

Условие

2. В большом теплоизолированном сосуде находится $m_0 = 1,0$ кг переохлажденной воды, находящейся при температуре $t_0 = -5,0^\circ\text{C}$. В воду маленькими порциями добавляют небольшие кусочки льда при температуре $t_1 = -20^\circ\text{C}$. Сколько льда необходимо добавить в сосуд, чтобы вся находящаяся в нем вода замерзла? Теплоемкостью сосуда и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Удельная теплоемкость воды $c_0 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, удельная теплоемкость льда $c_0 = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, атмосферное давление нормальное.

Решение

9.2 Основная проблема, возникающая при реализации описанной ситуации (замораживании воды), заключается в «утилизации» большого количества теплоты, выделяющейся при кристаллизации. Действительно, при замерзании воды выделится количество теплоты $Q_1 = \lambda m_0 = 330 \text{ кДж}$. На нагревание этой же воды может пойти количество теплоты $Q_2 = c_0 m_0 (t_{\text{кр}} - t_0) \approx 21 \text{ кДж}$, где $t_{\text{кр}} = 0^\circ\text{C}$ — температура кристаллизации воды при нормальном давлении. Поэтому оставшееся количество теплоты $Q_1 - Q_2$ должно пойти на нагреваемого льда (но при этом он не должен расплавиться!). Таким

образом, для замораживания всей воды должно выполняться следующее уравнение теплового баланса

$$Q_1 - Q_2 = c_1 m_x (t_{\text{кр}} - t_1),$$

из которого находим искомую массу льда

$$m_x = \frac{Q_1 - Q_2}{c_1 m_x (t_{\text{кр}} - t_1)} \approx 7,4 \text{ кг}.$$