

ЛЕКЦИЯ 5

- 1.Испарение и конденсация
- 2.Насыщенный пар, давление насыщенного пара, критическая температура
- 3.Свойства насыщенного пара
- 4.Кипение
- 5.Перегретая жидкость

1.Испарение и конденсация.

Явление перехода вещества в пар называется *парообразованием*.
Парообразование с открытой поверхности называется *испарением*, происходит с поглощением Q при постоянной температуре.

Рассмотрим процесс испарения жидкостей. Так же как диффузия, испарение происходит вследствие непрерывного хаотического движения молекул жидкости. Всякая молекула, движущаяся из глубины жидкости к ее поверхности, испытывает в поверхностном слое действие силы, препятствующей вырыванию молекулы с поверхности жидкости. Чтобы пройти сквозь поверхностный слой, молекула должна обладать достаточной величиной кинетической энергии для совершения работы выхода с поверхности жидкости. Скорости молекул жидкости, как и молекул газа, различны. Жидкость покидают наиболее "быстрые" молекулы, вследствие чего средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается, что ведет к понижению температуры жидкости. Для поддержания постоянной температуры жидкости ей необходимо сообщать энергию извне, например, в виде теплоты.

Количество теплоты Q , необходимое для превращения в пар 1кг жидкости при постоянной температуре, называется *удельной теплотой парообразования*.

$$L = \frac{Q}{m}$$

После того как молекула жидкости переместилась от границы поверхностного слоя на расстояние большее, чем радиус действия молекулярных сил жидкости, она становится молекулой пара. Молекулярные силы, действуют на сравнительно коротких расстояниях (~10нм).

В результате хаотического движения над поверхностью жидкости молекула пара, попадая в сферу действия молекулярных сил, вновь возвращается в жидкость. Этот процесс называется *конденсацией*.

При конденсации пара некоторой массы выделяется столько энергии, сколько затрачивается при испарении жидкости такой же массы.

Испарение жидкости происходит при любой температуре. Интенсивность испарения зависит:

- от рода жидкости
- от температуры
- от площади поверхности
- от скорости воздушного потока.

Если жидкость находится в открытом сосуде, то молекул испаряется больше, чем конденсируется, и масса жидкости уменьшается.

2.Насыщенный пар.

Пусть жидкость находится в замкнутом сосуде, из которого откачан воздух. В начале число молекул, испарившихся из жидкости, растет, но чем больше число молекул пара, тем больше молекул конденсируется.

В случае, если число молекул пара все же увеличивается, пар, находящийся над жидкостью, называется *ненасыщенным*.

В случае, когда число испаряющихся и конденсирующихся за одно и то же время молекул пара одинаково, число молекул пара над жидкостью будет оставаться постоянным.

Такое состояние называют *динамическим равновесием пара и жидкости*.

Пар, находящейся в динамическом равновесии с жидкостью, называется *насыщенным*.

Число молекул, покинувших жидкость за ед.вр.	Число молекул, вернувшихся в жидкость за ед.вр.
100	-20
100	-35
100	-40
100	-100

Давление насыщенного пара.

Рассмотрим, как зависит давление насыщенного пара при неизменной температуре от его объема.

Исследуемый газ помещают в очень прочный прозрачный цилиндр с подвижным поршнем. Так как при сжатии газ нагревается, то для отвода тепла и поддержания температуры газа цилиндр помещают в термостат.

В начале опыта давление газа изменяется в соответствии с законом Бойля-Мариотта. На графике этот момент изображен изотермой 1-2. Но начиная с некоторого момента (т.2) дальнейшее уменьшение объема газа уже не приводит к увеличению давления.

В этот момент можно заметить появление на поверхности стенок цилиндра капелек жидкости. Следовательно, часть газа превратилась в жидкость и теперь в цилиндре находятся одновременно жидкость и газ. При этом газ и жидкость находятся под одинаковым давлением и имеют одинаковую температуру, т.е. газ и жидкость находятся в термодинамическом равновесии. *Поэтому такой газ называют насыщенным паром своей жидкости.*

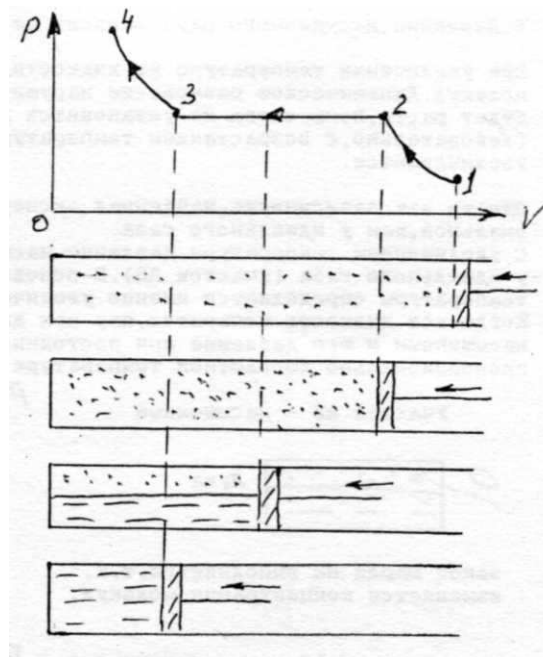
Дальнейшее сжатие газа приводит к уменьшению его массы и к увеличению массы жидкости. Давление при этом остается постоянным (изобара 2-3) Наконец весь газ превратится в жидкость. Попытка сжать жидкость приводит к тому, что давление очень резко возрастает.

1 – 2 – ненасыщенный пар

2 – 3 – насыщенный пар

3 – 4 - жидкость

Переход газа в жидкость с молекулярной точки зрения объясняется тем, что при достаточном сближении молекул вступают в действие силы их взаимного притяжения. Молекулы как бы слипаются, и вещество переходит в жидкое состояние.



ВЫВОДЫ:

1. Описанный опыт по сжижению газа говорит о том, что реальный газ может быть превращен в жидкость, что газ и жидкость – это два состояния (две фазы) одного и того же вещества.

В этом и заключается основное отличие реальных газов от идеального, который всегда, при любых давлениях остается газом.

2. Концентрация молекул, а следовательно, и давление насыщенного пара над испаряющейся жидкостью при $T = const$ не зависят от объема.

3. Давление насыщенного пара зависит от рода жидкости.

Жидкость	Давление нас. пара, кПа	Давление нас. пара, мм.рт.ст	Температура, °С
Вода	1,2	17,5	20
Спирт	3,2	44	
Эфир	38,7	437	

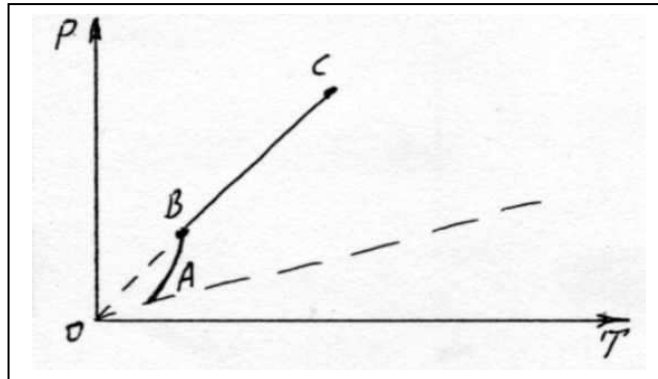
Зависимость давление насыщенного пара от температуры.

При увеличении температуры из жидкости станет испаряться большее число молекул. Динамическое равновесие нарушится. Концентрация молекул пара будет расти, пока снова не установится динамическое равновесие. Следовательно, с возрастанием температуры давление насыщенных паров увеличивается.

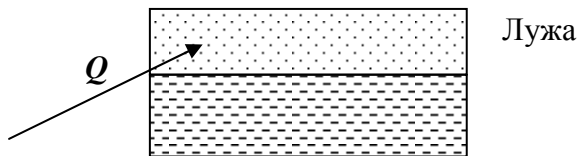
Однако эта зависимость, найденная экспериментально, не является прямо пропорциональной, как у идеального газа.

С увеличением температуры давление насыщенного пара растет быстрее, чем у идеального газа (участок AB). В основном увеличение давления при повышении температуры определяется именно увеличением концентрации.

Когда вся жидкость испарится, пар при дальнейшем нагревании перестанет быть насыщенным и его давление при постоянном объеме будет возрастать прямо пропорционально абсолютной температуре (участок BC).



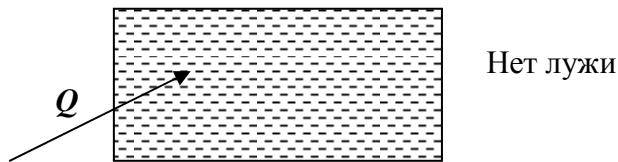
Участок АВ – насыщенный пар



Лужа

Закон Шарля не выполняется, т.к. изменяется концентрация молекул.

Участок ВС – ненасыщенный пар



Нет лужи

Закон Шарля выполняется.

Закон $PV = \frac{m}{M}RT$ применим к насыщенным и ненасыщенным парам, но тем точнее, чем дальше пар от насыщения.

Закон $\frac{PV}{T} = R$ к насыщенным парам неприменим, т.к. изменяется масса газа.

Пар можно перевести из ненасыщенного в насыщенный: уменьшив объем, понизив температуру (потеют стекла, стены в ванной комнате и т.п.).

Из насыщенного в ненасыщенный можно перевести: увеличив объем, повысив температуру.

Критическая температура.

Опыты, аналогичные описанному выше, впервые были проведены в конце XVIII в. голландским ученым ван Марумом. Ван Марум, проводя опыты с аммиаком, обнаружил, что при давлении в 7 атм (1 атм.=10⁵ Па), аммиак переходит в жидкое состояние. После опытов ван Марума многие ученые предпринимали попытки превратить газы в жидкое состояние.

Особенно больших успехов достиг Фарадей. Он первым из ученых стал не только сжижать газ, но и одновременно охлаждать его. Этим способом Фарадей перевел в жидкое состояние большинство из известных в то время газов.

Однако ему не удалось перевести в жидкое состояние - *водород, кислород, азот, окись углерода, метан.*

Эти газы были названы "*вечными газами*".

Анализируя опыты Фарадея, Д.И.Менделеев в 1860г. высказал предположение, что каждое вещество характеризуется строго определенной температурой, выше которой это вещество при любом давлении может находиться только в газообразном состоянии. Эту температуру Менделеев назвал критической температурой.

При $T = T_{кр}$. исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и насыщенным паром.

При $T = T_{кр}$. плотность насыщенного пара и давление насыщенного пара становятся максимальными, а плотность жидкости минимальной.

С ростом температуры уменьшается удельная теплота парообразования L , а при критической температуре она равна нулю.

Если $T > T_{кр}$., то газ нельзя обратить в жидкость при любом давлении.

Таким образом, газ обращается в жидкость, если $T < T_{кр}$. и повышается давление.

Менделеев предположил, что для сжижения "вечных газов" их необходимо охлаждать до температуры, которая была бы ниже критической, а затем сжать.

И действительно, в 1869г. в результате исследований английского ученого Т.Эндрюса предположение подтвердилось.

Уже в 1877г. этим путем были сжижены кислород, азот, углекислый газ, в 1898г. был сжижен водород и, наконец, в 1908г. был получен в жидком состоянии последний - гелий.

Неудача Фарадея была связана с тем, что в то время еще не были известны способы глубокого охлаждения газов.

4. Кипение.

По мере увеличения температуры жидкости интенсивность испарения увеличивается .
Наконец жидкость начинает кипеть.

При кипении по всему объему жидкости образуются пузырьки пара, которые всплывают на поверхность.

Температура кипения при этом остается постоянной.

Выясним условия, при которых начинается кипение.

В жидкости всегда присутствуют растворенные газы.
Пары жидкости, которые также находятся внутри пузырьков, являются насыщенными.

С увеличением температуры давление насыщенных паров возрастает, и пузырьки увеличиваются в размерах.

Под действием выталкивающей силы они всплывают вверх. Достигая свободной поверхности воды, пузырьки лопаются и выбрасывают содержащийся в них пар в воздух. Этот процесс сопровождается шумом.

Пузырек пара может расти, когда давление насыщенного пара внутри превосходит давление в жидкости.

Кипение жидкости начинается при температуре, когда давление насыщенного пара в пузырьках равно внешнему давлению.

Например, для воды при 100°C $p_{н.п.}=10^5\text{ Па}$, $p_{атм}=10^5\text{ Па}$.

Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения.

1. так при давлении в паровом котле $1,6 \cdot 10^6\text{ Па}$ вода не кипит и при температуре 200°C .
2. в медицинских учреждениях кипение воды в герметически закрытых сосудах происходит при повышенном давлении.
Такие сосуды называют автоклавы, применяют их для стерилизации хирургических инструментов и т.п.

Наоборот, уменьшая давление, мы понижаем температуру кипения.

1. откачивая воздух насосом можно заставить кипеть воду при комнатной температуре.
2. при подъеме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому уменьшается температура кипения.

Пик Ленина на Памире имеет высоту 7134 м и там температура кипения составляет 70°C .
Разные жидкости имеют различные температуры кипения.

Самая низкая температура - жидкий гелий - 4,215 К
- водород кипит при 20 К
- кислород - при 90 К
- железо - при 3145 К

Различие температур кипения жидкостей определяется различием в давлении их насыщенных паров.

Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура кипения.

Например, вода - $t_{\text{кип.}}=100^{\circ}\text{C}$, а $P_{\text{н.п.}}=760\text{мм.рт.ст.}$
ртуть - $t_{\text{кип.}}=357^{\circ}\text{C}$, а $P_{\text{н.п.}}=0,88\text{мм.рт.ст.}$

5. Перегретая жидкость.

Пузырьки, образующиеся при кипении жидкости, легче всего возникают на пузырьках воздуха или других газов, обычно присутствующих в жидкости. Такие пузырьки-центры кипения - чаще всего прилипают к стенкам сосуда, поэтому кипение раньше начинается у стенок.

Но если жидкость свободна от газов, то образование в ней пузырьков пара затруднено. Такую жидкость можно перегреть, т.е. нагреть выше температуры кипения без того, чтобы она вскипела.

Если в такую перегретую жидкость ввести ничтожное количество газа или твердых частичек, к поверхности которых прилип воздух, то она мгновенно и очень бурно закипит.

Температура жидкости при этом падает до температуры кипения.