

Насыщенный и ненасыщенный
пар. Влажность воздуха.



Насыщенные и ненасыщенные пары. Когда свободная поверхность жидкости в сосуде граничит с атмосферой, то испарение преобладает над конденсацией и уровень жидкости с течением времени понижается. Происходит это потому, что движущийся воздух уносит пар и уменьшает его плотность над поверхностью жидкости.

Опыт показывает, что уровень жидкости в герметически закрытом сосуде со временем не меняется. Это означает, что в таком сосуде процесс испарения жидкости полностью компенсируется с конденсацией пара, т. е. сколько молекул вылетает из жидкости, столько же в нее возвращается. Иначе говоря, в этом случае число молекул как в жидкости, так и в паре над ней остается неизменным, хотя между жидкостью и паром происходит непрерывный обмен молекулами. Такое равновесие между жидкостью и ее паром называют *динамическим*.

Пар, который находится в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется **насыщенным паром**. Пар, который находится над поверхностью жидкости, когда испарение преобладает над конденсацией, и пар при отсутствии жидкости называется **ненасыщенным паром**.

Чтобы проверить, зависят ли плотность и давление насыщенного пара от рода вещества, проведем такой опыт. Возьмем одинаковые закрытые колбы с водой, спиртом и эфиром, соединенные с манометрами (рис. 43.1). Кроме воздуха, давление в колбах будут создавать и насыщенные пары налитых жидкостей. Оказывается, что наибольшее давление будет в колбе с эфиром, а наименьшее — в колбе с водой, т. е. большее давление создает насыщенный пар той жидкости, которая быстрее испаряется. Такого рода опыты показали следующее: *чем меньше удельная теплота парообразования жидкости, тем быстрее она испаряется и тем больше давление и концентрация ее паров (при одинаковой температуре различных жидкостей)*.

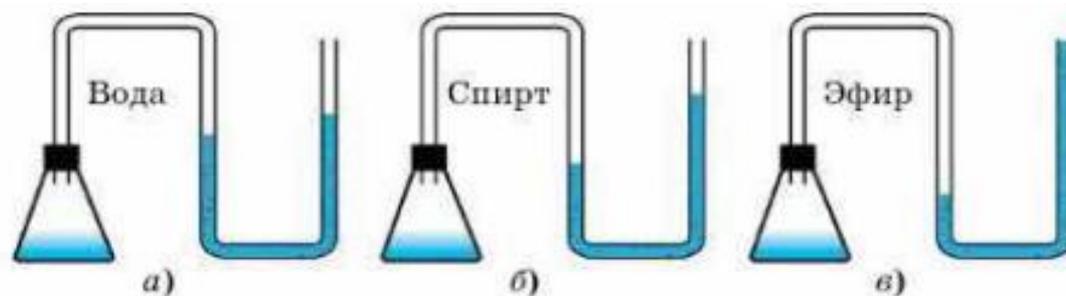


Рис. 43.1

Свойства насыщенных паров. Выясним поведение насыщенного пара при изохорическом процессе. Для этого возьмем герметически закрытый сосуд с манометром. Перед тем как закрыть сосуд, нальем в него жидкость и затем откачаем воздух. Пространство над жидкостью будет заполнено только ее парами. Поместив сосуд в водяную ванну (рис. 43.2), будем нагревать его и записывать температуру и давление в нем насыщенного пара. Закончив нагревание, начнем охлаждать сосуд и снова записывать температуру и давление пара в нем. Сравнив показания манометра при одинаковых температурах, мы увидим, что они одинаковы. Это доказывает, что *давление и плотность насыщенного пара однозначно определяются его температурой.*

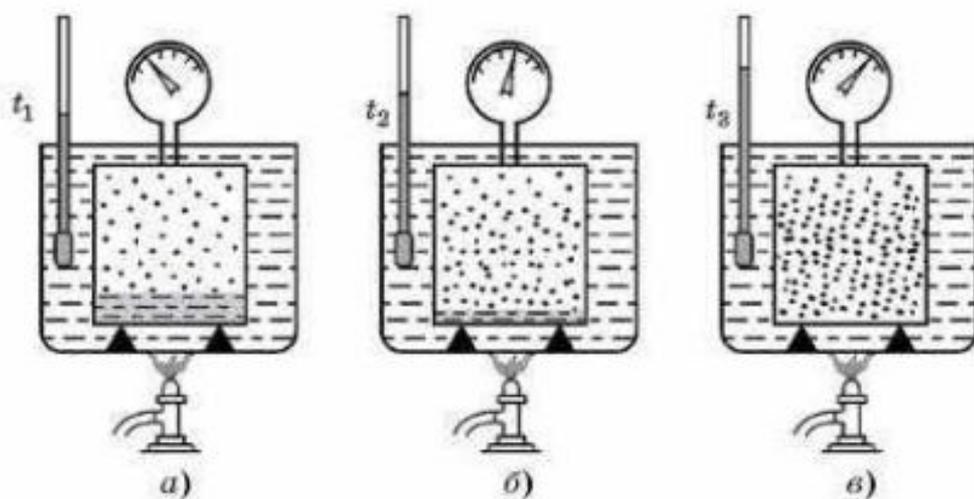


Рис. 43.2

Давление насыщенного пара зависит от его природы и быстро возрастает при повышении температуры. Если во время опыта наблюдать за уровнем жидкости в сосуде, то будет видно, что он при нагревании понижается, а при охлаждении повышается. Значит, масса и плотность пара при нагревании возрастают, а при охлаждении убывают. На основании изложенного делаем вывод, что давление насыщенного пара при нагревании увеличивается по двум причинам: во-первых, вследствие увеличения кинетической энергии поступательного движения молекул пара и, во-вторых, из-за увеличения числа молекул в единице объема пара, т. е. из-за увеличения его плотности.

При изохорическом нагревании идеального газа давление увеличивается только по первой причине, поскольку масса и плотность газа остаются постоянными. На рисунке 43.3 изображен типичный график зависимости давления насыщенного пара от температуры (кривая *a*), а ниже для сравнения показан график изохорического процесса для идеального газа, имеющего при 0°C такое же давление, как и пар (прямая *b*).

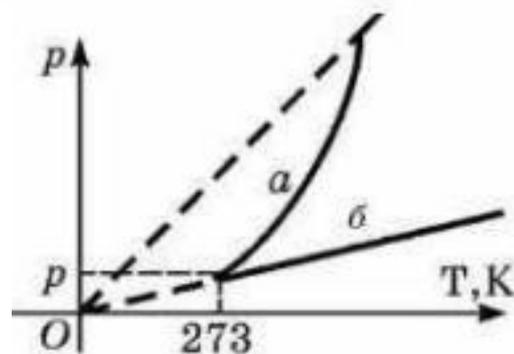


Рис. 43.3

Из приведенных опытов следует, что *закон Шарля не применим к насыщенным парам*. В основном это объясняется тем, что масса насыщенного пара при изохорическом процессе изменяется.

Рассмотрим теперь изотермический процесс. Для этого воспользуемся сосудом цилиндрической формы с небольшим количеством жидкости, устроенным так же, как и в предыдущем опыте, но с подвижным поршнем (рис. 43.4, а). Если перемещать поршень вниз или вверх (рис. 43.4, б, в), то можно заметить, что пока в сосуде остается жидкость, давление пара остается постоянным. Это означает, что *при постоянной температуре давление насыщенного пара не зависит от объема*. Следовательно, *закону Бойля — Мариотта насыщенный пар не подчиняется*.

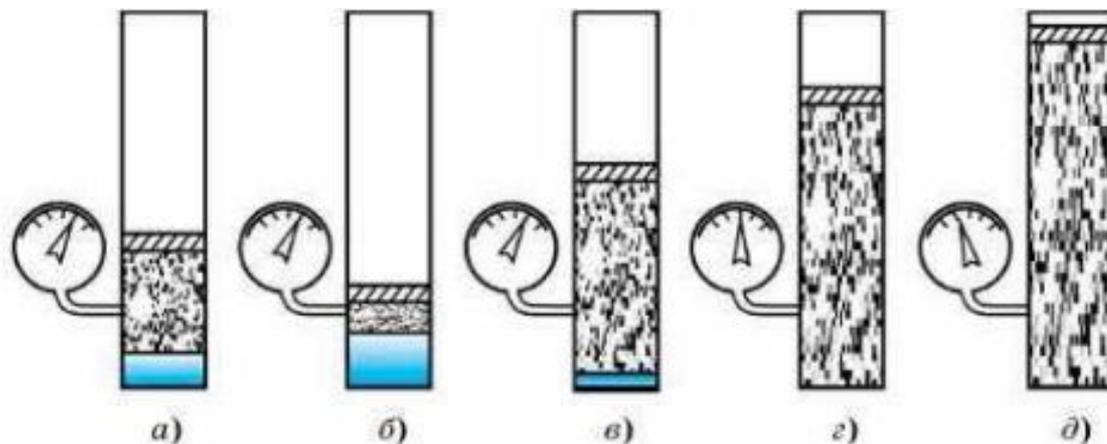


Рис. 43.4

Наблюдения за уровнем жидкости в сосуде показывают, что *при изотермическом расширении масса насыщенного пара возрастает, а при сжатии — убывает*. Учитывая, что давление пара при этом остается неизменным, можно сделать следующие **выводы**:

1. При изотермическом расширении испаряется ровно столько жидкости, сколько нужно для заполнения насыщенным паром прироста объема сосуда.

2. При изотермическом сжатии конденсируется ровно столько насыщенного пара, сколько его было в отнятом у пара объеме.

3. Плотность насыщенного пара при изотермическом процессе не изменяется.

4. Давление и плотность насыщенного пара зависят только от температуры и рода вещества.

Из всего изложенного следует, что законы для идеального газа к насыщенным парам неприменимы. Объясняется это в основном тем, что при любом процессе, происходящем с насыщенным паром, масса пара изменяется.

Свойства ненасыщенных паров.

Свойства ненасыщенных паров. Если нагревать сосуд с жидкостью, изображенный на рис. 43.2, до тех пор, пока жидкость в нем не исчезнет (рис. 43.2, *в*), то пар станет ненасыщенным. Его плотность при дальнейшем нагревании остается постоянной и давление будет уже не так быстро возрастать с увеличением температуры (рис. 43.3, верхняя часть кривой *а*). Однако пока пар недалек от насыщения, влияние взаимодействия молекул все же заметно, и только при значительном нагревании ненасыщенный пар начнет подчиняться закону Шарля.

При изотермическом расширении (рис. 43.4, *г*, *д*), описанном выше, явно видно изменение давления пара, когда он становится ненасыщенным. Плотность ненасыщенного пара близка к плотности насыщенного, но велико влияние взаимодействия молекул пара и их собственного объема. При этом зависимость давления пара от его объема расходится с законом Бойля — Мариотта. При малых плотностях ненасыщенный пар подчиняется закону Бойля — Мариотта. *Следовательно, к ненасыщенному пару можно применить законы для идеального газа лишь в тех случаях, когда пар далек от насыщения.*

Анализируя полученные выводы, легко установить, что насыщенный пар можно превратить в ненасыщенный — либо изохорическим нагреванием, либо изотермическим расширением, либо одновременно и нагреванием, и расширением. Наоборот, ненасыщенный пар всегда можно превратить в насыщенный — либо изохорическим охлаждением, либо изотермическим сжатием, либо одновременно и охлаждением, и сжатием.

Опыт показывает, что если пар не соприкасается с жидкостью, его можно охладить ниже температуры, при которой он становится насыщенным, но жидкость при этом еще не образуется. Такой пар называется *пересыщенным*. Объясняется это тем, что для превращения пара в жидкость нужны *центры конденсации*, которые могли бы стать зародышами капелек жидкости. Ими обычно служат пылинки или ионы: они притягивают к себе молекулы пара, образуя мельчайшие капельки, которые служат центрами дальнейшей конденсации.

Оказывается, что собственный объем молекул пара практически всегда ничтожно мал по сравнению с объемом, занятым паром. Поэтому если в пространстве находится пар какой-либо жидкости (даже и насыщенный), то это не мешает испаряться в нем другой жидкости. Общее давление в этом случае равно сумме давлений паров обеих жидкостей.

Относительная влажность воздуха. Величина, характеризующая содержание водяных паров в различных частях атмосферы Земли, называется **влажностью воздуха**. Для количественной оценки влажности воздуха используют *абсолютную* или *относительную влажность*. Абсолютную влажность воздуха измеряют плотностью водяного пара ρ_a , находящегося в воздухе, или его давлением p_a . Более ясное представление о степени влажности воздуха дает относительная влажность ϕ , которую измеряют числом, показывающим, сколько процентов составляет абсолютная влажность ρ_a от плотности водяного пара ρ_n , нужной для насыщения воздуха при имеющейся у него температуре:

$$\phi = \frac{\rho_a}{\rho_n} \cdot 100\%. \quad (43.1)$$

Таким образом, относительная влажность определяется не только абсолютной влажностью, но и температурой воздуха. При вычислении относительной влажности значения ρ_a и ρ_n надо брать из таблиц.

Температура, при которой воздух в процессе своего охлаждения становится насыщенным водяными парами, называется точкой росы. При известной точке росы абсолютную влажность воздуха ρ_a можно найти по таблице, так как она равна плотности насыщенного пара ρ_n при точке росы. Найдя затем по этой же таблице ρ_n для данной температуры воздуха, можно по формуле (43.1) вычислить относительную влажность ϕ .

Большинство приборов для определения влажности воздуха называются *гигрометрами* (от греч. *гигрос* — “влажный”) и *психрометрами* (от греч. *психриа* — “холод”).

Различают гигрометры *волосной* (рис. 43.5) и *конденсационный* (рис. 43.6). Принцип действия первого основан на свойстве человеческого (конского) волоса удлиняться при повышении влажности окружающего воздуха. С удлинением волоса (1) меняется угол отклонения стрелки (2) прибора, закрепленной через пружину (3). Действие второго основано на определении точки росы, по которой находят в таблицах абсолютную влажность. Нагнетая в коробку (1) с налитым в нее эфиром с помощью груши (5) воздух, добиваются усиленного испарения эфира. Это приводит

к охлаждению самой коробки и ее лицевой отполированной металлической поверхности (2), на которой будет конденсироваться водяной пар, находящийся в окружающем воздухе. Лицевая поверхность (2) отделена от поверхности (3) контактирующей с воздухом резиновой прокладкой (4), поэтому на поверхности (3) не появляется роса. С помощью термометра (6), укрепленного на корпусе гигрометра, замечают температуру окружающего воздуха и температуру появления росы. Потом по таблице зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры находят давления, соответствующие этим температурам. Затем по формуле (43.1) вычисляют относительную влажность воздуха.

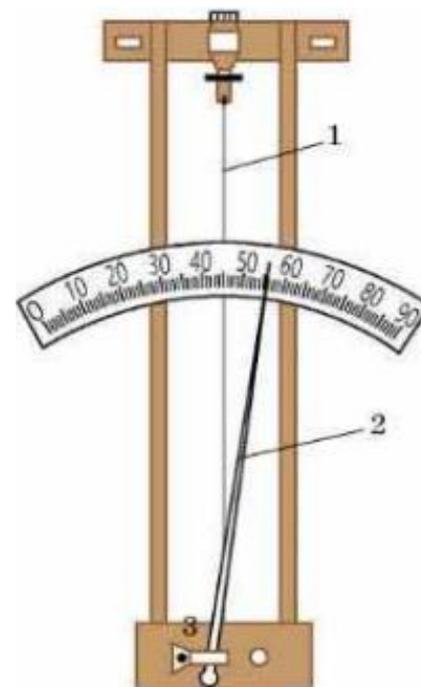


Рис. 43.5

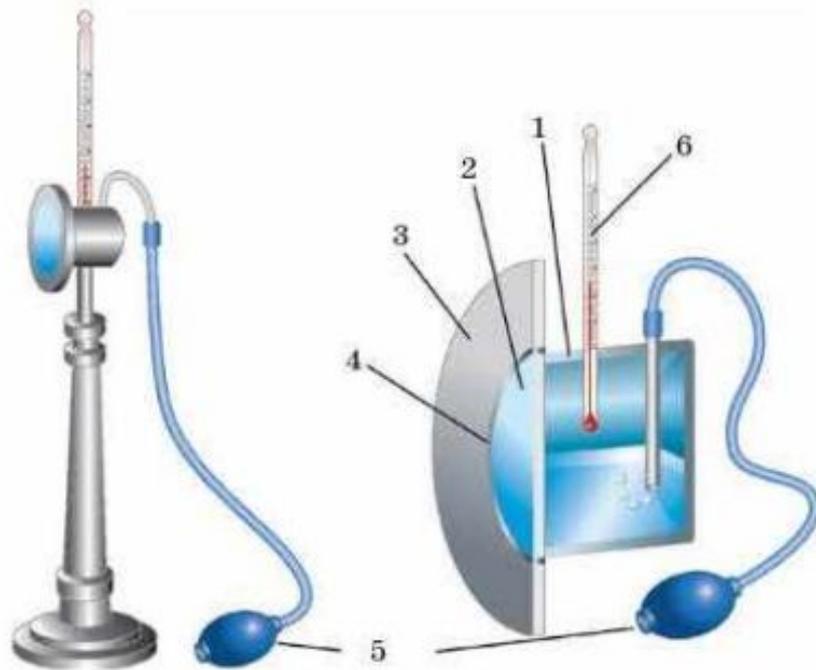


Рис. 43.6

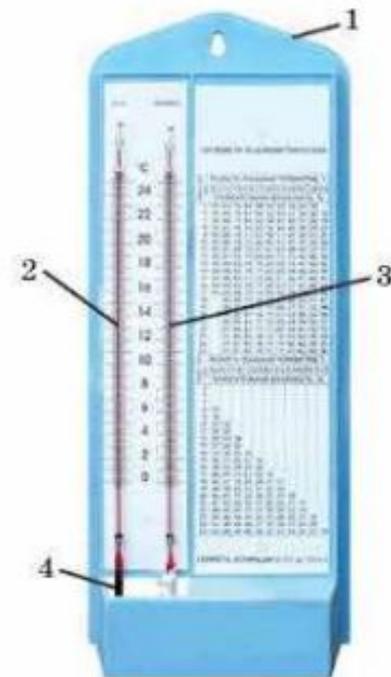
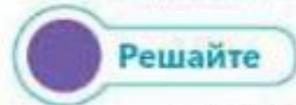


Рис. 43.7

Психрометр (рис. 43.7) состоит из корпуса 1, на котором закреплены два термометра: сухой 2 и влажный 3; к корпусу прикреплен сосуд с водой 4. Шарик термометра 3 обмотан тканью, конец которой опущен в сосуд с водой. Вода, испаряясь, охлаждает термометр 3. По разности температур термометров с помощью психометрических таблиц находят относительную влажность воздуха.

Домашнее задание:
Краткий конспект
Решить задачи.



1. Температура в комнате 16°C . Относительная влажность воздуха 50%. Найдите абсолютную влажность.

(Ответ: $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$)

2. Точка росы 7°C , относительная влажность 50%. Какова температура воздуха?

(Ответ: 18°C)

3. Какова относительная влажность воздуха в комнате, в каждом кубическом метре которого содержится $7,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ водяных паров при температуре 15°C ?

(Ответ: 61,4%)