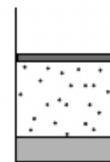


ЗАДАЧА 20. («Росатом», 2017, 11) В вертикальный цилиндрический сосуд с водой налили воду и закрыли сосуд очень лёгким подвижным поршнем. Первоначально воздух в сосуде сухой (не содержит паров воды) и имеет плотность $\rho_0 = 1 \text{ кг/м}^3$. Увеличится или уменьшится плотность влажного воздуха в сосуде, когда часть воды испарится? На сколько увеличится или уменьшится плотность влажного воздуха в сосуде по сравнению с плотностью сухого воздуха через достаточно продолжительное время, когда вода перестанет испаряться?



Температура воздуха постоянна в течение всего процесса. Давление насыщенных паров при рассматриваемой температуре составляет одну седьмую часть от атмосферного. Средняя молярная масса воздуха $\mu_0 = 29 \text{ г/моль}$, молярная масса воды $\mu_1 = 18 \text{ г/моль}$. Воздух считать идеальным газом.

$$\rho_1/\rho_0 = \left(\frac{\mu_0}{\mu_1} + 9\right) \frac{p_0}{p_0 - p_n} = 0,95$$

Решение:

2. Поскольку поршень легкий и не закреплен, давление воздуха в сосуде равно атмосферному в течение всего процесса. А поскольку по условию воздух можно считать идеальным газом, то концентрация молекул воздуха не меняется. Это значит, что при испарении воды будет увеличиваться объем воздуха (поршень будет подниматься), и в единице объема воздуха останется то же самое число молекул. А поскольку каждая молекула воды (18 а.е.м.) легче усредненной молекулы воздуха (29 а.е.м.), то масса единицы объема влажного воздуха (т.е. плотность) будет меньше, чем масса единицы объема сухого.

Найдем теперь плотность влажного воздуха. Пусть концентрация молекул воздуха равна n . Пока он был сухим, это были молекулы собственно воздуха (усредненные), и потому его плотность равна

$$\rho_0 = nm_0 = \frac{n\mu_0}{N_A} \quad (*)$$

где m_0 - масса молекулы воды, μ_0 - молярная масса воды, N_A - число Авогадро.

Из условия можно заключить, что нам нужно найти плотность насыщенного пара (поскольку вода перестала испаряться). Это значит, что парциальное давление водяного пара равно давлению насыщенного пара при данной температуре p_n , а парциальное давление собственно воздуха равно $p_0 - p_n$. Поэтому в единице объема воздуха под поршнем находится

$$n_0 = \frac{p_0 - p_n}{p_0} n$$

молекул собственно воздуха (усредненных) и

$$n_1 = \frac{p_n}{p_0} n$$

молекул воды. Отсюда по формулам, аналогичным формуле (*), можно найти плотность влажного воздуха

$$\rho_1 = n_0 m_0 + n_1 m_1 = \frac{p_0 - p_n}{p_0} \frac{n\mu_0}{N_A} + \frac{p_n}{p_0} \frac{n\mu_1}{N_A} = \frac{n\mu_0}{N_A} - \frac{p_n}{p_0} \frac{n(\mu_0 - \mu_1)}{N_A} = \rho_0 \left(1 - \frac{p_n}{p_0} \left(1 - \frac{\mu_1}{\mu_0} \right) \right)$$

Учитывая, что по условию давление насыщенного пара составляет одну седьмую часть от атмосферного давления, получим далее

$$\rho_1 = \rho_0 \left(1 - \frac{p_n}{p_0} \left(1 - \frac{\mu_1}{\mu_0} \right) \right) = \frac{\rho_0}{7} \left(6 + \frac{\mu_1}{\mu_0} \right) = 0,95 \text{ кг/м}^3$$