

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 ₀ , кПа	t, оС	p ₀ , кПа	t, оС	p ₀ , кПа	t, оС	p ₀ , кПа	t, оС	p ₀ , кПа	t, оС	p ₀ , 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 (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 Δ - 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.

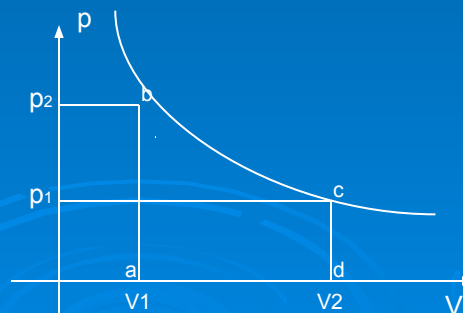
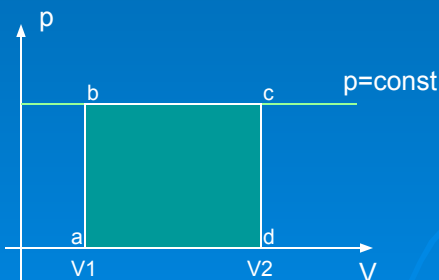
Обозначения: A – работа над газом (например, мы сжимаем газ), A' – работа газа. Когда мы газ сжимаем, - наша работа положительная, а работа газа отрицательная. Когда газ расширяется, то его работа положительная, а наша работа отрицательная. Иначе

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

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

(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 λ - 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

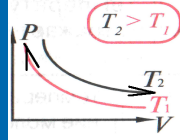
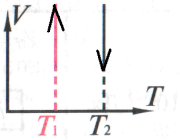
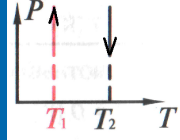
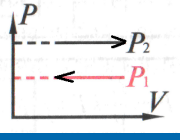
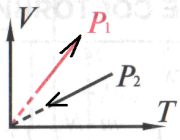
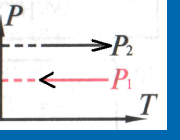
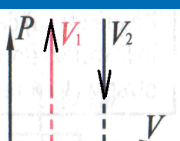
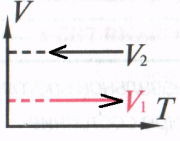
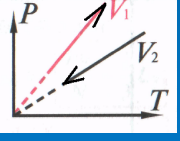
$$\Delta U = -A' + Q \quad \text{или} \quad Q = \Delta U + A'$$

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

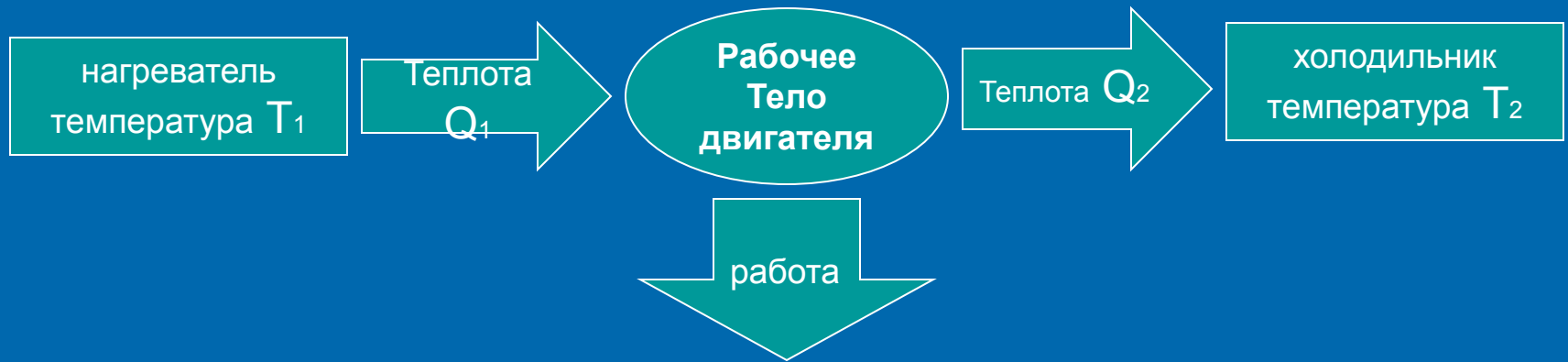
Невозможно перевести теплоту от более холодной системы к более горячей при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.

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...