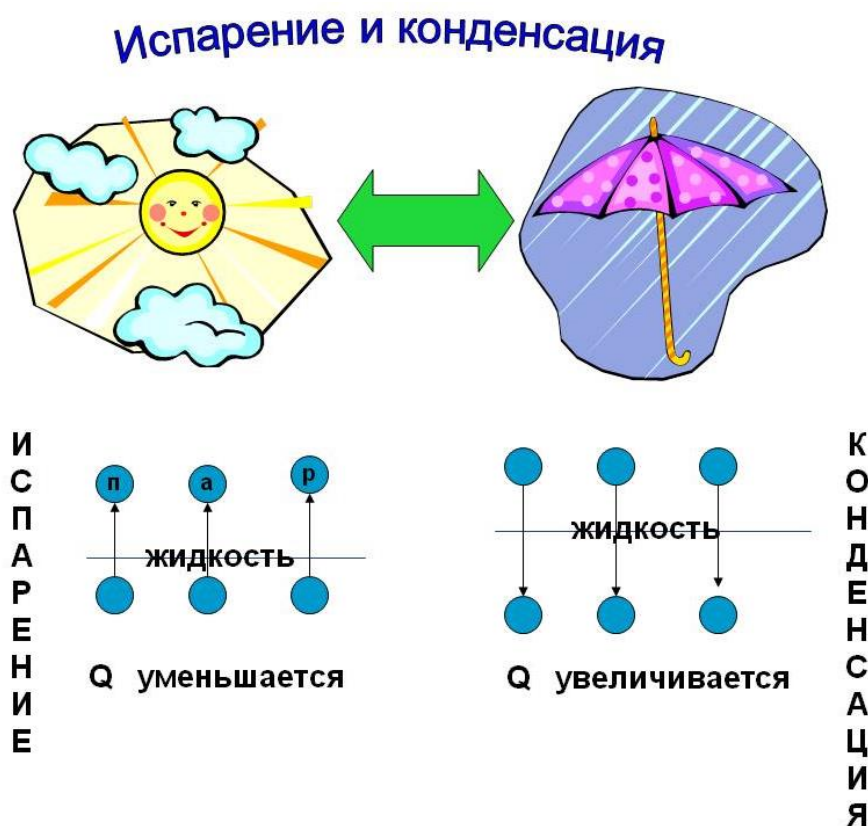


Тема: *Испарение и конденсация. Влажность воздуха. Решение задач по теме «Строение и свойства жидкостей. Поверхностное натяжение. Влажность воздуха».*

Испарение и конденсация



Хорошо закрытый флакон с духами может стоять очень долго, и количество духов в нем не изменится. Если же флакон оставить открытым, то, взглянув на него через достаточно продолжительное время, вы увидите, что жидкости в нем нет. Жидкость, в которой растворены ароматические вещества, испарилась. Гораздо быстрее испаряется (высыхает) лужа на асфальте, особенно если высока температура воздуха и дует ветер.

Это явление можно объяснить так.

Молекулы жидкости движутся беспорядочно. Чем выше температура жидкости, тем больше кинетическая энергия молекул. Среднее значение кинетической энергии молекул при заданной температуре имеет определенную величину. Но у каждой молекулы кинетическая энергия в данный момент может оказаться как меньше, так и больше средней. В какой-то момент кинетическая энергия отдельных молекул может стать настолько большой, что они окажутся способными вылететь из жидкости, преодолев силы притяжения остальных молекул. В этом и состоит процесс *испарения*.

Испарение — процесс фазового перехода вещества из жидкого состояния в парообразное или газообразное, происходящий на поверхности вещества.



Вылетевшая молекула принимает участие в беспорядочном тепловом движении газа. Беспорядочно двигаясь, она может навсегда удалиться от поверхности жидкости, находящейся в открытом сосуде, но может и вернуться снова в жидкость. Такой процесс называют *конденсацией*.

Конденсация - Переход вещества из газообразного состояния в жидкое или твердое вследствие охлаждения или сжатия.

Если поток воздуха над сосудом уносит с собой образовавшиеся пары жидкости, то жидкость испаряется быстрее, так как у молекулы пара уменьшается возможность вновь вернуться в жидкость. Чем выше температура жидкости, тем большее число молекул имеет достаточную для вылета из жидкости кинетическую энергию, тем быстрее идет испарение.

При испарении жидкость покидают более быстрые молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия молекул жидкости уменьшается. Это означает, что происходит понижение температуры жидкости. Смочив руку какой-нибудь быстро испаряющейся жидкостью (бензином или ацетоном), вы тут же почувствуете сильное охлаждение смоченного места. Охлаждение усилится, если на руку подуть.

Если лишить жидкость возможности испаряться, то охлаждение ее будет происходить гораздо медленнее. Вспомните, как долго остывает жирный суп. Слой жира на его поверхности мешает выходу быстрых молекул воды. Жидкость почти не испаряется, и ее температура падает медленно (сам жир испаряется крайне медленно, так как его большие молекулы более прочно сцеплены друг с другом, чем молекулы воды).

Насыщенный пар.

Если сосуд жидкостью плотно закрыть, то убыль, ее вскоре прекратится. При неизменной температуре система ж и д кость — пар придет в состояние теплового равновесия и будет находиться в нем сколь угодно долго. Одновременно с процессом испарения происходит и конденсация, оба процесса в среднем компенсируют друг друга.

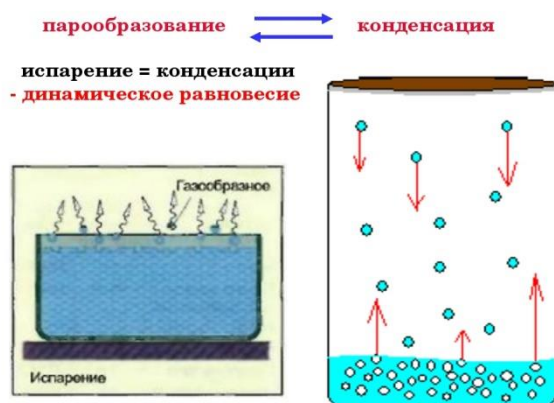
В первый момент, после того как жидкость нальют в сосуд и закроют его, жидкость будет испаряться и плотность пара над ней будет увеличиваться. Однако одновременно с этим будет расти и число молекул, возвращающихся в жидкость. Чем больше плотность пара, тем большее число его молекул возвращается в жидкость. В результате в закрытом сосуде при постоянной температуре

установится *динамическое* (подвижное) *равновесие* между жидкостью и паром, т.е. число молекул, покидающих поверхность жидкости, равно в среднем числу молекул пара, возвратившихся за то же время в жидкость. Для воды при комнатной температуре это число приблизительно равно 10^{22} молекул в 1 с на 1 см^2 площади поверхности.

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

Это определение подчеркивает, что в данном объеме при данной температуре не может находиться большее количество пара.

Если воздух из сосуда с жидкостью предварительно откачан, то над поверхностью жидкости будет находиться только насыщенный пар.



Давление насыщенного пара.

Что будет происходить с насыщенным паром, если уменьшить занимаемый им объем? Например, если сжимать пар, находящийся в равновесии с жидкостью в цилиндре под поршнем, поддерживая температуру содержимого цилиндра постоянной.

При сжатии пара равновесие начнет нарушаться. Плотность пара в первый момент немного увеличится, и из газа в жидкость начнет переходить большее число молекул, чем из жидкости в газ. Ведь число молекул, покидающих жидкость в единицу времени, зависит только от температуры, и сжатие пара это число не меняет. Процесс продолжается до тех пор, пока вновь не установится динамическое равновесие и плотность пара, а значит, и концентрация его молекул не примут прежнее значение.

Следовательно, *концентрация молекул насыщенного пара при постоянной температуре не зависит от его объема.*

Так как давление пропорционально концентрации молекул ($p = nkT$), то из этого определения следует, что *давление насыщенного пара не зависит от занимаемого им объема.*

Давление пара p_0 , при котором жидкость находится в равновесии со своим паром, называют давлением насыщенного пара.

При сжатии насыщенного пара все большая часть его переходит в жидкое состояние. Жидкость данной массы занимает меньший объем, чем пар той же массы. В результате объем пара при неизменной его плотности уменьшается.

Ненасыщенный пар.

Мы много раз употребляли слова *газ* и *пар*. Никакой принципиальной разницы между газом и паром нет, и эти слова в общем-то равноправны. Но *если при неизменной температуре газ простым сжатием можно превратить в жидкость, то мы называем его паром, точнее, ненасыщенным паром.*

Как только начинается превращение пара в жидкость, пар, находящийся в равновесии с жидкостью, становится насыщенным.

Картина испарения жидкости и конденсации пара проста. Самое интересное состояние газа — это насыщенный пар. Он находится в равновесии с жидкостью; его давление и плотность не зависят от объема.

Кипение.

По мере увеличения температуры жидкости интенсивность испарения увеличивается. Наконец, жидкость начинает кипеть. *При кипении по всему объему жидкости образуются быстро растущие пузырьки пара, которые всплывают на поверхность. Температура кипения жидкости остается постоянной.* Это происходит потому, что вся подводимая к жидкости энергия расходуется на превращение ее в пар. При каких условиях начинается кипение?

В жидкости всегда присутствуют растворенные газы, которые выделяются на дне и стенках сосуда, а также на взвешенных в жидкости пылинках. Пары жидкости, которые находятся внутри пузырьков, являются насыщенными. С увеличением температуры давление насыщенных паров возрастает и пузырьки увеличиваются в размерах. Под действием выталкивающей силы они всплывают вверх. Если верхние слои жидкости имеют более низкую температуру, то в этих слоях происходит конденсация пара в пузырьках. Давление стремительно падает, и пузырьки захлопываются. Захлопывание происходит настолько быстро, что стенки пузырька, сталкиваясь, производят нечто вроде взрыва. Множество таких микровзрывов создает характерный шум. Когда жидкость достаточно прогреется, пузырьки перестанут захлопываться и всплывут на поверхность. Жидкость закипит. Понаблюдайте внимательно за чайником на плите. Вы обнаружите, что перед закипанием он почти перестает шуметь.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры объясняет, почему температура кипения жидкости зависит от давления на ее поверхность. Пузырек пара может расти, когда давление насыщенного пара внутри его немного превосходит давление в жидкости, которое складывается из давления воздуха на поверхность жидкости (внешнее давление) и гидростатического давления столба жидкости.



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

Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения. Так, в паровом котле при давлении, достигающем $1,6 \cdot 10^6$ Па, вода не кипит и при температуре 200°C . В медицинских учреждениях в герметически закрытых сосудах — автоклавах кипение воды также происходит при повышенном давлении. Поэтому температура кипения жидкости значительно выше 100°C . Автоклавы применяют для стерилизации хирургических инструментов и др.

И наоборот, уменьшая внешнее давление, мы тем самым понижаем температуру кипения. Откачивая насосом воздух и пары воды из колбы, можно заставить воду кипеть при комнатной температуре. При подъеме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому уменьшается температура кипения. На высоте 7134 м (пик Ленина на Памире) давление приблизительно равно $4 \cdot 10^4$ Па (300 мм рт. ст.). Вода кипит там примерно при 70°C . Сварить мясо в этих условиях невозможно.

У каждой жидкости своя температура кипения, которая зависит от давления насыщенного пара. *Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура кипения* соответствующей жидкости, так как при меньших температурах давление насыщенного пара становится равным атмосферному. Например, при температуре кипения 100°C давление насыщенных паров воды равно 101325 Па (760 мм рт. ст.), а паров ртути — всего лишь 117 Па (0,88 мм рт. ст.). Кипит ртуть при температуре 357°C при нормальном давлении.

Изображенная на рис.1 картина изотерм реального газа описывает процессы испарения и конденсации, т. е. фазовый переход между газообразной и жидкой фазами вещества. На самом деле эта картина является неполной, т. к. из газообразного и жидкого любое вещество может перейти в твердое состояние. При заданной температуре T термодинамическое равновесие между двумя фазами одного и того же вещества возможно лишь при определенном значении давления в системе. Зависимость равновесного давления от температуры называется кривой фазового равновесия. Примером может служить кривая равновесия $p_0(T)$ насыщенного пара и жидкости. Если кривые равновесия между различными фазами данного вещества построить на плоскости (p, T) , то они разбивают эту плоскость на отдельные области, в которых вещество существует в однородном агрегатном состоянии — твердом, жидком или газообразном (рис. 2). Изображенные в координатной системе (p, T) кривые равновесия называются **фазовой диаграммой**.

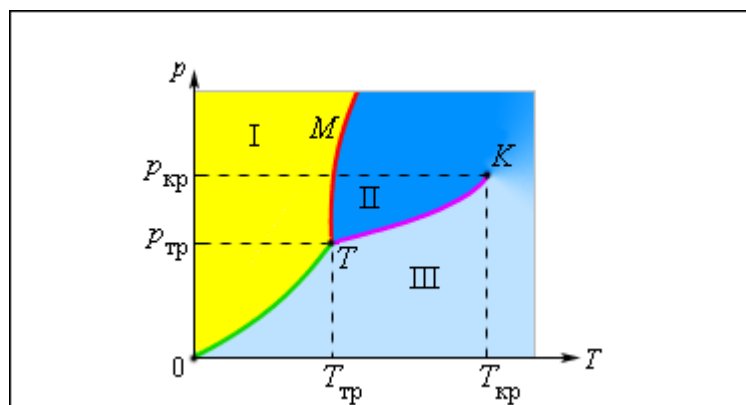


Рисунок 2.

Типичная фазовая диаграмма вещества. К – критическая точка, Т – тройная точка.

Область I – твердое тело, область II – жидкость, область III – газообразное вещество

Кривая 0Т, соответствующая равновесию между твердой и газообразной фазами, называется **кривой сублимации**. Кривая ТК равновесия между жидкостью и паром называется **кривой испарения**, она обрывается в критической точке К. Кривая ТМ равновесия между твердым телом и жидкостью называется **кривой плавления**.

Кривые равновесия сходятся в точке Т, в которой могут сосуществовать в равновесии все три фазы. Эта точка называется **тройной точкой**.

Для многих веществ давление $p_{тр}$ в тройной точке меньше 1 атм ≈ 105 Па. Такие вещества при нагревании при атмосферном давлении плавятся. Например, тройная точка воды имеет координаты $T_{тр} = 273,16$ К, $p_{тр} = 6,02 \cdot 10^2$ Па и используется в качестве опорной для калибровки абсолютной температурной шкалы Кельвина. Существуют, однако, и такие вещества, у которых $p_{тр}$ превышает 1 атм. Так для углекислоты (CO_2) давление $p_{тр} = 5,11$ атм и температура $T_{тр} = 216,5$ К. Поэтому при атмосферном давлении твердая углекислота может существовать только при низкой температуре, а в жидком состоянии при $p = 1$ атм она вообще не существует. В твердом состоянии в равновесии со своим паром при атмосферном давлении углекислота находится при температуре 173 К или -80 °С. Это широко применяемый «сухой лед», который никогда не плавится, а только испаряется (сублимирует).

Водяной пар в атмосфере.

Вода занимает около 70,8% поверхности земного шара. Живые организмы содержат от 50 до 99,7% воды. Образно говоря, живые организмы — это одушевленная вода. В атмосфере находится около 13— 15 тыс. км³ воды в виде капель, кристаллов снега и водяного пара. Атмосферный водяной пар влияет на погоду и климат Земли.

Водяной пар в воздухе, несмотря на огромные поверхности океанов, морей, озер и рек, не является насыщенным. Перемещение воздушных масс приводит к тому, что в одних местах нашей планеты в данный момент испарение воды преобладает над конденсацией, а в других, наоборот, преобладает конденсация. Но в воздухе практически всегда имеется некоторое количество водяного пара.

Содержание водяного пара в воздухе, т.е. его влажность, можно характеризовать несколькими величинами.

Парциальное давление водяного пара.

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Каждый из газов вносит свой вклад в суммарное давление, производимое воздухом на находящиеся в нем тела.

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называют парциальным давлением водяного пара.

Парциальное давление водяного пара принимают за один из показателей влажности воздуха. Его выражают в единицах давления — паскалях или в миллиметрах ртутного столба.

Относительная влажность.

По парциальному давлению водяного пара еще нельзя, судить о том, насколько водяной пар в данных условиях близок к насыщению. А именно от этого зависит интенсивность испарения воды и потеря влаги живыми организмами. Вот почему вводят величину, показывающую, насколько водяной пар при данной температуре близок к насыщению, — *относительную влажность*.

Относительной влажностью воздуха φ называют отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению p_0 насыщенного пара при той же температуре, выраженной в процентах:

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

Психрометр.

Влажность воздуха измеряют с помощью специальных приборов. Мы расскажем об одном из них — *психрометре*.

Психрометр состоит из двух термометров. Резервуар одного из них остается сухим, и он показывает температуру воздуха. Резервуар другого окружен полоской ткани, конец которой опущен в воду. Вода испаряется, и благодаря этому термометр охлаждается. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идет испарение и тем более высокую температуру показывает термометр, окруженный полоской влажной ткани.

При относительной влажности, равной 100%, вода вообще не будет испаряться и показания обоих термометров будут одинаковы. По разности температур этих термометров с помощью специальных таблиц можно определить влажность воздуха.

