

Онлайн-школа «Фоксфорд»



М.А. ПЕНКИН

Урок 18

Реальные газы, насыщенный пар,
влажность

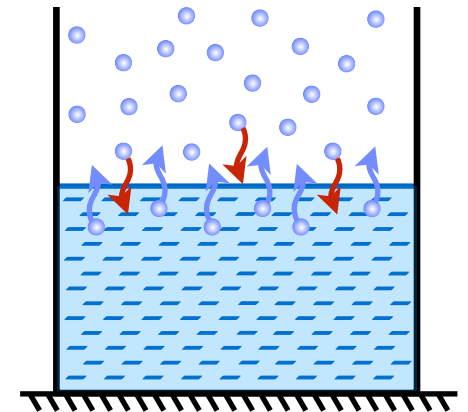
Курс подготовки к вузовским
олимпиадам 11 класса

Насыщенный и ненасыщенный пары

Пар жидкости – газообразное состояние этой жидкости.

Над поверхностью жидкости всегда есть пары этой жидкости, которые образуются из-за её испарения. За счёт диффузии часть молекул пара возвращается обратно в жидкость.

Если число частиц, покидающих жидкость за единицу времени, больше числа частиц, возвращающихся в жидкость за тот же промежуток времени, то пар называется ненасыщенным.



Если число частиц, покидающих жидкость за единицу времени, равно числу частиц, возвращающихся в жидкость за тот же промежуток времени, то пар называется насыщенным. При этом говорят, что пар находится в динамическом равновесии со своей жидкостью. Такая ситуация возможна, если, например, ограничить объём над поверхностью воды. Тогда испарение может происходить только до определённого предела.

Если пар жидкости стал насыщенным, то большей концентрации молекул (значит, и давления) насыщенного пара при той же температуре достичь нельзя. Это означает, что давление насыщенного пара имеет единственное значение, зависящее только от его температуры. Если объём, занимаемый насыщенным паром, начать уменьшать при постоянной температуре, то пар начнёт конденсироваться в жидкость, так как концентрация его частиц и давление достигли предельного значения.

Задача №1

Тяжёлый подвижный поршень площадью $S = 10 \text{ см}^2$ делит объём вертикально расположенного цилиндра на 2 равные части объёмом $V_0 = 1 \text{ л}$ каждая. Над поршнем находится вода и водяной пар общей массой $m = 2 \text{ г}$, под поршнем — $m_1 = 2 \text{ г}$ азота. Температура в цилиндре 100°C . Принять $g = 10 \text{ м/с}^2$, молярные массы азота и воды $\mu_a = 28 \text{ г/моль}$, $\mu_v = 18 \text{ г/моль}$, плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

- 1) Найдите массу M поршня.
- 2) Какую часть объёма V_0 занимает жидкая вода?

Задача №2

В цилиндре под поршнем находится ненасыщенный пар при температуре $T = 100^\circ\text{C}$. Его влажность равна $\varphi = 25\%$. Поршень вдвигают в цилиндр так, что объём под поршнем уменьшается в 6 раз при неизменной температуре. Чему станет равным давление пара? Какая часть первоначальной массы пара сконденсировалась в воду?

Задача №3

В вертикальном теплоизолированном сосуде под поршнем массы M находится жидкость со своим насыщенным паром. Какую мощность N необходимо подводить к нагревателю в жидкости, чтобы поршень поднимался с постоянной скоростью V ? Температура внутри сосуда равна T , молярная масса μ , теплота парообразования λ . Внешнее давление отсутствует.

Задача №4

В цилиндре под поршнем находится пар и вода при температуре $T = 100^0\text{C}$. Объём воды составляет $\alpha = 1/860$ часть объёма, который занимает пар. При изотермическом расширении давление уменьшилось в 2 раза, при этом вся вода испарилась. Во сколько раз увеличился объём пара? Плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, молярная масса пара $\mu = 18 \text{ г/моль}$.

Задача №5

В цилиндре под поршнем находится ν моль ненасыщенного пара при температуре T . Пар сжимают в изотермическом процессе, так что в конечном состоянии половина его массы сконденсировалась, а объём пара уменьшился в 4 раза. Найти молярную теплоту конденсации пара, если в указанном процессе от системы «жидкость–пар» пришлось отвести количество теплоты Q ($Q > 0$).

Указание: работа, совершаемая в изотермическом процессе ν молями пара при расширении от объёма V_1 до V_2 , равна $\nu RT \ln(V_2/V_1)$.



Задача №6

Лёгкий подвижный теплонепроводящий поршень делит объём вертикально расположенного замкнутого цилиндра на две части. В нижней части под поршнем находятся в равновесии жидкость и её пар, температура которых поддерживается постоянной и равна T_0 . В верхней части цилиндра над поршнем находится газообразный гелий. К гелию квазистатически подводится некоторое количество теплоты, и он совершает работу A . При этом часть пара сконденсировалась, и от пара с водой пришлось отвести количество теплоты Q .

- 1) Какое количество теплоты было подведено к гелию?
- 2) Найти удельную теплоту испарения жидкости.

Молярная масса пара μ . Трением и теплоёмкостью поршня пренебречь. Считать, что объём жидкости значительно меньше объёма образовавшегося из неё пара.

Задача №7

Поршень делит объем герметичного вертикально расположенного цилиндра на две части. Стенки цилиндра хорошо проводят теплоту. Снаружи цилиндра поддерживается постоянная температура $T = 373$ К. Поршень создает своим весом дополнительное давление $P = P_0 / 5$, где P_0 – нормальное атмосферное давление. Под поршнем в объеме $V_0 = 1$ л находится воздух, над поршнем в объеме V_0 – вода массой $m_1 = 1,2$ г и водяной пар. Система в равновесии. Цилиндр переворачивают вверх дном. После наступления равновесия под поршнем находится вода и водяной пар, над поршнем – воздух.

1) Найти объем пара в конечном состоянии.

2) Найти массу воды в конечном состоянии.

Объем воды значительно меньше объема цилиндра, масса воды значительно меньше массы поршня. Трением поршня о цилиндр пренебречь. Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Задача №8

☐ Подвижный поршень делит объем горизонтально расположенного сосуда на два отсека с общим объемом $V = 90$ л. В первом отсеке при температуре $T_1 = 373$ К находится $\nu_1 = 0,5$ моль водяного пара, во втором при той же температуре $\nu_2 = 1,5$ моль азота. Сосуд вместе с содержимым охлаждают до температуры $T_2 = 280$ К. Давление насыщенного пара воды при температуре $T_2 = 280$ К равно $P_H = 997$ Па. Плотность воды $\rho = 1$ г/см³. Объем воды, которая может образоваться из пара, намного меньше объема пара.

- 1) Найти давление P_1 в сосуде до охлаждения.
- 2) Найти давление P_2 в сосуде после охлаждения.
- 3) Найти объем V_1 первого отсека после охлаждения.



Задача №9

В цилиндре под поршнем находятся в равновесии ν молей воды (жидкость) и водяной пар при температуре T . При изобарическом нагревании цилиндра объём увеличивается в 4 раза, а температура — на 25%. Найдите работу, совершённую содержимым цилиндра в этом процессе. Объём жидкости намного меньше объёма пара. Пар считать идеальным газом.

Задача №10

В цилиндре под поршнем находятся $0,5\nu$ моль воды и $0,5\nu$ моль пара. Жидкость и пар медленно нагревают в изобарическом процессе, так что в конечном состоянии температура пара увеличивается на ΔT градусов. Сколько тепла было подведено к системе «жидкость–пар» в этом процессе? Молярная теплота испарения жидкости в заданном процессе равна Λ .



Задача №11

В вертикальном цилиндре под невесомым поршнем находится воздух с относительной влажностью 40% при температуре 100°C . Поршень вдвигают в цилиндр так, что объём под поршнем уменьшается в 5 раз при неизменной температуре. Атмосферное давление p_0 .

- а. Чему станет равно давление воздуха в цилиндре?
- б. Какая часть первоначальной массы пара сконденсируется в воду?
- в. Нарисуйте изотермы пара, сухого воздуха и влажного воздуха с указанием координат основных точек.

Задача №12

Влажный воздух находится в цилиндре под поршнем при температуре 100°C и давлении $1,2p_0$. Если увеличить давление на поршень в 2 раза, то объём, занимаемый воздухом, уменьшится в 2,5 раза, а на стенках выпадет роса. Найти начальную относительную влажность воздуха в цилиндре. Объёмом образовавшейся жидкости пренебречь.



Задача №13

В двух баллонах объёмами $V_1 = 25$ л и $V_2 = 50$ л находится влажный воздух при одинаковой температуре. Относительная влажность воздуха в первом баллоне $\varphi_1 = 40\%$, а во втором — $\varphi_2 = 20\%$. Какой будет относительная влажность, если баллоны соединить трубкой и дождаться установления равновесия? Температуру считать постоянной.

Задача №14

В сосуде объёмом $V_0 = 20$ л находится вода, водяной пар и воздух. Объём сосуда при постоянной температуре медленно увеличивают до $2V_0$, давление в сосуде при этом уменьшается от $3p_0$ до $2p_0$, где p_0 — нормальное атмосферное давление. Определите массу воды в сосуде в конце опыта, если общая масса воды и пара составляет $m = 36$ г. Объёмом, занимаемым жидкостью в обоих случаях, пренебречь.



mapenkin.ru

ПРЕЗЕНТАЦИЮ ПОДГОТОВИЛ
Михаил Александрович **ПЕНКИН**

 [/penkin](#)

 [/mapenkin](#)

 fmicky@gmail.com