

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

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

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  $100^\circ\text{C}$  составляет  $p_{1\text{п}} = 760 \text{ мм рт.ст.} = 10^5 \text{ Па}$ , а при  $97^\circ\text{C}$  —  $p_{2\text{п}} = 680 \text{ мм рт.ст.}$  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  $100^\circ\text{C}$ . 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  $1 \text{ см}^3$ , 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  $100^\circ\text{C}$ . 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  $100^\circ\text{C}$ , 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)