

Из уравнения состояния найдем

$$\frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{в}}} = \frac{M_{\text{в}} \rho_{\text{п}}}{M_{\text{п}} \rho_{\text{в}}},$$

или окончательно

$$\frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{в}}} = \frac{1 - \rho M_{\text{в}} / (RT\rho)}{\rho M_{\text{п}} / (RT\rho) - 1} \approx \frac{1}{37}.$$

Заметим, как это следует из таблиц, что пар в условиях задачи оказывается в состоянии, близком к насыщению. Кроме того, расчетная величина отношения давлений пара и воздуха оказывается чрезвычайно чувствительной к численным значениям величин, входящих в условия задачи. Это связано с тем, что на фоне достаточно большого давления воздуха мы хотим оценить вклад сравнительно небольшого давления пара.

Задача 2. В парной бани относительная влажность воздуха составляла $\phi_1 = 50\%$ при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$. После того как температура воздуха уменьшилась до $t_2 = 97^\circ\text{C}$ и пар «осел», относительная влажность воздуха стала $\phi_2 = 45\%$. Какая масса воды выделилась из влажного воздуха парной, если ее объем $V = 30 \text{ м}^3$? Известно, что при температуре t_2 давление насыщенного пара на 80 мм рт.ст. меньше, чем при t_1 .

Давление насыщенного пара при 100°C составляет $p_{1\text{п}} = 760 \text{ мм рт.ст.} = 10^5 \text{ Па}$, а при 97°C — $p_{2\text{п}} = 680 \text{ мм рт.ст.}$ По уравнению состояния, массы пара в парной равны, соответственно,

$$m_1 = \frac{\phi_1 p_{1\text{п}} V M_{\text{п}}}{RT_1 \cdot 100\%} \text{ и } m_2 = \frac{\phi_2 p_{2\text{п}} V M_{\text{п}}}{RT_2 \cdot 100\%},$$

где $M_{\text{п}} = 18 \text{ г/моль}$ — молярная масса пара. Значит, из влажного воздуха сконденсировалась масса воды

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{V M_{\text{п}}}{R \cdot 100\%} \left(\frac{\phi_1 p_{1\text{п}}}{T_1} - \frac{\phi_2 p_{2\text{п}}}{T_2} \right) \approx 1,6 \text{ кг}.$$

Задача 3. В цилиндре под поршнем с пружиной заперты водяной пар и вода, масса которой $M = 1 \text{ г}$. Температура в цилиндре поддерживается постоянной и равной 100°C . Когда из цилиндра выпустили часть пара массой $m = 7 \text{ г}$, поршень стал двигаться. После установления равновесия объем содержимого в цилиндре под поршнем оказался в 2 раза меньше первоначального. Какая масса пара была в цилиндре и какой объем он занимал в начале опыта? Поршень занимает положение равновесия у дна цилиндра, когда пружина не напряжена.

Вода вначале занимала объем 1 см^3 , тогда как пар, по уравнению состояния, занимал объем не меньше 12 л, так что объемом, занимаемым водой можно пренебречь. Пар в начале насыщенный (в цилиндре есть вода), и его давление равно $p_{1\text{п}} = 10^5 \text{ Па}$. В конце опыта давление пара составляло $p_2 = 0,5 p_{1\text{п}} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, там как сила, действующая со стороны пружины на поршень, уменьшилась вдвое. Вся вода при этом испарилась, поскольку поршень перестал двигаться, и пар стал ненасыщенным.

Пусть начальная масса пара равна $m_{\text{п}}$. Тогда в начале опыта

$$p_{1\text{п}} V = \frac{m_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} RT,$$

где $M_{\text{п}}$ — молярная масса пара. В конце опыта

$$\frac{1}{2} p_{1\text{п}} \frac{V}{2} = \frac{m_{\text{п}} + M - m}{M_{\text{п}}} RT.$$

Из этих двух уравнений находим

$$m_{\text{п}} = \frac{4}{3}(m - M) = 8 \text{ г}.$$

Объем который занимал пар, равен

$$V = \frac{m_{\text{п}} RT}{M_{\text{п}} p_{1\text{п}}} = 13,8 \text{ л}.$$

Задача 4. В сосуде объемом $V_1 = 20 \text{ л}$ находятся вода, насыщенный водяной пар и воздух. Объем сосуда при постоянной температуре медленно увеличивается до $V_2 = 40 \text{ л}$, давление в сосуде при этом уменьшается от $p_1 = 3 \text{ атм}$ до $p_2 = 2 \text{ атм}$. Определите массу воды в сосуде в конце опыта, если общая масса воды и пара составляет $m = 36 \text{ г}$. Объемом, занимаемым жидкостью, в обоих случаях пренебречь.

Анализ изотермы для пара (см. рисунок) показывает, что во время опыта парциальное давление пара оставалось постоянным (в конце опыта, как и в начале, в сосуде была вода). Давление в сосуде менялось только за счет изменения давления воздуха. Так как при постоянной температуре объем, занимаемый воздухом, увеличился вдвое, то его давление в конце опыта уменьшилось тоже вдвое. Пусть в конце опыта в сосуде осталась масса пара $m_{\text{п}2}$. Так как пар оставался насыщенным при постоянном давлении и температуре, а объем его увеличился вдвое, то в начале опыта его масса в сосуде была $m_{\text{п}1} = m_{\text{п}2}/2$.

После этого предварительного анализа найдем давление пара $p_{\text{п}}$ в сосуде. В начале опыта

$$p_{\text{п}} + p_{\text{в}} = p_1,$$

где $p_{\text{в}}$ — давление воздуха в начале. В конце

$$p_{\text{п}} + \frac{p_{\text{в}}}{2} = p_2.$$

Следовательно,

$$p_{\text{п}} = 2p_2 - p_1 = 1 \text{ атм}.$$

Так как пар насыщенный, его температура равна 100°C . По уравнению состояния теперь можно найти массу пара в сосуде:

$$p_{\text{п}}(V_2 - V_1) = \frac{m_{\text{п}2} - m_{\text{п}1}}{M_{\text{п}}} RT = \frac{m_{\text{п}2}}{2M_{\text{п}}} RT,$$

где $M_{\text{п}} = 18 \text{ г/моль}$ — молярная масса пара, откуда

$$m_{\text{п}2} = \frac{2M_{\text{п}} p_{\text{п}}}{RT} (V_2 - V_1) = 24 \text{ г}.$$

Итак, в сосуде осталась масса воды

$$m_{\text{в}} = m - m_{\text{п}2} = 12 \text{ г}.$$

Задача 5. Жидкость и ее насыщенный пар находятся в цилиндре под поршнем при некоторой температуре. При медленном изобарическом нагреве температура системы повысилась до 100°C , а объем увеличился на 54%. На сколько градусов нагрели содержимое цилиндра, если масса пара вначале составляла $2/3$ от полной массы смеси? Начальным объемом жидкости по сравнению с объемом системы пренебречь.

Пусть массы пара и жидкости вначале были $m_{\text{п}}$ и $m_{\text{ж}}$, а температура в сосуде была $T_{\text{п}}$. При изобарическом нагреве смеси ее температура не меняется, пока жидкость испаряется. По условию, температура повысилась до $T_{\text{к}} = 373 \text{ К}$, значит, вся жидкость испарилась (состояние 2 на рисунке)