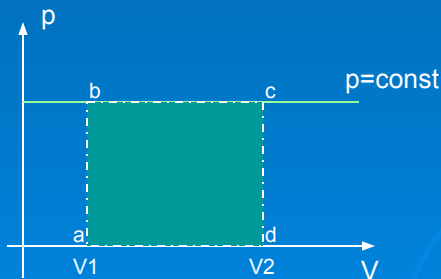
Обозначения:  $A$  – работа над газом (например, мы сжимаем газ),  $A'$  – работа газа. Когда мы газ сжимаем, - наша работа положительная, а работа газа отрицательная. Когда газ расширяется, то его работа положительная, а наша работа отрицательная. Иначе

$$\mathbf{A} = - \mathbf{A}' = -p \cdot \Delta V \text{ – работа над газом при сжатии, или}$$

$$\mathbf{A}' = p \cdot \Delta V \text{ – работа газа при расширении;}$$

(здесь  $p$  - давление газа, оно постоянно и  $\Delta V = V_2 - V_1$  - изменение объёма)

Графически работа газа численно равна площади фигуры, ограниченной графиком зависимости  $p(V)$  (читаем  $p$  от  $V$ ), осью  $V$  и перпендикулярами, поднятыми от значений  $V_1, V_2$  до графика  $p(V)$



# КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

КОЛИЧЕСТВОМ ТЕПЛОТЫ называют количественную меру изменения внутренней энергии при теплообмене.

При теплообмене не происходит превращение энергии из одной формы в другую, просто часть внутренней энергии горячего тела передаётся холодному телу.

1. Количество теплоты, передаваемое телу при нагревании (или отданное телом при охлаждении)

$$Q = cm(t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot \Delta t = c \cdot m \cdot \Delta T$$

где  $c$ - удельная теплоёмкость вещества Дж/кг·К (см. в таблицах);

2. Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар (со знаком «-» выделяется  $Q$  при конденсации)

$$Q = \pm r \cdot m$$

где  $r$ - удельная теплота парообразования для данного вещества Дж/кг (см. в таблицах);

3. Количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического тела (со знаком «-» выделяется  $Q$  при кристаллизации)

$$Q = \pm \lambda \cdot m$$

где  $\lambda$ - удельная теплота плавления для данного вещества Дж/кг (см. в таблицах);

4. Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива

$$Q = k \cdot m$$

где  $k$ - удельная теплота сгорания топлива Дж/кг (см. в таблицах);

# ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Многочисленные опыты показали, что механическая энергия никогда не пропадает бесследно. Этот вывод сделали ещё в середине 19 века и сформулирован в виде закона сохранения энергии: **Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает: количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую.**

Закон сохранения и превращения энергии при тепловых процессах носит название **Первого закона термодинамики**: **Изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданное системе.**

$$\Delta U = A + Q$$

Если система изолирована, то над ней не совершается работа и не передаётся тепло. Тогда внутренняя энергия остаётся неизменной.

Часто мы используем работу газа при расширении (когда мы его нагреваем), тогда

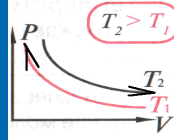
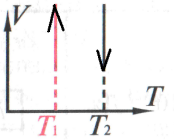
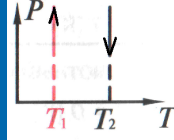
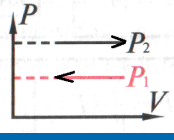
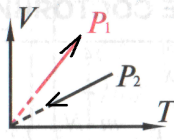
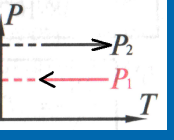
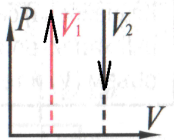
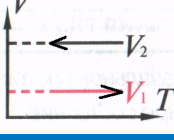
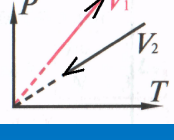
$$\Delta U = -A' + Q \quad \text{или} \quad Q = \Delta U + A'$$

т.е. всё тепло переданное газу идёт на изменение его внутренней энергии и совершения им работы.

Итак, внутреннюю энергию системы можно изменить двумя способами: передачей количества теплоты и совершением работы.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К ИЗОПРОЦЕССАМ

С помощью первого закона термодинамики можно делать важные заключения о характере протекания процесса.

| Изопроцесс ,<br>Постоянная<br>величина    | Математическая запись<br>закона | Графики изопроцессов   |  |  | Первый закон термодинамики<br><br>$\Delta U = A + Q$ или $Q = \Delta U + A'$   |
|---|---------------------------------|--|--|--|--|
| Изо-<br>термический<br>$T = \text{const}$ | $p \cdot V = \text{const}$      |   |   |   | T- const, $\Delta T=0$ , значит и $\Delta U=0$ , тогда<br><b><math>Q = A'</math></b><br>Газ совершает работу за счёт переданного ему количества теплоты  |
| Изо-<br>барный<br>$p = \text{const}$      | $\frac{V}{T} = \text{const}$    |   |   |   | температура увеличивается $\Delta T > 0$ , внутренняя энергия увеличивается $\Delta U > 0$<br><b><math>Q = \Delta U + A'</math></b><br>Газ совершает работу при постоянном давлении и изменяет свою внутреннюю энергию   |
| Изо-<br>хорный<br>$V = \text{const}$      | $\frac{p}{T} = \text{const}$    |  |  |  | Газ нагревают $Q > 0$ , внутренняя энергия увеличивается $\Delta U > 0$ , но $\Delta V = 0$ (объём не изменяется) и значит<br><b><math>A = 0</math> <math>\Delta U = Q</math></b><br>Количество теплоты, подводимое газу, идёт на изменение внутренней энергии |
| Адиабатный<br>$Q = 0$                     |                                 |  |  |  | $Q = 0$<br>Система не обменивается теплом с окружающей средой<br><b><math>\Delta U = A</math></b><br>Изменение внутренней энергии происходит за счёт совершения работы   |

# ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Второй закон термодинамики указывает направление возможных энергетических превращений и тем самым выражает необратимость процессов в природе.

**Невозможно перевести теплоту от более холодной системы к более горячей при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.**

Второй закон термодинамики выполняется только для систем с огромным числом частиц. Но для малых объёмов, содержащих небольшое число молекул вероятность отклонения от равновесия становится заметной. Такие случайные отклонения от равновесия называются **флуктуациями**. Именно флуктуациями плотности газа объясняется рассеивание света в атмосфере Земли и голубой цвет неба. Флуктуации давления в малых объёмах жидкости объясняют броуновское движение.



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Большая часть двигателей на Земле – это тепловые двигатели, т.е. устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую.



Рабочим телом двигателя является газ, т.к. газ лучше всего сжимается и расширяется при изменении температуры. Работа, совершаемая двигателем (газом)

$$A' = |Q_1| - |Q_2|$$

Коэффициент полезного действия теплового двигателя - КПД

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}$$

Может выражаться и в процентах и десятичной дробью. Например, 54% или 0,54  
Максимально возможное КПД (для теоретических расчётов двигателей)

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

# Вопросы

- Работу газа можно выразить через изменение объёма. Она определяется по формуле...
- Работа внешних сил, действующих на газ равна .....(написать формулу)
- При расширении газа работа внешних сил .....(сравнить с нулём)
- При сжатии газа работа внешних сил .....(сравнить с нулём)
- Изменение внутренней энергии системы при переходе её из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе. Математическая запись этого закона...
- Первый закон термодинамики применяется к следующим изопроцессам.....(перечислить)
- Процесс в теплоизолированной системе называют .....
- При адиабатном процессе изменение внутренней энергии равно.....(написать формулу)
- Внутренняя энергия идеального газа не изменяется только при ..... (назвать процесс)
- При изохорном процессе объём не изменяется и работа газа равна нулю, тогда изменение внутренней энергии ..... (написать формулу)
- Передаваемое газу количество теплоты идёт на изменение его внутренней энергии и на совершение работы им при ..... (назвать изопроцесс)
- При расширении газа его объём ...
- При сжатии газа его объём ...
- При нагревании температура газа...
- При охлаждении температура газа...