

Группа 12. Физика

Дата: 26.10.2021

Уроки № 33, 34

Тип урока: комбинированный урок

Темы уроков:

Насыщенный пар. Давление насыщенного пара.

Ненасыщенный пар.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Кипение. Влажность воздуха. Абсолютная и относительная влажность.

Задание:

Ознакомиться с текстом по теме урока. Написать в тетради краткий конспект. Ответить на контрольные вопросы.

План конспекта:

1. Испарение и конденсация
2. Насыщенный пар
3. Динамическое равновесие
4. Давление насыщенного пара
5. Зависимость давления насыщенного пара от температуры
6. Кипение
7. Водяной пар в атмосфере
8. Парциальное давление водяного пара
9. Относительная влажность и абсолютная влажность
10. Психрометр
11. Значение влажности

Испарение и конденсация.

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

Запомни

Процесс превращения жидкости в пар называется **испарением**.

При этом процессе число молекул, покидающих жидкость за определённый промежуток времени, больше числа молекул, возвращающихся в неё.

ИНТЕРЕСНО

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

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 идёт испарение.

При испарении жидкость покидают более быстрые молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия молекул жидкости уменьшается.

ИНТЕРЕСНО

Смочив руку какой-нибудь быстро испаряющейся жидкостью (например, бензином или ацетоном), вы тут же почувствуете сильное охлаждение смоченного места. Охлаждение этого места усилится, если на руку подуть.

Процесс испарения происходит со свободной поверхности жидкости. Если лишить жидкость возможности испаряться, то охлаждение её будет происходить гораздо медленнее.

ИНТЕРЕСНО

Вспомните, как долго остывает жирный бульон. Слой жира на его поверхности мешает выходу быстрых молекул воды. Жидкость почти не испаряется, и её температура падает медленно (сам жир испаряется крайне медленно, так как чего большие молекулы более прочно сцеплены друг с другом, чем молекулы воды).

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.

Запомни

Процесс превращения пара в жидкость называется **конденсацией**.

При этом процессе число молекул, возвращающихся в жидкость за определённый промежуток времени, больше числа молекул, покидающих её.



Обсудите с товарищем, как можно ускорить процессы испарения жидкости и конденсации пара.

Как и почему изменяется температура поверхности, на которой происходит конденсация пара?

Насыщенный пар. Если сосуд с жидкостью плотно закрыть, то сначала количество жидкости уменьшится, а затем будет оставаться постоянным. При неизменной температуре система жидкость—пар придёт в состояние теплового равновесия и будет находиться в нём 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.

Запомни

Динамическое равновесие — это состояние, при котором число молекул, покидающих поверхность жидкости за некоторый промежуток времени, будет 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 за время, равное 1 с (на 1 см^2 площади поверхности).

Запомни

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

Согласно этому определению в данном объёме при данной температуре не может находиться большее количество пара.

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

Давление насыщенного пара

Как вы думаете, что будет происходить с насыщенным паром, если уменьшить занимаемый им объём: например, если сжимать пар, находящийся в равновесии с жидкостью в цилиндре под поршнем, поддерживая температуру содержимого цилиндра постоянной?

При сжатии пара равновесие начнёт нарушаться. Плотность пара в первый момент немного увеличится, и из газа в жидкость начнёт 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 прежних своих значений. Следовательно,

Важно

концентрация молекул насыщенного пара при постоянной температуре не зависит от его объёма.

Так как давление пропорционально концентрации молекул ($p = nkT$), то из этого определения следует, что

Важно

давление насыщенного пара не зависит от занимаемого им объёма.

Запомни

Давление $p_{н. п}$ пара, при котором жидкость находится в равновесии со своим паром, называют **давлением насыщенного пара**.

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

Отметим ещё один важный факт.

Важно

Газовые законы для насыщенного пара несправедливы (при любом объёме при постоянной температуре давление насыщенного пара одинаково). В то же время состояние насыщенного пара достаточно точно описывается уравнением Менделеева-Клапейрона.

Ненасыщенный пар

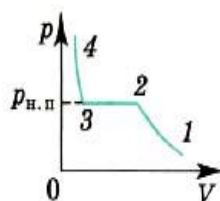


Рис. 11.1

Запомни

Если пар постепенно сжимают при постоянной температуре, а превращение его в жидкость не происходит, то такой пар называют **ненасыщенным**.

При уменьшении объёма (рис. 11.1) давление ненасыщенного пара увеличивается (участок 1—2) подобно тому, как изменяется давление при уменьшении объёма идеального газа. При определённом объёме пар становится насыщенным, и при

дальнейшем его сжатии происходит превращение его в жидкость (участок 2—3). В этом случае над жидкостью уже будет находиться насыщенный пар.

Как только весь пар превратится в жидкость, дальнейшее уменьшение объёма вызовет резкое увеличение давления (жидкость малосжимаема).

Однако пар превращается в жидкость не при любой температуре. Если температура выше некоторого значения, то, как бы мы ни сжимали газ, он никогда не превратится в жидкость.



Предположите, как ведут себя молекулы пара и жидкости на разных участках кривой (см. рис. 11.1).

Запомни

Максимальная температура, при которой пар ещё может превратиться в жидкость, называется **критической температурой**.

Каждому веществу соответствует своя критическая температура, у гелия $T_{кр} = 4 \text{ К}$, у азота $T_{кр} = 126 \text{ К}$.

Запомни

Состояние вещества при температуре выше критической называется **газом**; при температуре ниже критической, когда у пара есть возможность превратиться в жидкость, — **паром**.

Свойства насыщенного и ненасыщенного пара различны.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Состояние насыщенного пара, как показывает опыт, приближённо описывается уравнением состояния идеального газа (10.4), а его давление определяется формулой

$$p_{н. п} = nkT. \quad (11.1)$$

С ростом температуры давление растёт.

Важно

Так как давление насыщенного пара не зависит от объёма, то, следовательно, оно зависит только от температуры.

Однако зависимость давления $p_{н. п}$ от температуры T , найденная экспериментально, не является прямо пропорциональной, как у идеального газа при постоянном объёме. С увеличением температуры давление реального насыщенного пара растёт быстрее, чем давление идеального газа (рис. 11.2, участок кривой АВ). Это становится очевидным, если провести изохоры идеального газа через точки А и В (штриховые прямые). Почему это происходит?

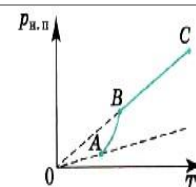


Рис. 11.2

При нагревании жидкости в закрытом сосуде часть жидкости превращается в пар. В результате согласно формуле (11.1)

Важно

давление насыщенного пара растёт не только вследствие повышения температуры жидкости, но и вследствие увеличения концентрации молекул (плотности) пара.

В основном увеличение давления при повышении температуры определяется именно увеличением концентрации. Главное различие в поведении идеального газа и насыщенного пара состоит в том, что

Важно

при изменении температуры пара в закрытом сосуде (или при изменении объёма при постоянной температуре) изменяется масса пара.



Почему составляются таблицы зависимости давления насыщенного пара от температуры и нет таблиц зависимости давления газа от температуры?

Жидкость частично превращается в пар, или, напротив, пар частично конденсируется. С идеальным газом ничего подобного не происходит.

Когда вся жидкость испарится, пар при дальнейшем нагревании перестанет быть насыщенным и его давление при постоянном объёме будет возрастать прямо пропорционально абсолютной температуре (см. рис. 11.2, участок кривой ВС).

Кипение. По мере увеличения температуры жидкости интенсивность испарения увеличивается. Наконец, жидкость начинает кипеть. При кипении по всему объёму жидкости образуются быстро растущие пузырьки пара, которые всплывают на поверхность.

Запомни

Кипение — это процесс парообразования, происходящий по всему объёму жидкости при температуре кипения.



Понаблюдайте внимательно за процессом нагрева, закипания и кипения воды в чайнике. Вы обнаружите, что перед закипанием чайник почти перестаёт шуметь.



При каких условиях начинается кипение?

На что расходуется при кипении подводимое к жидкости тепло с точки зрения молекулярно-кинетической теории?

Температура кипения жидкости остаётся постоянной. Это происходит потому, что вся подводимая к жидкости энергия расходуется на превращение её в пар.

В жидкости всегда присутствуют растворённые газы, выделяющиеся на дне и стенках сосуда, а также на взвешенных в жидкости пылинках, которые являются центрами

парообразования. Пары жидкости, находящиеся 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 создаёт характерный шум. Когда жидкость достаточно прогреется, пузырьки перестанут захлопываться и всплывут на поверхность. Жидкость закипит.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры объясняет, почему температура кипения жидкости зависит от давления на её поверхность. Пузырёк 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.

Обратим внимание на то, что

Важно

испарение жидкости происходит и при температурах, меньших температуры кипения, но только с поверхности жидкости, при кипении же образование пара происходит по всему объёму жидкости.

Кипение начинается при температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках сравнивается и становится чуть больше давления в жидкости.

Важно

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 (рис. 11.3) кипение воды также происходит при повышенном давлении. Поэтому температура кипения жидкости значительно выше 100°C . Автоклавы применяют, например, для стерилизации хирургических инструментов, ускорения приготовления пищи (скороварка), консервации пищи, проведения химических реакций.

И наоборот,

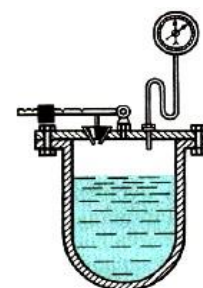


Рис. 11.3

Важно

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 подъёме в горы атмосферное давление уменьшается, поэтому уменьшается температура кипения. На высоте 7134 м (пик Ленина на Памире) давление приближённо равно $4 \cdot 10^4$ Па (300 мм рт. ст.). Вода кипит там примерно при 70 °С. Сварить мясо в этих условиях невозможно.

У каждой жидкости своя температура кипения, которая зависит от свойств жидкости. При одной и той же температуре давление насыщенного пара разных жидкостей различно.

Например, при температуре 100 °С давление насыщенных паров воды равно 101 325 Па (760 мм рт. ст.), а паров ртути — всего лишь 117 Па (0,88 мм рт. ст.). Так как кипение происходит при той же температуре, при которой давление насыщенного пара равно внешнему давлению, то вода при 100 °С закипает, а ртуть нет. Кипит ртуть при температуре 357 °С при нормальном давлении.

Влажность воздуха

Вспомните, что такое пар и каковы его основные свойства.

Можно ли считать воздух газом?

Применимы ли законы идеального газа для воздуха?

ИНТЕРЕСНО

Вода занимает около 70,8% поверхности земного шара. Живые организмы содержат от 50 до 99,7% воды. Образно говоря, живые организмы — это одушевлённая 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 атмосфере. Водяной пар в воздухе, несмотря на огромные поверхности океанов, морей, озёр и рек, далеко не всегда 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.

Запомни

Плотность водяного пара в воздухе называется **абсолютной влажностью**.

Абсолютная влажность выражается, следовательно, в килограммах на метр кубический (кг/м³).

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 нём тела.

Запомни

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 миллиметрах ртутного столба.



Подумайте, что определяет парциальное давление одного из компонент смеси газов в данном сосуде.

Так как воздух представляет собой смесь газов, то атмосферное давление определяется суммой парциальных давлений всех компонент сухого воздуха (кислорода, азота, углекислого газа и т. д.) и водяного пара.

Относительная влажность. По парциальному давлению водяного пара и абсолютной влажности ещё 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*.

Запомни

Относительной влажностью воздуха называют отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению $p_{н. п}$ насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{p}{p_{н. п}} \cdot 100 \% . \quad (11.2)$$

Относительная влажность воздуха обычно меньше 100 %.

При понижении температуры парциальное давление паров воды в воздухе может стать равным давлению насыщенного пара. Пар начинает конденсироваться, и выпадает роса.

Запомни

Температура, при которой водяной пар становится насыщенным, называется **точкой росы**.

По точке росы можно определить относительную влажность воздуха.

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

Психрометр состоит из двух термометров (рис. 11.4). Резервуар одного из них остаётся сухим, и он показывает температуру воздуха. Резервуар другого окружён полоской ткани, конец которой опущен в воду. Вода испаряется, и благодаря этому термометр охлаждается. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идёт испарение и температура, показываемая термометром, окружённым влажной тканью, ближе к температуре, показываемой сухим термометром.

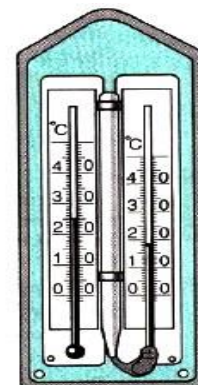


Рис. 11.4

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.

Значение влажности. От влажности зависит интенсивность испарения влаги с поверхности кожи человека. А испарение влаги имеет большое значение для поддержания температуры тела постоянной. В космических кораблях поддерживается наиболее благоприятная для человека относительная влажность воздуха (40—60%).



Как вы думаете, при каких условиях выпадает роса? Почему перед дождливым днём вечером на траве нет росы?



Повесьте в классной комнате психрометр и наблюдайте за изменением влажности. Постройте график изменения влажности на протяжении учебного дня. Объясните, чем определяется это изменение.

Очень важно знать влажность в метеорологии — в связи с предсказанием погоды. Хотя относительное количество водяного пара в атмосфере сравнительно невелико (около 1%), роль его в атмосферных явлениях значительна. Конденсация водяного пара приводит к образованию облаков и последующему выпадению осадков. При этом выделяется большое количество теплоты. И наоборот, испарение воды сопровождается поглощением теплоты.

В ткацком, кондитерском и других производствах для нормального течения процесса необходима определённая влажность.

Очень важно соблюдение режима влажности на производстве при изготовлении электронных схем и приборов, в нанотехнологии.

Хранение произведений искусства и книг требует поддержания влажности воздуха на необходимом уровне. При большой влажности холсты на стенах могут провиснуть, что приведёт к повреждению красочного слоя. Поэтому в музеях на стенах вы можете видеть психрометры.

Контрольные вопросы:

1. Почему давление насыщенного пара не зависит от его объёма?
2. Почему температура кипения возрастает с увеличением давления?
3. Почему для кипения существенно повышение давления насыщенного пара в пузырьках, а не повышение давления имеющегося в них воздуха?
4. Как заставить закипеть жидкость, охлаждая сосуд?
5. Что называется относительной влажностью воздуха?
6. Определяется ли разность показаний термометров психрометра только относительной влажностью или, кроме того, зависит от конструкции прибора?
7. Почему при высокой влажности в жаркий день ухудшается самочувствие людей?
8. Какой процесс лежит в основе образования облаков и тумана?

Литература:

Мякишев Г. Я. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. М., 2010. §70 упр. 1-3; §71 упр. 1-3; §72 упр. 1-2