

Доброго времени суток!

- Рассмотреть материал глава 11 §68-70 (<https://s.11klasov.ru/19-geometriya-uchebnik-dlya-10-11klassov-atanasyan-ls-i-dr.html>);
- Написать конспект по материалу (дату, тему, выписать самое важное);
- Просмотреть видео урок <https://interneturok.ru/lesson/physics/10-klass/osnovy-molekulyarno-kineticheskoy-teorii/zavisimost-davleniya-nasyschennogo-para-ot-temperatury-kipenie>
- Презентация <https://present5.com/model-stroeniya-zhidkosti-vlazhnost-vozduxa-poverxnostnoe-natyazhenie-i/>
- Неплохая подборка материала <http://5fan.ru/wievjob.php?id=79392>
- Письменно ответить на контрольные вопросы в конце параграфов

По вопросам можно обращаться по телефону 072-1098278 или hvastov@rambler.ru

Конспект предоставить на проверку после окончания карантина.

Удачи. Не болейте!!!

Тема: Модель строения жидкости. Насыщенные и ненасыщенные пары. Влажность воздуха. Поверхностное натяжение и смачивание.

На этом уроке мы разберём свойства несколько специфичного газа – насыщенного пара. Мы дадим определение этому газу, укажем, чем он принципиально отличается от идеальных газов, рассмотренных нами ранее, и, конкретнее, чем отличается зависимость давления насыщенного газа. Также в этом уроке будет рассмотрен и описан такой процесс, как кипение.

Насыщенный пар

На предыдущих уроках мы ввели понятие идеального газа в качестве модели, в рамках которой справедливы все газовые законы, которые мы изучали. Однако это не означает, что молекулярная физика и, в частности, молекулярно-кинетическая теория ограничивается изучением только идеальных газов. Для реальных газов наши выкладки по теме «основы молекулярно-кинетической теории», конечно же, являются справедливыми. Однако связь параметров реальных газов между собой ожидаемо имеет несколько другой вид, нежели эта связь для идеальных газов.

Рассмотрим такой реальный газ, как насыщенный пар. Напомним, что просто паром по умолчанию называется газообразное состояние некоего вещества (чаще всего, говоря «пар», подразумевают именно водяной пар). Насыщенный же пар означает следующее:

Определение. **Насыщенный пар** – пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. То есть количество молекул жидкости, покидающих жидкость за некий отрезок времени, в среднем равно количеству молекул пара, возвращающихся обратно в жидкость (см. рис. 1). Область насыщенного пара всегда есть над любой поверхностью жидкости. Чтобы создать более широкую область, следует предотвратить утечку молекул пара в окружающую среду (герметично закрыть сосуд).

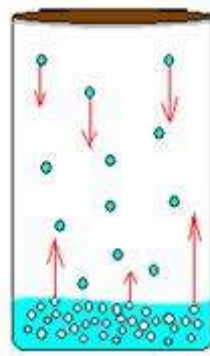


Рис. 1 Динамическое равновесие

Для понимания отличий насыщенного пара от идеального газа нужно представить себе два опыта.

Во-первых, возьмём герметично закрытый сосуд с водой и начнём его нагревать. С увеличением температуры молекулы жидкости будут иметь всё большую кинетическую энергию, и всё большее количество молекул сможет вырваться из жидкости (см. рис. 2), следовательно, будет расти концентрация пара и, следовательно, его давление. Итак, первое положение:

Давление насыщенного пара зависит от температуры

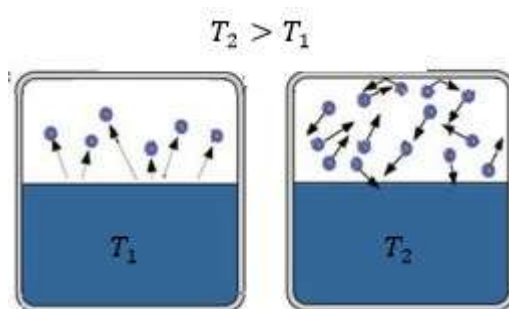


Рис. 2.

Однако, это положение вполне ожидаемо и не столь интересно, как следующее. Если поместить жидкость с её насыщенным паром под подвижный поршень и начать этот поршень опускать, то, несомненно, концентрация насыщенного пара увеличится из-за уменьшения объёма. Однако через некоторое время пар перейдёт с жидкостью к новому динамическому равновесию путём конденсации лишнего количества пара, и давление в конце концов не поменяется. Второе положение теории насыщенного пара:

Давление насыщенного пара не зависит от объёма

Теперь же следует отметить тот факт, что давление насыщенного пара хоть и зависит от температуры, как и идеальный газ, но характер этой зависимости несколько иной. Дело в том, что, как мы знаем из основного уравнения МКТ, давление газа зависит как от температуры, так и от концентрации газа. И поэтому давление насыщенного пара зависит от температуры нелинейно до тех пор, пока увеличивается концентрация пара, то есть пока вся жидкость не испарится. На приведённом ниже графике (рис. 3) показан характер зависимости давления насыщенного пара от температуры,



Рис. 3

причём переход от нелинейного участка к линейному как раз и означает точку испарения всей жидкости. Так как давление насыщенного газа зависит только от температуры, возможно абсолютно однозначно установить, какое будет давление насыщенного пара при заданной температуре. Эти соотношения (а также значения плотности насыщенного пара) занесены в специальную таблицу.

Обратим теперь наше внимание на такой важный физический процесс, как кипение. В восьмом классе уже давалось определение кипению как процессу парообразования более интенсивному, нежели испарение. Теперь же мы несколько дополним это понятие.

2. Кипение

Определение. **Кипение** – процесс парообразования, протекающий по всему объёму жидкости. Каков же механизм кипения? Дело в том, что в воде всегда есть растворённый воздух, а в результате увеличения температуры его растворимость уменьшается, и образуются микропузырьки. Так как дно и стенки сосуда не идеально гладкие, эти пузырьки цепляются за неровности внутренней стороны сосуда. Теперь раздел вода-воздух существует не только у поверхности воды, но и внутри объёма воды, и в пузырьки начинают переходить молекулы воды. Таким образом, внутри пузырьков появляется насыщенный пар. Далее эти пузырьки начинают всплывать, увеличиваясь в объёме и принимая большее количество молекул воды внутрь себя, а у поверхности лопаются, выбрасывая насыщенный пар в окружающую среду (рис. 4).

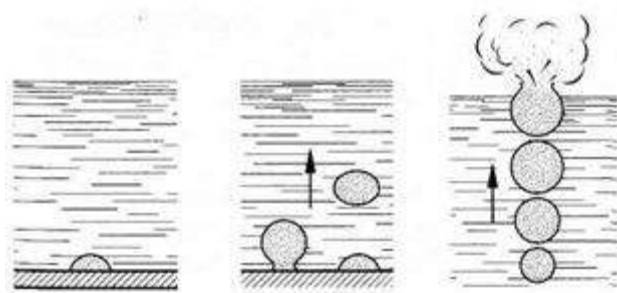


Рис. 4. Процесс кипения ([Источник](#))

Условием же образования и всплытия этих пузырьков является следующее неравенство: давление насыщенного пара должно быть больше или равняться атмосферному давлению.

$$P_{\text{нп}} \geq P_{\text{А}}$$

Таким образом, так как давление насыщенного пара зависит от температуры, температура кипения определяется давлением окружающей среды: чем оно меньше, тем при более низкой температуре закипает жидкость, и наоборот.

Если выделять различные состояния пара, то они будут определяться тем, в каком взаимодействии пар находится со своей жидкостью. Если представить, что некоторая жидкость находится в закрытом сосуде и происходит процесс ее испарения, то рано или поздно этот процесс придет к состоянию, когда испарение в равные промежутки времени будет компенсироваться конденсацией и наступит так называемое динамическое равновесие жидкости со своим паром (рис. 1).

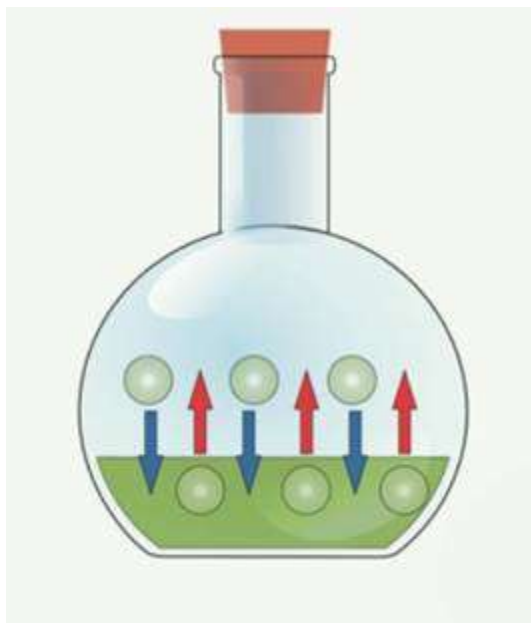


Рис. 1. Насыщенный пар

Определение. Насыщенный пар – это пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью. Если же пар не насыщенный, то такого термодинамического равновесия нет (рис. 2).

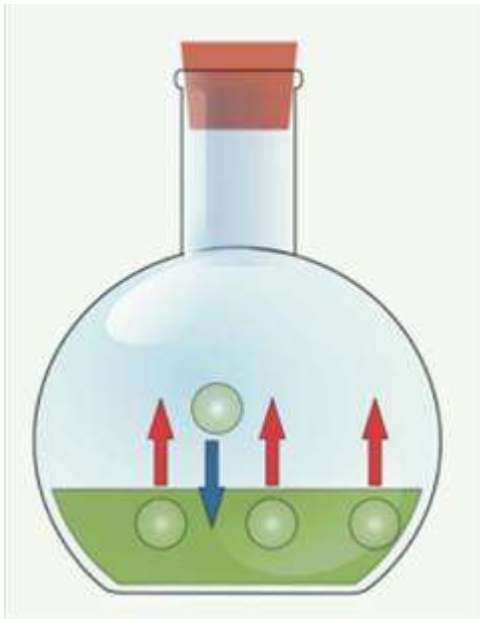


Рис. 2. Ненасыщенный пар

С помощью этих двух понятий мы и будем описывать такую важную характеристику воздуха, как влажность.

Определение. **Влажность воздуха** – величина, указывающая на содержание в воздухе водяного пара.

Возникает вопрос: почему же понятие влажности является важным для рассмотрения и каким образом водяные пары попадают в воздух? Известно, что большую часть поверхности Земли занимает вода (Мировой океан), с поверхности которой непрерывно происходит испарение (рис. 3). Безусловно, в различных климатических зонах интенсивность этого процесса различна, что зависит от среднесуточной температуры, наличия ветров и т. п. Эти факторы обуславливают тот факт, что в определенных местах процесс парообразования воды более интенсивен, чем ее конденсация, а в некоторых – наоборот. В среднем же можно утверждать, что пар, который образуется в воздухе, не является насыщенным, и его свойства необходимо уметь описывать.



Рис. 3. Испарение жидкости ([Источник](#))

Для человека величина влажности является очень важным параметром окружающей среды, т. к. наш организм очень активно реагирует на ее изменения. Например, такой механизм регуляции функционирования организма, как потоотделение, напрямую связан с температурой и влажностью окружающей среды. При высокой влажности процессы испарения влаги с поверхности кожи практически компенсируются процессами ее конденсации и нарушается отвод тепла от организма, что приводит к нарушениям терморегуляции. При низкой влажности процессы испарения влаги преобладают над процессами конденсации и организм теряет слишком много жидкости, что может привести к обезвоживанию.

Величина влажности важна не только для человека и других живых организмов, но и для протекания технологических процессов. Например, из-за известного свойства воды проводить электрический ток ее содержание в воздухе может серьезно влиять на корректную работу большинства электроприборов.

Кроме того, понятие влажности является важнейшим критерием оценивания погодных условий, что всем известно из прогнозов погоды. Стоит отметить, что если сравнивать влажность в различные времена года в привычных для нас климатических условиях, то она выше летом и ниже зимой, что связано, в частности, с интенсивностью процессов испарения при различных температурах.

Абсолютная влажность воздуха

Основными характеристиками влажного воздуха являются:

1. **плотность водяного пара в воздухе;**

2. **относительная влажность воздуха.**

Воздух является составным газом, в нем содержится множество различных газов, в том числе водяной пар. Для оценивания его количества в воздухе необходимо определить, какую массу имеют водяные пары в определенном выделенном объеме – такую величину характеризует плотность. Плотность водяного пара в воздухе называют **абсолютной влажностью**.

Определение. **Абсолютная влажность воздуха** – количество влаги, содержащейся в одном кубическом метре воздуха.

Обозначение **абсолютной влажности**: ρ (как и обыкновенное обозначение плотности).

Единицы измерения **абсолютной влажности**: $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (в СИ) или $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ (для удобства измерения небольшого содержания паров воды в воздухе).

Формула вычисления **абсолютной влажности**:

$$\rho = \frac{m_{\text{пара}}}{V_{\text{воздуха}}}$$

Обозначения:

$m_{\text{пара}}$ – масса пара (воды) в воздухе, кг (в СИ) или г;

$V_{\text{воздуха}}$ – объем воздуха, в котором указанная масса пара содержится, м³.

С одной стороны, абсолютная влажность воздуха является понятной и удобной величиной, т. к. дает представление о конкретном содержании воды в воздухе по массе, с другой стороны, эта величина неудобна с точки зрения восприимчивости влажности живыми организмами. Оказывается, что, например, человек ощущает не массовое содержание воды в воздухе, а именно ее содержание относительно максимально возможного значения.

Относительная влажность воздуха

Для описания такого восприятия введена такая величина, как **относительная влажность**.

Определение. **Относительная влажность воздуха** – величина, показывающая насколько далек пар от насыщения.

Т. е. величина относительной влажности, простыми словами, показывает следующее: если пар далек от насыщения, то влажность низкая, если близок – высокая.

Обозначение относительной влажности: φ .

Единицы измерения относительной влажности: %.

Формула вычисления относительной влажности:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

Обозначения:

ρ – плотность водяного пара (абсолютная влажность), $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (в СИ) или $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$;

$\rho_{\text{н}}$ – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (в СИ) или $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

Конденсационный гигрометр

Как видно из формулы, в ней фигурируют абсолютная влажность, с которой мы уже знакомы, и плотность насыщенного пара при той же температуре. Возникает вопрос, каким образом определять последнюю величину? Для этого существуют специальные приборы. Мы

рассмотрим **конденсационный гигрометр** (рис. 4) – прибор, который служит для определения точки росы.

Определение. Точка росы – температура, при которой пар становится насыщенным.



Рис. 4. Конденсационный гигрометр ([Источник](#))

Внутри емкости прибора наливается легкоиспаряющаяся жидкость, например, эфир, вставляется термометр (6) и с помощью груши (5) через емкость прокачивается воздух. В результате усиленной циркуляции воздуха начинается интенсивное испарение эфира, температура емкости из-за этого понижается и на зеркале (4) выступает роса (капельки сконденсированного пара). В момент появления на зеркале росы с помощью термометра замеряется температура, вот эта температура и является точкой росы.

Что же делать с полученным значением температуры (точки росы)? Существует специальная таблица, в которой занесены данные – какая плотность насыщенного водяного пара соответствует каждой конкретной точке росы. Следует отметить полезный факт, что при увеличении значения точки росы растет и значение соответствующей ей плотности насыщенного пара. Иными словами, чем теплее воздух, тем большее количество влаги он может содержать, и наоборот, чем воздух холоднее, тем максимальное содержание в нем пара меньше.

Волосяной гигрометр

Рассмотрим теперь принцип действия других видов гигрометров, приборов для измерения характеристик влажности (от греч. *hygros* – «влажный» и *metreo* – «измеряю»).

Волосяной гигрометр (рис. 5) – прибор для измерения относительной влажности, в котором в качестве активного элемента выступает волос, например человеческий.

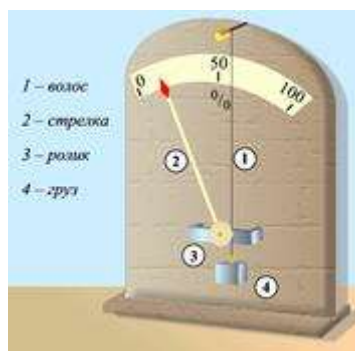


Рис. 5. Волосяной гигрометр

Действие волосного гигрометра основано на свойстве обезжиренного волоса изменять свою длину при изменении влажности воздуха (при увеличении влажности длина волоса увеличивается, при уменьшении – уменьшается), что позволяет измерять относительную влажность. Волос натянут на металлическую рамку. Изменение длины волоса передается стрелке, перемещающейся вдоль шкалы. При этом следует помнить, что Волосяной гигрометр дает не точные значения относительной влажности, и используется преимущественно в бытовых целях.

Психрометр

Более удобен в использовании и точен такой прибор для измерения относительной влажности, как психрометр (от др.-греч. ψυχρός – «холодный») (рис. 6).



Рис. 6. Психрометр

Психрометр состоит из двух термометров, которые закреплены на общей шкале. Один из термометров называется влажным, т. к. он обмотан батистовой тканью, которая погружена в резервуар с водой, расположенный на тыльной стороне прибора. С влажной ткани испаряется вода, что приводит к охлаждению термометра, процесс снижения его температуры длится до достижения этапа, пока пар вблизи влажной ткани не достигнет насыщения и термометр не начнет показывать температуру точки росы. Таким образом, влажный термометр показывает температуру меньше либо равную реальной

температуре окружающей среды. Второй термометр называется сухим и показывает реальную температуру.

На корпусе прибора, как правило, изображена еще так называемая психрометрическая таблица (табл. 2). С помощью этой таблицы по значению температуры, которую показывает сухой термометр, и по разности температур между сухим и влажным термометрами можно определить относительную влажность окружающего воздуха.

Однако даже не имея под рукой такой таблицы, можно примерно определить величину влажности, пользуясь следующим принципом. Если показания обоих термометров близки друг к другу, то испарение воды с влажного практически полностью компенсируется конденсацией, т. е. влажность воздуха высокая. Если, наоборот, разность показаний термометров большая, то испарение с влажной ткани превалирует над конденсацией и воздух сухой, а влажность низкая.

Таблицы характеристик влажности

Обратимся к таблицам, которые позволяют определять характеристики влажности воздуха.

Температура, °C	Давление, мм. рт. ст.	Плотность пара, $\frac{г}{см^3}$
-10	1,95	2,14
-8	2,32	2,54
-6	2,76	2,09
-4	3,28	3,51
-2	3,88	4,13
0	4,58	4,84
2	5,3	5,6
4	6,1	6,4
6	7,0	7,3
8	8,0	8,3
10	9,2	9,4

Табл. 1. Плотность и давление насыщенных водяных паров

Еще раз отметим, что, как указывалось ранее, значение плотности насыщенного пара растет с его температурой, то же самое относится и к давлению насыщенного пара.

Показания сухого термо- метра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометра, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %									
15	100	92	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	93	85	78	71	64	58	52	47	41
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42
29	100	93	86	79	72	65	59	54	49	43
30	100	93	86	79	73	66	60	55	50	44

Табл. 2. Психометрическая таблица

Напомним, что относительная влажность определяется по значению показаний сухого термометра (первый столбец) и разности показаний сухого и влажного (первая строка).

На сегодняшнем уроке мы познакомились с важной характеристикой воздуха – его влажностью. Как мы уже говорили, влажность в холодное время года (зимой) понижается, а в теплое (летом) повышается. Важно уметь регулировать эти явления, например при необходимости повысить влажность располагать в помещении в зимнее время несколько резервуаров с водой, чтобы усилить процессы испарения, однако такой способ будет эффективен только при соответствующей температуре, которая выше, чем на улице.

Список литературы

- 1.Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Молекулярная физика. Термодинамика. – М.: Дрофа, 2010.
- 2.Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И. Физика 10 класс. – М.: Илекса, 2005.
- 3.Касьянов В.А. Физика 10 класс. – М.: Дрофа, 2010.

Дополнительные рекомендованные ссылки на ресурсы сети Интернет

- 1.Physics.ru ([Источник](#)).
- 2.Chemport.ru ([Источник](#)).
- 3.Narod.ru ([Источник](#)).

Домашнее задание

1. Почему альпинисты не могут сварить яйца на высоте?

2. Какие вы можете привести способы остудить горячий чай? Обоснуйте их с точки зрения физики.

3. Почему следует ослаблять газовый напор на конфорке после закипания воды?

4.*Каким образом можно добиться нагревания воды выше ста градусов по Цельсию?