**Текст для учителя**

**Фазы** – это различные однородные части физико-химических систем. Вещество однородно, когда все параметры состояния вещества одинаковы во всех его элементарных объёмах, размеры которых велики по сравнению с межатомными состояниями. Смеси различных газов всегда составляют одну фазу, если во всем объёме они находятся в одинаковых концентрациях. Одно и то же вещество в зависимости от внешних условий может быть в одном из трёх агрегатных состояний: жидком, твёрдом или газообразном. Фазы – это устойчивые состояния определенного агрегатного состояния. Понятие фазы более широкое, чем понятие агрегатного состояния.

В зависимости от внешних условий система может находиться в равновесии, либо в одной фазе, либо сразу в нескольких фазах. Их равновесное существование называется фазовым равновесием.

Испарение и конденсация – часто наблюдаемые фазовые переходы воды в окружающей природе. При переходе воды в пар происходит сначала испарение – переход поверхностного слоя жидкости в пар, при этом в пар переходят только самые быстрые молекулы: они должны преодолеть притяжение окружающих молекул, поэтому уменьшаются их средняя кинетическая энергия и, соответственно, температура жидкости. Наблюдается в быту и обратный процесс – конденсация. Оба эти процесса зависят от внешних условий.   
В некоторых случаях между ними устанавливается динамическое равновесие, когда число молекул, покидающих жидкость, становится равным числу молекул, возвращающихся в неё. Молекулы в жидкости связаны силами притяжения, которые удерживают их внутри жидкости. Если молекулы, которые имеют скорости, превышающие среднюю, находятся вблизи поверхности, они могут её покинуть. Тогда средняя скорость оставшихся молекул понизится и температура жидкости уменьшится. Для испарения при постоянной температуре нужно сообщить жидкости некоторое количество теплоты: *Q = rт*, где *r* – удельная теплота парообразования, которая уменьшается с ростом температуры. При комнатной температуре для одной молекулы воды теплота парообразования составляет 10–20 Дж, тогда как средняя энергия теплового движения равна: 6,06 ⋅ 10-21 Дж. Это значит, что в пар переходят молекулы с энергией, которая в 10 раз больше энергии теплового движения. При переходе через поверхность жидкости потенциальная энергия быстрой молекулы растёт, а кинетическая уменьшается, поэтому средние кинетические энергии молекул пара и жидкости при тепловом равновесии равны.

Насыщенный пар – это пар, находящийся в динамическом равновесии, соответствующем данной температуре, со своей жидкостью. Опыт показывает, что он не подчиняется закону Бойля – Мариотта, поскольку его давление не зависит от объёма. Давление насыщенного пара – наибольшее давление, которое может иметь пар при данной температуре. Процессы испарения и конденсации воды обусловливают сложные взаимодействия атмосферы и гидросферы, важные для формирования погоды и климата. Между атмосферой и гидросферой происходит непрерывный обмен веществом (круговорот воды) и энергией.

Исследования показали, что с поверхности Мирового океана, составляющего 94% земной гидросферы, за сутки испаряется около 7 000 км3 воды и примерно столько же выпадает в виде осадков. Водяной пар, увлекаемый конвекционным движением воздуха, поднимается вверх и попадает в холодные слои тропосферы. По мере подъёма пар становится все более насыщенным, затем конденсируется, образуя дождевые капли. В процессе конденсации пара в тропосфере за сутки выделяется около 1,6–1022 Дж теплоты, что в десятки тысяч раз превосходит вырабатываемую человечеством энергию за то же время.

**Кипение** – процесс перехода жидкости в пар в результате всплывания пузырьков, наполненных паром. Кипение происходит во всем объёме. Разрыв пузырьков у поверхности кипящей жидкости свидетельствует о том, что давление пара в них превышает давление над поверхностью жидкости. При температуре 100 °С давление насыщенных паров равно давлению воздуха над поверхностью жидкости (так была выбрана эта точка на шкале). На высоте 5 км давление воздуха вдвое меньше и вода закипает там при 82 °С, а на границе тропосферы (17 км) – приблизительно при 65 °С, поэтому точка кипения жидкости соответствует той температуре, при которой давление её насыщенных паров равно внешнему. Слабое поле тяготения Луны (ускорение свободного падения у её поверхности равно всего 1,7 м/с2) не способно удержать атмосферу, а при отсутствии атмосферного давления жидкость мгновенно выкипает, поэтому лунные «моря» безводны и образованы застывшей лавой. По той же причине безводны и марсианские «каналы».

Вещество может находиться в равновесии и в разных фазах.   
Так, при сжижении газа в состоянии равновесия фаз объём может быть каким угодно, а температура перехода связана с давлением насыщенного пара. Кривая равновесия фаз может быть получена при проекции на плоскость (*р, Т*) области перехода в жидкое состояние. Аналитически кривая равновесия двух фаз определяется из решения дифференциального уравнения   
Клаузиуса – Клапейрона. Аналогично можно получить кривые плавления и возгонки, которые соединяются в одной точке плоскости (*р, Г*), в тройной точке *(см. Рис. 7.1),* где в определённых пропорциях находятся в равновесии все три фазы. Тройной точке воды соответствует давление 569,24 Па и температура –0,0075 °С; углекислоты – 5,18 ⋅ 105 Па и 56,6 °С соответственно, поэтому при атмосферном давлении *р*, равном 101,3 кПа, углекислота может быть в твёрдом или газообразном состоянии. При критической температуре физические свойства жидкости и пара становятся одинаковыми. При температурах выше критической вещество может быть только в газообразном состоянии. Для воды Т = 374,2 °С, р = 22,12 МПа; для хлора – 144 °С и 7,71 МПа соответственно.

Температурами перехода называют температуры, при которых происходят переходы из одной фазы в другую. Они зависят от давления, хотя и в различной степени: температура плавления – слабее, температуры парообразования и сублимации – сильнее. При нормальном и постоянном давлениях переход происходит при определённом значении температуры, и здесь имеют место точки плавления, кипения и сублимации (или возгонки).

Переход вещества из твёрдого состояния непосредственно в газообразное можно наблюдать, например, в оболочках кометных хвостов. Когда комета находится далеко от Солнца, почти вся её масса сосредоточена в её ядре, имеющем размеры 10–12 км. Ядро окружено небольшой оболочкой газа – это голова кометы. При приближении к Солнцу ядро и оболочка кометы начинают нагреваться, вероятность сублимации растёт, а десублимации (обратного ей процесса) – уменьшается. Вырывающиеся из ядра кометы газы увлекают за собой твёрдые частицы, голова кометы увеличивается в объёме и становится газопылевой по составу. Давление около кометного ядра очень низкое, поэтому жидкая фаза не возникает. Вместе с головой растёт и хвост кометы, который вытягивается в сторону от Солнца. У некоторых комет он достигает в перигелии сотен миллионов километров, но плотности в кометном веществе ничтожны малы. При каждом подходе к Солнцу кометы теряют большую часть своей массы, в ядре сублимируют всё более летучие вещества, и постепенно они рассыпаются на метеорные тела, образующие метеорные потоки. За 5 млрд лет существования Солнечной системы так закончили своё существование множество комет.

Весной 1986 г. в космос для исследования кометы Галлея были направлены автоматические советские станции «Вега-1» и «Вега-2», которые прошли на расстоянии от неё 9 000 и 8 200 км соответственно, а станция НАСА «Джотто» – на расстоянии всего 600 км от ядра кометы. Ядро имело размеры 14 × 7,5 км, тёмный цвет и температуру около 400 К. Когда космические станции прошли через голову кометы, сублимировало около 40 000 кг ледяного вещества за 1 с.

Поздней осенью, когда после сырой погоды наступает резкое похолодание, на ветвях деревьев и на проводах можно наблюдать иней – это десублимировавшиеся кристаллики льда. Подобное явление используют при хранении мороженого, когда углекислота охлаждается, т. к. переходящие в пар молекулы уносят энергию. На Марсе явления сублимации и десублимации углекислоты в полярных шапках играют такую же роль, что и испарение – конденсация в атмосфере и гидросфере Земли.

Теплоёмкость стремится к нулю при сверхнизких температурах, как установил Нернст. Отсюда Планк показал, что вблизи абсолютного нуля все процессы протекают без изменения энтропии. Построенная Эйнштейном теория теплоёмкости твёрдых тел при низких температурах позволила сформулировать результат Нернста как третье начало термодинамики. Наблюдаемые при низких температурах необычные свойства веществ – сверхтекучесть и сверхпроводимость – нашли объяснение в современной теории как макроскопические квантовые эффекты.

Фазовые переходы бывают нескольких родов. Во время фазового перехода температура не меняется, но меняется объём системы.

Фазовыми переходами первого рода называют изменения агрегатных состояний вещества, если: температура постоянна во время всего перехода; меняется объём системы; меняется энтропия системы. Чтобы произошел такой фазовый переход, нужно данной массе вещества сообщить определённое количество теплоты, соответствующее скрытой теплоте превращения.

В самом деле, при переходе из более конденсированной фазы в фазу с меньшей плотностью нужно сообщить некоторое количество энергии в форме теплоты, которое пойдет на разрушение кристаллической решётки   
(при плавлении) или на удаление молекул жидкости друг от друга   
(при парообразовании). Во время преобразования скрытая теплота расходуется на преодоление сил сцепления, интенсивность теплового движения не изменяется, – в результате температура остается постоянной. При таком переходе степень беспорядка, а, следовательно, и энтропии, возрастает.   
Если процесс идёт в обратном направлении, то скрытая выделяется теплота.

Фазовые переходы второго рода связаны с изменением симметрии системы: выше точки перехода система, как правило, обладает более высокой симметрией, как показал в 1937 г. Л.Д. Ландау. Например, в магнетике спиновые моменты выше точки перехода ориентированы хаотически, и одновременное вращение всех спинов вокруг одной оси на одинаковый угол не изменяет свойств системы. Ниже точки перехода спины имеют некоторую преимущественную ориентацию и их одновременный поворот меняет направление магнитного момента системы. Ландау ввёл коэффициент упорядочения и разложил термодинамический потенциал в точке перехода по степеням этого коэффициента, на основе чего построил классификацию всех возможных типов переходов, а также теорию явлений сверхтекучести и сверхпроводимости. На этой основе Ландау и Лифшиц рассмотрели много важных задач: переход сегнетоэлектрика в параэлектрик, ферромагнетика – в парамагнетик, поглощение звука в точке перехода, переход металлов и сплавов в сверхпроводящее состояние и др.

Расчёт термодинамических свойств системы на основе статистической механики предполагает выбор определённой модели системы, и чем сложнее система, тем проще должна быть модель. В 1925 г. Э. Изинг предложил модель ферромагнетика и решил задачу об одномерной цепочке с учётом взаимодействия с ближайшими соседями для любых полей и температур. При математическом описании таких систем частиц с интенсивным взаимодействием выбирается упрощённая модель, когда происходит взаимодействие только парного типа (такая двумерная модель названа решёткой Изинга). Но фазовые переходы не всегда удавалось рассчитать, вероятно, из-за каких-то неучтённых явлений, общих для систем многих частиц, причём не имеет значения природа самих частиц (частицы жидкости или магниты). В 1944 г. Л. Онсагер дал точное решение для двумерной модели Изинга: он поместил в узлах решётки диполи, которые могут ориентироваться только двумя способами, а каждый такой диполь может взаимодействовать только с соседом. Получилось, что в точке перехода теплоёмкость обращается в бесконечность по логарифмическому закону симметрично по обе стороны точки перехода. В дальнейшем оказалось, что этот вывод весьма важен для всех фазовых переходов второго рода. Работа Онсагера показала, что метод статистической механики позволяет получить новые результаты для фазовых превращений.

Фазовые переходы второго, третьего и т. д. родов связаны с порядком тех производных термодинамического потенциала *Ф*, которые испытывают конечные изменения в точке перехода. Такая классификация фазовых превращений связана с работами физика-теоретика П. Эренфеста. В случае фазового перехода второго рода в точке перехода испытывают скачки – производные второго порядка.

Квантовую теорию поля начали использовать для расчётов систем частиц только в 70-е гг. XX в. Система рассматривалась как решётка с меняющимся шагом, что позволяло менять точность вычислений и приближаться к описанию реальной системы и использовать ЭВМ. Американский физик-теоретик   
К. Вильсон, применив новую методику расчётов, получил качественный скачок в понимании фазовых переходов второго рода, связанных с перестройкой симметрии системы. Фактически он связал квантовую механику со статистической, и его работы получили фундаментальное значение.   
Они применимы и в процессах горения, и в электронике, и в описании космических явлений и ядерных взаимодействий. Вильсон исследовал широкий класс критических явлений и создал общую теорию фазовых переходов   
второго рода.

Источник: <https://lektsia.com/6x9884.html>.