

**7-9 классы, подготовка к теоретическому туру
олимпиады школьников «Робофест» по физике
Теоретический обзор к занятию 4 (06.02.2018).
Тема: «ТЕПЛОТА И СВЕТОВАЯ ЭНЕРГИЯ.»**

В первую очередь нам нужно обобщить понятие об энергии (на прошлом занятии изучалась механическая энергия, но это только одна из форм энергии, встречающихся в физике). На самом деле любой физический процесс можно рассматривать как цепочку превращений энергии из одной формы в другую. Очень полезное для развития понимания физики упражнение – разбирать такие цепочки для всякого реального явления в окружающем мире. Итак:

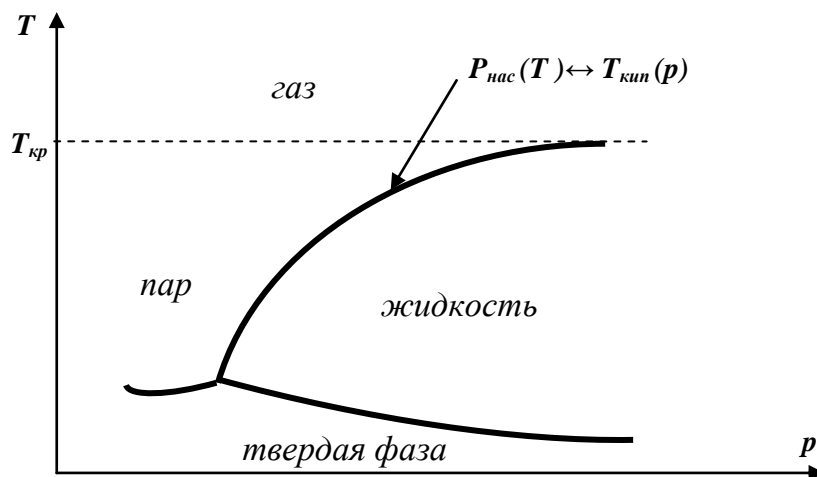
ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

ЭНЕРГИЯ		Физическая величина, характеризующая способность материи к движению и взаимодействию. Существование этой способности в различных физических процессах проявляется очень многообразно, поэтому любой процесс можно рассматривать как цепочку превращений энергии из одной формы в другую.
Формы энергии:		
механическая энергия	кинетическая	Энергия движущихся тел. Для тела массы m , движущегося со скоростью V : $E_{кин} = \frac{mV^2}{2}$.
	потенциальная	Энергия взаимодействия тел. Обычно зависит от положения тел в пространстве. Например, потенциальная энергия тела массы m , расположенного на высоте h в поле тяжести Земли: $E_{пот} = mgh$.
внутренняя энергия		Суммарная энергия (кинетическая и потенциальная) частиц вещества, из которого состоит тело – молекул. Молекулы постоянно находятся в движении и взаимодействуют друг с другом, даже если тело в целом покоится и не взаимодействует с другими телами. Кинетическая энергия молекул зависит от степени «нагретости» тела, поэтому ее можно связать с температурой тела. Потенциальная энергия зависит от рода молекул и расстояний между ними, то есть от плотности вещества.
энергия излучения		Многие тела и их молекулы способны порождать особый вид материи – излучения (свет, тепловое излучение, радиоволны, рентгеновские лучи и другие). Тело тратит свою энергию на порождение излучения, после чего излучение существует уже независимо от породившего его тела и действует на другие тела. Таким образом, излучение переносит энергию от одного тела к другому.
химическая энергия		Энергия взаимодействия атомов – частиц, из которых состоят молекулы веществ. Во время химических реакций происходят «перестановки» атомов, что приводит к изменению этой энергии – реакции могут сопровождаться выделением или поглощением энергии.
атомная энергия, ядерная энергия и т.д.		Это «внутренняя» энергия отдельных атомов, ядер атомов, элементарных частиц... . На каждом уровне энергию объекта можно рассматривать как суммарную энергию более мелких объектов, из которых он состоит: атом – из ядра и электронов , ядро – из протонов и нейтронов , протоны и нейтроны – из кварков и так далее.

Обмен энергией между телами:		
механическая работа	Величина, характеризующая обмен энергией между телами при их взаимодействии. Если одно тело действует на другое с силой F , и при этом второе перемещается в направлении действия этой силы на расстояние s , то работа первого тела над вторым $A = F \cdot s$.	
Теплообмен (теплопередача) – обмен энергией между телами без совершения механической работы.	конвекция	Перенос энергии, происходящий <u>вместе</u> с переносом самого вещества под действием внешней силы. Например, конвекционные потоки возникают в жидкости или газе в поле тяжести Земли: при нагревании плотность вещества уменьшается из-за теплового расширения (молекулы движутся быстрее и несколько «разбегаются» друг от друга), и поэтому более горячее вещество поднимается вверх, а более холодное опускается вниз.
	излучение	Перенос энергии излучением.
	теплопроводность	Перенос энергии, происходящий вследствие взаимодействия молекул: более быстрые молекулы при соударении с более медленными передают им часть своей «избыточной» энергии.
Величина энергии, которой обмениваются тела при теплообмене, называется количеством теплоты .		
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:		
Запас энергии материального мира не изменяется: энергия в целом не исчезает и не появляется, а лишь переходит из одной формы в другую. Как следствие, энергия изолированной системы (которая не взаимодействует с «внешними» телами и не обменивается с ними теплом) остается постоянной.		

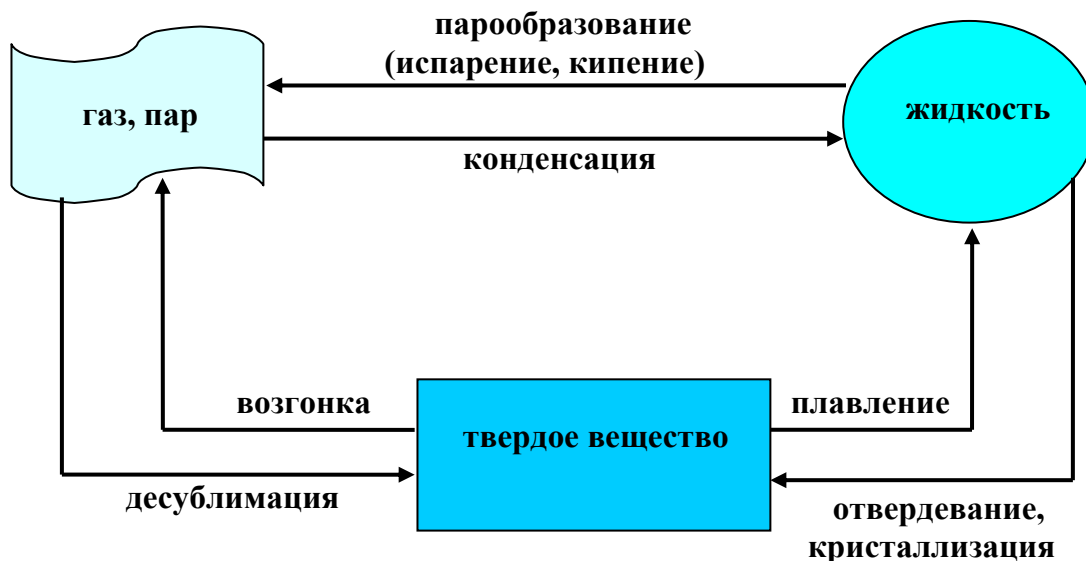
Очень важную роль «энергетический анализ» играет при обсуждении процессов видоизменения состояний вещества. На самом деле свойства веществ определяются их строением, то есть в основном законами движения и взаимодействия молекул, из которых они состоят. Молекулярные взаимодействия очень разнообразны, поэтому разнообразны и свойства веществ. Общее описание связи свойств веществ со свойствами молекул – интересная, но и очень сложная задача. Такие задачи современная физика в основном решает средствами математического моделирования с использованием суперкомпьютеров. Тем не менее многие важные процессы можно описать простыми методами – именно в рамках энергетического подхода. Термин «состояние вещества» используется в двух смыслах. Во-первых, речь может идти об **агрегатном состоянии** (то есть о том, является ли вещество, к примеру, жидким или газообразным). Во-вторых – речь может идти о том, что вещество имеет определенный набор характеристик (так называемых **параметров состояния** – таких, как общая масса, объем, давление и температура). Эти значения термина связаны между собой. Обычно для каждого конкретного вещества задание параметров состояния (чаще всего используется задание давления и температуры) однозначно определяет и его агрегатное состояние. Например, вода при температуре $+10^0\text{C}$ и давлении 10^5Па должна (в устойчивом равновесном состоянии) быть жидкой, а при температуре 150^0C и том же давлении – газообразной. Исключения составляют состояния *фазового равновесия*, в которых возможно сосуществование двух или даже более фаз (агрегатных состояний). Эти состояния отвечают совершенно определенным комбинациям значений параметров состояния, поэтому по одному из них определяются остальные. В качестве примера снова обратим внимание на воду, для которой при нормальном атмосферном давлении 10^5Па равновесное сосуществование жидкой и газообразной фаз возможно только при температуре 100^0C . Точки фазового равновесия и области, отвечающие одной определенной фазе, можно изобразить на *фазовой*

диаграмме вещества. Изобразим типичную такую диаграмму в «координатах» $p-T$ (давление-температура):



Кривая, проходящая через точки равновесия жидкой и газообразной фазы, является графиком зависимости *температуры кипения* жидкости от давления. На этой диаграмме можно выделить так называемую критическую температуру, выше которой кривая равновесия этих фаз не поднимается. Это означает, что при температурах выше критической вещество нельзя перевести в жидкую фазу изотермическим сжатием – при любом давлении свойства вещества будут качественно отличаться от свойств жидкостей. Будем называть далее *газом* газообразное состояние вещества при температуре выше критической, а *паром* – газообразное состояние вещества при температуре ниже критической. Пар, находящийся в равновесии с жидкой фазой того же вещества, называют *насыщенным*. Значения параметров состояния для насыщенного пара определяются условием фазового равновесия, поэтому при заданной температуре давление насыщенного пара данного вещества имеет строго определенное значение. Графиком зависимости $p_{нас}(T)$ является все та же кривая равновесия жидкой и газообразной фазы на фазовой диаграмме.

При нарушении равновесия фаз в физических системах происходят *фазовые переходы*. Так называют процессы, в которых вещества изменяют свои **агрегатные состояния**. В школьном курсе подробно рассматриваются три агрегатных состояния вещества (газообразное, жидкое и твердое), поэтому можно рассматривать фазовые переходы, перечисленные на рисунке:



Энергетика каждого фазового перехода характеризуется **удельной теплотой перехода** – количеством теплоты, отдаваемой (поглощаемой) единицей массы данного вещества, совершающего этот фазовый переход при неизменной температуре. Удельные теплоты противоположных процессов равны (например, удельная теплота плавления равна удельной теплоте кристаллизации и т.д.).

удельная теплота перехода – количество теплоты, поглощение (выделение) которого сопровождается переход 1 кг данного вещества, например:	удельная теплота плавления	Количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг данного вещества при температуре плавления для перевода его из твердого состояния в жидкое (численно равна <i>удельной теплоте кристаллизации</i> – количеству теплоты, которое выделяется при переходе 1 кг вещества из жидкого состояния в твердое при температуре плавления).
	удельная теплота парообразования	Количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг данного вещества при температуре кипения для перевода его из жидкого состояния в пар (численно равна <i>удельной теплоте конденсации</i> – количеству теплоты, которое выделяется при переходе 1 кг вещества из состояния пара в жидкое при температуре кипения).
	удельная теплота сгорания топлива	Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг данного топлива.
Таковую характеристику можно ввести для любого «превращения» веществ: фазового перехода или химической реакции.		

Для описания состояния паров часто используют характеристики, называемые *абсолютной* и *относительной влажностью*. Абсолютная влажность характеризует содержание газообразной формы вещества в единице объема и равна плотности пара данного вещества

$$D \equiv \rho_{\text{пара}} = \frac{m_{\text{пара}}}{V},$$

Относительная влажность характеризует степень насыщенности паров данного вещества и равна отношению плотности пара к плотности насыщенного пара этого вещества при данной температуре (на самом деле для газа плотность при фиксированной температуре пропорциональна давлению, поэтому относительную влажность можно также найти как отношение давления пара к давлению насыщенного пара этого вещества при данной температуре):

$$r \equiv \frac{\rho_{\text{пара}}}{\rho_{\text{нас}}(T)} = \frac{p_{\text{пара}}}{p_{\text{нас}}(T)}.$$

Относительную влажность часто выражают в процентах. Отметим сразу, что эти понятия могут относиться не только к парам воды, но и к парам любого вещества. Довольно часто на практике и в задачах возникает необходимость анализа состояний систем, представляющих из себя смесь газа, пара и (возможно) жидкости. Наиболее типичным примером подобной системы является *влажный воздух* – смесь сухого воздуха и водяного пара при «бытовых» температурах. Такие температуры оказываются выше критической для основных компонент сухого воздуха (азота и кислорода), и поэтому они во всех процессах сохраняют газообразное состояние. Для воды эти температуры ниже критической, и поэтому при сжатии или охлаждении может начаться *конденсация* пара, а при расширении и нагревании – *испарение* жидкости. Параметры состояния насыщенного пара определяются из условия фазового равновесия. В частности, при изотермическом сжатии насыщенного пара его давление не растет, а остается постоянным. При этом масса газа уменьшается благодаря конденсации – вплоть до того момента, когда весь пар сконденсируется. Отметим, что задание относительной влажности пара при известной температуре фактически означает задания давления этого пара. Например, водяной пар с относительной влажностью 60% при температуре 100°C создает давление $p = r \cdot p_{\text{нас}}(T) \approx 6 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задания по этому разделу обычно решаются с помощью **уравнения теплового баланса**. Это задачи об анализе теплообмена в ходе процессов нагревания (остывания) веществ, фазовых переходов и химических реакций. Общая схема решения таких задач очень жестко фиксирована:

Шаг 0: Определить характер описанных в условии процессов, определить, какие из них идут с выделением, а какие – с поглощением тепла (см. таблицу ниже).

Шаг 1: Записать для всех этих процессов выражение для количества выделенного (поглощенного) тепла. Определить (если это возможно) конечное состояние системы, если невозможно – выбрать «разумное» предположение о характере этого состояния

Шаг 2: Записать уравнение теплового баланса: в замкнутой системе сумма выделившихся количеств тепла равна сумме поглощенных.

Шаг 3: Из этого уравнения выразить искомую величину, проверить (если нужно) справедливость предположения о конечном состоянии.

Процессы с различным направлением теплообмена:

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА	ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛА
остывание вещества от t_H до t_K : $Q = cm(t_H - t_K)$	нагревание вещества от t_H до t_K : $Q = cm(t_K - t_H)$
фазовый переход массы m вещества: $Q = \lambda m$ для конденсации, отвердевания.	фазовый переход массы m вещества: $Q = \lambda m$ для парообразования, плавления.
Экзотермическая реакция с расходом реагента m : $Q = qm$	Эндотермическая реакция с расходом реагента m : $Q = qm$

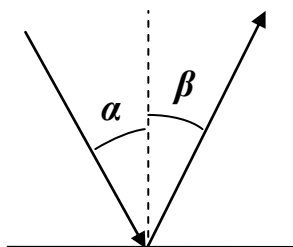
Еще один пример явлений, в которых «анализ энергетики» очень важен – это явления, связанные с распространением света и освещением предметов. Энергетика этих процессов изучается разделом физики, который называют **фотометрией**. Для описания распространения света в системе с источниками света и препятствиями «обычных» размеров используют законы геометрической оптики:

- **Закон прямолинейности распространения света:**

В однородной среде свет распространяется между любыми двумя точками по прямой. При описании прохождения света через вещество считается, что влияние вещества в основном проявляется в *замедлении хода* световых лучей. Вещество характеризуется **абсолютным показателем преломления**, равным отношению скорости света в вакууме к скорости света в данной среде: $n_{cp} \equiv c/c_{cp}$.

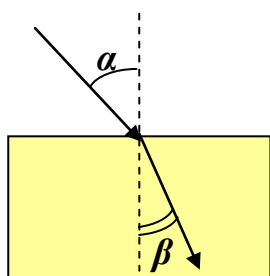
При падении светового луча на границу раздела двух сред происходят явления *отражения* (возвращения светового луча обратно в первую среду) и *преломления* (переход луча из первой среды во вторую, при котором изменяется направление его движения).

- **Закон отражения света:**



Луч падающий, луч отраженный и нормаль к отражающей поверхности в точке падения лежат в одной плоскости. Угол падения (между падающим лучом и нормалью) равен углу отражения (между отраженным лучом и нормалью): $\alpha = \beta$

- **Закон преломления света (закон Снеллиуса):**



Луч падающий, луч преломленный и нормаль к преломляющей поверхности в точке падения лежат в одной плоскости. Отношение синусов углов падения и преломления (между преломленным лучом и нормалью) равно отношению абсолютных показателей преломления второй и первой сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \equiv n_{21}$$

Отношение абсолютных показателей преломления двух сред также называют *относительным показателем преломления*.

При изучении потока световой энергии следует в первую очередь обращать внимание на **сохранение** световой энергии. Часто среда поглощает часть энергии проходящего через нее света, и тогда энергии светового пучка уменьшается. В прозрачной среде мы пренебрегаем поглощением, и тогда энергия сохраняется, и уменьшение потока энергии происходит только из-за увеличения площади, по которой эта энергия распределяется в ходе распространения. Например, рассмотрим маленькую лампочку, свет от которой распространяется одинаково в

разные стороны в прозрачной среде. Тогда практически постоянная энергия, испущенная лампочкой за единицу времени, на некотором расстоянии от нее равномерно распределяется по поверхности сферы соответствующего радиуса. По мере удаления от лампочки площадь поверхности сферы растет пропорционально квадрату радиуса. Поэтому мощность излучения лампочки, регистрируемая на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2 .