

и пар массой  $m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}$  при том же давлении нагрелся на  $\Delta T = T_{\text{к}} - T_{\text{н}}$ .

Запишем уравнения состояния для начального и конечного состояний системы:

$$pV_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} RT_{\text{п}},$$

$$pV_{\text{к}} = \frac{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}{M_{\text{п}}} RT_{\text{к}},$$

где  $M_{\text{п}}$  – молярная масса пара. По условию,

$$V_{\text{к}} = \beta V_{\text{п}} = 1,54 V_{\text{п}}$$

и

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}} = \alpha = \frac{2}{3}.$$

Из приведенных равенств находим

$$\frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{п}}} = \beta \alpha,$$

и окончательно

$$\Delta T = T_{\text{к}} - T_{\text{п}} = T_{\text{к}} \frac{\beta \alpha - 1}{\beta \alpha} \approx 10 \text{ К}.$$

**Задача 6.** В сосуде находятся жидкость и ее насыщенный пар. В процессе изотермического расширения объем, занимаемый паром, увеличивается в  $\beta = 3$  раза, а давление пара уменьшается в  $\alpha = 2$  раза. Найдите отношение массы жидкости  $m_{\text{ж}}$  к массе пара  $m_{\text{п}}$ , которые первоначально содержались в сосуде. Объемом, занимаемым жидкостью, пренебречь.

В изотермическом процессе давление уменьшается в 2 раза, а объем увеличивается в 3 раза. Следовательно, система жидкость–пар массой  $m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}$  из начального состояния, соответствующего состоянию 3 на рисунке, переходит в конечное, соответствующее состоянию 1 на том же рисунке. В промежуточном состоянии 2 вся жидкость испарилась при постоянном давлении  $p = p_{\text{пн}}$  и заняла объем  $V_2$ :

$$p_{\text{пн}} V_2 = \frac{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}{M_{\text{п}}} RT,$$

где  $M_{\text{п}}$  – молярная масса пара. В конечном состоянии 1 та же масса пара при давлении  $p_1 = p_{\text{пн}}/\alpha$  и той же температуре заняла объем  $V_1$ :

$$p_1 V_1 = \frac{m_{\text{ж}} + m_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} RT.$$

По условию задачи, в начальном состоянии пар массой  $m_{\text{п}}$  занимал объем  $V_3 = V_1/\beta$ :

$$p_{\text{пн}} V_3 = \frac{m_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} RT.$$

Из этих равенств находим

$$V_1 = \alpha V_2,$$

$$\frac{m_{\text{п}} + m_{\text{ж}}}{m_{\text{п}}} = \frac{V_2}{V_3} = \frac{V_1/\alpha}{V_1/\beta} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

Тогда окончательно

$$\frac{m_{\text{ж}}}{m_{\text{п}}} = \frac{\beta}{\alpha} - 1 = \frac{1}{2}.$$

**Задача 7.** В герметичный сосуд, содержащий сухой воздух при температуре  $17^\circ\text{C}$  и некотором давлении, впрысну-

ли немного воды и стали медленно нагревать содержимое. Определите давление воздуха в сосуде до впрыскивания воды, если к тому моменту, когда вся вода испарилась, давление воздуха составляло 46% от общего давления в сосуде. Начальный объем воды составил 1/1100 от объема сосуда. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ , молярная масса воды  $M = 18 \text{ г}/\text{моль}$ , плотность воды  $\rho = 1 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Пусть объем сосуда  $V_0$ , тогда масса пара в конечном состоянии, равная начальной массе воды, составляет

$$m_{\text{п}} = \rho \frac{V_0}{1100}.$$

Запишем уравнение состояния для воздуха вначале:

$$p_{1\text{в}} V_0 = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{в}}} RT_1,$$

где  $M_{\text{в}}$  – молярная масса воздуха. В конечном состоянии пар и воздух занимают один и тот же объем и имеют одинаковую температуру. Поэтому их давления  $p_{\text{п}}$  и  $p_{2\text{в}}$  относятся, как соответствующие количества молей:

$$\frac{p_{\text{п}}}{p_{2\text{в}}} = \frac{m_{\text{п}} M_{\text{в}}}{m_{\text{в}} M}.$$

С другой стороны, по условию задачи,

$$\frac{p_{2\text{в}}}{p_{2\text{в}} + p_{\text{п}}} = \beta = 0,46.$$

Записанные равенства позволяют определить отношение масс пара и воздуха:

$$\frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{п}}} = \frac{\beta}{1 - \beta} \frac{M_{\text{в}}}{M}$$

и начальное давление воздуха в сосуде:

$$p_{1\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{в}}} \frac{RT_1}{V_0} = \frac{RT_1}{V_0} \frac{\beta}{1 - \beta} \frac{m_{\text{п}}}{M} = RT_1 \frac{\beta}{1 - \beta} \frac{\rho}{M} \frac{1}{1100} \approx 10^5 \text{ Па}.$$

**Задача 8.** Вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем при температуре  $110^\circ\text{C}$ , при этом вода занимает 0,1% объема цилиндра. При медленном изотермическом увеличении объема вода начинает испаряться. К моменту, когда она вся испарилась, пар совершил работу  $A = 177 \text{ Дж}$ , а объем, который он занимал, увеличился на  $\Delta V = 1,25 \text{ л}$ . Найдите давление, при котором производился опыт. Сколько воды и пара было в цилиндре в начальном состоянии?

Если  $V$  – объем цилиндра, то начальная масса воды равна

$$m_{\text{ж}} = \rho V \cdot 10^{-3},$$

где  $\rho = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$  – плотность воды. При постоянном давлении и температуре вода испарилась, и пар совершил работу

$$A = p \Delta V = \frac{m_{\text{ж}}}{M_{\text{п}}} RT,$$

где  $M_{\text{п}} = 18 \text{ г}/\text{моль}$  – молярная масса пара. Это равенство позволяет определить давление  $p$ , при котором проводился опыт:

$$p = \frac{A}{\Delta V} = 1,42 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

а затем и массу жидкости в начале опыта:

$$m_{\text{ж}} = \frac{AM_{\text{п}}}{RT} = 1 \text{ г}.$$

Начальную массу пара (пар занимал 99,9% объема цилинд-