**Относительная влажность воздуха**

Л.А.Логинов, центр образования № 109, г. Москва

Это одна из наиболее сложных тем. Часто ее не любят ни учителя ни ученики. Первые - по причине сложности объяснения, вторые - по причине сложности восприятия. Но если ее поймут и полюбят обе стороны, то выигрыш в учебном процессе будет очевидным, поскольку станет понятной суть многочисленных явлений, встречающихся буквально каждый день: запотевание холодных стекол, сушка белья на открытом воздухе, сырость в подвалах домов и т.д. и т.п. Расскажу о том, как данный раздел изучаем мы.

Начинаем с понятий ненасыщенного и насыщенного паров, динамического равновесия жидкости и пара. Поскольку свойства насыщенного пара демонстрировать в классе с помощью лабораторного оборудования сложно, долго и крайне хлопотно, смотрим соответствующий кинофрагмент. Фильм старый, но ключевые моменты в нем изложены очень доходчиво. Более того, если заранее дать учащимся опорные вопросы, то после просмотра они сами легко на них отвечают.

От чего зависит давление насыщенного пара и от чего не зависит? (Зависит от температуры и не зависит от объема.)

Как зависит давление насыщенного пара от температуры? (Кривая показана ниже, на рис. 1.)

Как соотносится давление насыщенного и ненасыщенного паров? [Давление насыщенного пара при данной температуре всегда больше. – Ред.]

Что произойдет при сжатии насыщенного пара? (Часть его сконденсируется в жидкость, в оставшейся части сохранится прежнее давление - давление насыщенного пара.)

Что произойдет при добавлении жидкости через кран в герметично закрытый сосуд? [Уровень жидкости повысится за счет добавленной части и конденсации части насыщенного пара, объем пара уменьшится, а его давление, не зависящее от объема, останется постоянным. – Ред.]

Ответы как опорный конспект заносим в рабочие тетради. Не забываем про упомянутый выше график, он нам еще пригодится. Вводим понятие абсолютной влажности воздуха, отождествляем его с понятием парциальной плотности паров жидкости, т.е. массы жидкости, содержащейся в единице объема воздуха. Говорим, что гораздо большее практическое значение для человека имеет относительная влажность воздуха. Вводим и это понятие. Причем как чисто физически (отношение парциального давления ненасыщенных паров к давлению насыщенных паров жидкости при той же температуре), так и чисто философски: величина, показывающая, насколько ненасыщенный пар близок к насыщению:

 (1)

Далее объясняем, как и почему от формулы для относительной влажности через отношение давлений можно перейти к формуле для относительной влажности через отношение плотностей:  = ненас /нас

Отмечаем, что на практике удобно пользоваться не относительными единицами при измерении относительной влажности, а процентами. Как перейти к процентам, учащиеся должны догадаться сами. Эти формулы усваиваются легко, как и принцип работы с ними в простых задачах (типа № 623, 624 из сборника А.П.Рымкевича, 1988 г.), поскольку там требуется фактически только умение работать со справочной таблицей зависимости ледяных паров от температуры.

Введение же понятия точки росы и переход к формуле для относительной влажности с использованием точки росы может уже вызывать проблемы. Чтобы их было поменьше, начинаем с рассмотрения графика зависимости давления насыщенного пара от температуры (рис. 1): определяем, где область ненасыщенного пара, а где - область жидкости. Тогда сразу понятно, что кривая - это граница между паром и жидкостью. Различные состояния ненасыщенного пара соответствуют точкам ниже кривой, например точке А.

Сделать пар насыщенным – значит достичь каким-либо образом состояния насыщения, т.е. кривой BC. Проще всего - путями АВ или АС. Но что это означает? АВ - изотермическое сжатие пара, АС - его изобарическое охлаждение, причем по мере протекания обоих процессов насыщение увеличивается. Признак того, что пар насытился, – появление первых капель сконденсировавшейся жидкости, росы. В природе насыщение пара достигается чаще всего именно вторым способом, т.е. изобарическим или почти изобарическим охлаждением. Итак, температура, при которой бывший ненасыщенный пар становится насыщенным, называется точкой росы.

Жизненных примеров насыщения при охлаждении очень много. Это и выпадение росы под утро, и запотевание холодного стекла, если на него подышать, это и образование капель воды на водопроводной трубе с холодной водой в ванной комнате, и сырость в подвалах домов, которая вызвана обычно вовсе не протеканием труб, а именно охлаждением воздуха.

Рассмотрим формулу (1): pненас - давление данного ненасыщенного пара, например в состоянии А, а pнас - значение давления насыщенного пара при той же температуре. Но если мы посмотрим на график, то увидим, что давление ненасыщенного пара в состоянии А численно равно давлению насыщенного пара pнас. р при более низкой температуре (точка С) - в точке росы. Величина давления насыщенного пара при данной температуре pнас. данн соответствует насыщению в точке В. Это позволяет перейти к формуле:

Для классов разного профиля, разумеется, подбираем задачи различных уровней сложности. В гуманитарном и не очень сильном общеобразовательном классе ограничиваемся простыми задачами на применение основных (трех рассмотренных) формул и основных формул с использованием уравнения Клапейрона-Менделеева или газовых законов, не сложнее, чем, например, такая: «В комнате объемом 15 м3 с абсолютно сухим воздухом испарилось из стакана 200 г воды. Какой стала относительная влажность воздуха?» В медико-биологических классах задачи берем посложнее, типа такой: «В закрытой комнате с площадью пола 6 м2 и высотой потолка 3 м относительная влажность воздуха составляла 20 %. Какую массу воды надо дополнительно испарить в этой комнате, чтобы влажность достигла 70 %? Какова максимальная масса воды, которая может дополнительно испариться в комнате?»

Изучая влажность воздуха, мы подразумеваем содержание в воздухе только водяных паров. А ведь в воздухе могут быть и другие пары. Более того, они тоже могут быть и ненасыщенными, и насыщенными, и при определенных условиях могут конденсироваться. Например, имеет право на существование понятие относительная спиртовая влажность.

Помню, как-то раз, 3 мая, т.е. в третий день майских праздников, ехал я в гости к своему институтскому приятелю на троллейбусе. Пассажиров было немного (но все сидячие места были заняты), желающих входить и выходить не было, и троллейбус долгое время ехал мимо остановок, лишь чуть-чуть притормаживая. На улице было прохладно, все форточки и люки в салоне были закрыты. Народ мерно, но с большой амплитудой, покачивался на сиденьях. Казалось, что все смотрят куда-то «в бесконечность». Постепенно оконные стекла запотели. И когда троллейбус резко повернул, меня сильно качнуло к окну и… О боже! От запотевшего стекла исходил устойчивый, но... приятный аромат спирта…

Естественно, я не преминул рассказать об увиденном, вернее, об «унюханном», своим знакомым и ученикам. А потом этот сюжет нашел отражение и в задаче для десятиклассников, которая вошла в наш задачник, составленный для медико-биологических классов:

«В праздничный вечер в воздухе, выдыхаемом людьми, содержатся пары спирта. В такой вечер в троллейбусе, на большом перегоне между остановками, масса паров спирта в воздухе достигла 800 г. Температура воздуха в салоне троллейбуса 20 °С, а оконных стекол - всего 5 °С. Объем воздуха в салоне 22 м3. Будет ли конденсироваться спирт на стеклах? Какова относительная спиртовая влажность воздуха в салоне троллейбуса? Давление насыщенных паров спирта при 20 °С составляет 5,90 кПа, при 5 °С - 2,30 кПа».

Задача не только веселая, но и комплексная, т.к. подразумевает знание и основной формулы для определения относительной влажности, и уравнения Клапейрона-Менделеева, и понятия точки росы, т.е. насыщения пара вследствие охлаждения, поэтому рассмотрим ее решение.

Сразу уясним, что давление воздуха в салоне троллейбуса во всех точках одинаково. Причем не только всего воздуха, но и его составляющих (парциальное давление кислорода, азота, паров спирта и т.д.). И это несмотря на то, что воздух в салоне может иметь разную температуру: вблизи оконных стекол он холодный (будем считать, что 5 °С), а вдали от них - теплый (20 °С).

Рассчитаем парциальное давление паров спирта в салоне, используя уравнение Клапейрона-Менделеева. Для этого, правда, придется принять, что все пары и газы идеальны, следовательно,

где Т - абсолютная температура. Если температура 293 К, т.е. 20 °С, то под m следует понимать массу той части паров спирта, которая имеет именно указанную температуру. Но поскольку масса холодных паров, т.е. находящихся в непосредственной близости от стекол, очень мала, то под m будем понимать массу (0,8 кг) всех паров спирта. По этой же причине объем воздуха будем считать равным 22 м3, т.е. это весь свободный объем салона троллейбуса. Зная, что молярная масса этилового спирта (С2Н5ОН) равна 0,046 кг/моль, а универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/(К Ч моль), произведем расчет:

Рассчитаем относительную спиртовую влажность теплого воздуха в троллейбусе. В качестве давления насыщенных паров возьмем значение при 20 °С, которое составляет 5,90  103 Па. Итак:

Рассчитаем относительную спиртовую влажность холодного воздуха возле оконных стекол. В качестве давления насыщенных паров возьмем значение давления при 5 °С, которое составляет 2,30  103 Па.

Итак:т.е. 83 %. Так как это значение меньше 100 %, то видно, что даже холодные пары спирта, возле стекол, еще не являются насыщенными, и спирт конденсироваться не будет. Но надо заметить, что если бы парциальное давление p паров спирта было бы побольше, то конденсация могла бы и начаться. А для увеличения этого давления необходимо увеличение массы паров спирта в воздухе.

Кстати, эта задача неплохо воспринимается и гуманитариями, поскольку по своей сложности не выходит за рамки дозволенного. О положительных эмоциях учащихся, думаю, говорить не стоит. Ну а для «продления удовольствия» можно ученикам дать для домашнего решения задачу, аналогичную приведенной, но с другим вопросом: «При какой массе паров спирта в троллейбусе спирт все-таки будет конденсироваться на стеклах?» Как видим, эта задача - обратная предыдущей: по заданной влажности (100 %) и следовательно, парциальному давлению паров спирта рассчитать их массу.

С учащимися физико-математических классов и в общеобразовательном сильном классе можно рассмотреть задачи на анализ возможности простого понижения давления ненасыщенных паров при понижении температуры типа: «В герметично закрытом сосуде, содержащем только воздух и водяные пары при температуре 25 °С, влажность воздуха составляет 80 %. Каким будет парциальное давление водяных паров после охлаждения сосуда и его содержимого до 5 °С? Давление насыщенных водяных паров при 25 °С составляет 3,10 кПа, а при 5 °С - 0,88 кПа».

Рассмотрим решение и этой задачи. Итак, для первого состояния водяных паров Т1 = 298 К, 1 - относительная влажность воздуха при этой температуре, pнас1 = 3,10  103 Па, p1 - парциальное давление ненасыщенного водяного пара, которое надо будет выразить через pнас1. Соответственно для второго состояния: Т2 = 278 К, pнас2 = 0,88  103 Па, p2 - парциальное давление водяного пара.

Так как

то

и, по закону Шарля:

Отсюда:

Подставим числа и получим:

Теоретически рассчитанное p2 оказалось больше pнас2, чего на самом деле быть не может. Следовательно, часть паров при охлаждении сконденсируется, а оставшаяся часть будет иметь давление pнас2, максимально допустимое при данной температуре. Итак, давление водяных паров при 5 °С составляет 0,88 кПа, т.е. эти пары насыщены.

Можно еще рассмотреть механизм явления, описанного в задаче, с помощью графиков, отображающих закон Шарля, - изохор, исходящих из начала координат (рис. 2). Изохорное охлаждение - это движение по изохоре из состояния 1 в состояние 2.

Но если сопоставить это с графиком зависимости давления насыщенного пара от температуры (рис. 3), то окажется, что состояние 2 находится за пределами «дозволенного», в области жидкости. Поэтому охлаждение ненасыщенного пара будет идти из состояния 1 только до пересечения с

кривой давления насыщенного

пара (точка В на графике), а далее - по самой кривой, в результате чего пар окажется в состоянии 2' при давлении рнас2.

Важен также вопрос об определении относительной влажности на практике с помощью приборов - гигрометров. Чаще всего встречается, конечно же, гигрометр психрометрический – психрометр. Название это греческого происхождения, ведь  [психрос] означает холодный. Кстати, гуманитариев хорошо бы и самих спросить о происхождении слова. В основе работы психрометра лежит явление аспирации. Пусть учащиеся сами догадаются, что означает слово аспирация, по однокоренным словам. Название лекарства «аспирин» всем отлично известно, а его основное назначение - снятие жара, т.е. отведение тепла при испарении. Ведь недаром человек с повышенной температурой тела, принявший аспирин, сначала обильно потеет, после чего ему становится легче. (Как видите, этим лингвистическим моментом мы польстим и будущим гуманитариям, и будущим медикам. С отведением тепла при испарении можно привести и еще один пример: перед инъекцией лекарства соответствующее место протирают спиртом, после чего место чувствует холод - испаряющийся спирт отнимает тепло. Впрочем, можно обойтись и без укола: просто налить немного спирта или эфира на ладонь и подождать.)

Скорость аспирации зависит от относительной влажности воздуха. Но как? Пусть учащиеся это тоже решат самостоятельно, только им надо для этого привести простой житейский пример: белье, сохнущее на веревке в сухую и в дождливую погоду. Дети уже по опыту знают, что скорость высыхания белья определяется не столько температурой воздуха, сколько его влажностью. В холодное осеннее время белье может высохнуть и быстрее, чем летом, если воздух сухой (влажность 30-40 %), а летом - очень влажный (80-90 %). Итак, чем меньше влажность воздуха, тем легче влаге испаряться.

В психрометре имеются два термометра. Один - обычный, его называют сухим. Он измеряет температуру окружающего воздуха. На спиртовую колбу другого термометра одним своим концом надет тряпочный трубчатый фитиль. Чтобы фитиль постоянно был влажным, его второй конец опущен в колбочку с водой. Таким образом, другой термометр показывает температуру не воздуха, а влажного фитиля, отсюда и название увлажненный термометр. Чем меньше влажность воздуха, тем интенсивнее испаряется влага из фитиля, тем большее количество теплоты в единицу времени отводится от спиртовой колбы увлажненного термометра, тем меньше его показания, следовательно, тем больше разность показаний сухого и увлажненного термометров.

Зная показания сухого и определив разность с показаниями увлажненного термометра, по специальной таблице (кстати, имеющейся на лицевой стороне психрометра), на пересечении соответствующих строки и столбца, находят значение относительной влажности. Для наглядности сначала учитель весь процесс определения влажности показывает сам, а затем дает три психрометра на каждый ряд для самостоятельной работы. Как показывает опыт, принцип работы с психрометром ребята запоминают хорошо, по крайней мере до выпускных экзаменов в 11-м классе.

В медико-биологических классах надо остановиться еще на влиянии влажности воздуха на самочувствие человека и на состояние его отдельных органов. Человек чувствует себя комфортно при влажности от 40 до 60 %, причем максимально допустимое значение, при котором человек чувствует себя еще нормально, уменьшается с ростом температуры (см. таблицу).

Видно, что высокую температуру легче переносить при сухом воздухе. Поэтому 40 °С в сухой пустыне могут не так сильно изнурять, как 30 °С в городе после ливня, когда влажность доходит до 70 %. Это и понятно. Чтобы не перегреться, организму в жару надо бы интенсивно потеть, но при высокой влажности пот не будет успевать высыхать, а будет, как говорят, лить ручьем, что не даст спасительного охлаждения тела.

Низкая влажность воздуха в жарких странах используется и в медицинских целях. В частности, для лечения почек, когда требуется ослабить нагрузку на них. При высокой температуре воздуха и низкой влажности человек, сильно потея, выводит влагу из организма большей частью не через почки, а через кожу. Так что после такой процедуры остается только принять душ.