

### Примеры решения задач

**Задача 1.** До какой температуры была нагрета при закалке стальная пилка массой  $200 \text{ г}$ , если при опускании ее в сосуд с маслом, через некоторое время в сосуде установилась общая температура  $35^\circ\text{C}$ ? Удельную теплоемкость стали считать равной  $500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ , а масла -  $1700 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Потерями теплоты и теплоемкостью сосуда пренебречь. Начальная температура масла в сосуде  $10^\circ\text{C}$ , ее масса равна  $2 \text{ кг}$ .

**Решение.** Во время рассматриваемого теплового процесса стальная пилка массой  $M_{ст}$  охлаждается от начальной температуры  $t_1$  до температуры  $t = 35^\circ\text{C}$ , отдавая при этом количество теплоты

$$Q_{отд} = c_{ст} \cdot M_{ст} \cdot (t_1 - t),$$

где  $c_{ст}$  - удельная теплоемкость стали.

За это же время масло массой  $M_m$  нагревается от начальной температуры  $t_2 = 10^\circ\text{C}$  до температуры  $t = 35^\circ\text{C}$ , получая при этом количество теплоты

$$Q_m = c_m \cdot M_m \cdot (t - t_2),$$

где  $c_m$  - удельная теплоемкость масла.

Уравнение теплового баланса для данного теплового процесса можно записать следующим образом:

$$Q_{отд} = Q_{отд} = c_{ст} \cdot M_{ст} \cdot (t_1 - t) = Q_{пол} = Q_m = c_m \cdot M_m \cdot (t - t_2).$$

Здесь предполагается, что испарением масла можно пренебречь, т.е. теплота, выделяемая при охлаждении стальной пилки, идет только на нагревание масла.

Из последнего соотношения для начальной температуры стальной пилки получаем

$$t_1 = \left(1 + \frac{M_m c_m}{M_{cm} c_{cm}}\right) t - \frac{M_m c_m}{M_{cm} c_{cm}} t_2 = 885^\circ \text{C}.$$

**Задача 2.** Электрическая лампа мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$  опущена в прозрачный калориметр, содержащий воду массой  $600 \text{ г}$ . За 5 минут вода нагрелась на  $\Delta t = 4^\circ \text{C}$ . Какую часть энергии, потребляемой лампой, калориметр пропускает наружу в виде излучения? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{}^\circ \text{C)}$ .

**Решение.** Энергия  $W$ , потребляемая электрической лампой за время  $\tau = 300 \text{ с}$ , может быть рассчитана по формуле  $W = P \cdot \tau$ .

На нагревание воды массой  $m$  на  $\Delta t$  градусов затрачивается энергия (теплота)

$$Q = c_w \cdot m \cdot \Delta t,$$

где  $c_w$  - удельная теплоемкость воды.

Остальная часть потребляемой энергии в виде излучения выходит наружу. По отношению ко всей энергии энергия излучения составит долю:

$$\alpha = \frac{W - Q}{W} = \frac{P \cdot \tau - c_w \cdot m \cdot \Delta t}{P \cdot \tau}.$$

Вычисления для значения  $\alpha$  дают значение 0,44 или 44%.

**Задача 3.** В сосуд, содержащий воду массой  $m = 100 \text{ г}$  при температуре  $t_1 = 10^\circ \text{C}$  поместили кусок льда при температуре  $t_2 = -50^\circ \text{C}$ , после чего температура образовавшейся ледяной массы оказалась равной  $t = -4^\circ \text{C}$ . Какая масса льда была положена в сосуд? Потери теплоты и теплоемкостью сосуда пренебречь.

**Решение.** Количество теплоты  $Q_1$ , необходимое для нагревания льда массой  $m_l$  от начальной температуры  $t_2 = -50^\circ \text{C}$  до температуры  $t = -4^\circ \text{C}$ , равно

$$Q_1 = c_l \cdot m_l \cdot (t - t_2).$$

При охлаждении воды массой  $m$  от температуры  $t_1 = 10^\circ \text{C}$  до температуры  $t_0 = 0^\circ \text{C}$ , она отдает количество теплоты  $Q_2$ :

$$Q_2 = c_w \cdot m \cdot (t_1 - t_0).$$

Количество теплоты  $Q_3$ , выделяемое при замерзании воды, равно

$$Q_3 = \lambda m.$$

Количество теплоты  $Q_4$ , выделяемое при остывании льда от  $t_0 = 0^\circ \text{C}$  до температуры  $t = -4^\circ \text{C}$ , есть

$$Q_4 = c_n \cdot m \cdot (t_0 - t).$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$Q_{омо} = Q_2 + Q_3 + Q_4 = c_e m (t_1 - t_0) + \lambda_e m + c_n m (t_0 - t) = \\ = Q_{нол} = Q_1 = c_n m_n (t - t_2).$$

Из этого уравнения найдем массу льда:

$$m_n = \frac{c_e m (t_1 - t_0) + \lambda_e m + c_n m (t_0 - t)}{c_n (t - t_2)} \approx 0,394 \text{ кг}.$$

**Задача 4.** В калориметре находятся лед и вода при температуре  $t_1 = 0^\circ \text{C}$ . Массы льда и воды одинаковы и равны  $500 \text{ г}$ . В калориметр вливают воду массой  $1 \text{ кг}$  при температуре  $t_2 = 50^\circ \text{C}$ . Какая температура установится в нем? Теплоемкостью калориметра пренебречь.

**Решение.** Особенной температурой в данной ситуации является температура  $t_1 = 0^\circ \text{C}$  - температура таяния льда (или замерзания воды). Если количество теплоты, которое может отдать горячая вода при остывании до этой температуры, больше количества теплоты, необходимого для плавления всей массы льда, то в системе установится температура  $t > 0^\circ \text{C}$ . Допустим, что это так.

Для составления уравнения теплового баланса определим, какое количество теплоты могут отдать одни элементы системы, а какое количество теплоты могут получить другие. Теплоту отдает горячая вода при охлаждении от  $t_2 = 50^\circ \text{C}$  до искомой температуры  $t$ . Теплоту получают: лед (при плавлении) и холодная вода при нагревании от  $t_1 = 0^\circ \text{C}$  до температуры  $t$ .

Для плавления льда массой  $m_1 = 0,5 \text{ кг}$  при температуре плавления необходимо количество теплоты  $Q_1$ :

$$Q_1 = \lambda_e m_1.$$

Количество теплоты  $Q_2$ , необходимое для нагревания холодной воды массой  $m_e = 1 \text{ кг}$  от температуры  $t_1 = 0^\circ \text{C}$  до температуры  $t$ , равно

$$Q_2 = c_e m_e (t - t_1).$$

Количество теплоты  $Q_3$ , отдаваемое водой массой  $m = 1 \text{ кг}$  при охлаждении ее от  $t_2 = 50^\circ \text{C}$  до температуры  $t$ , есть

$$Q_3 = c_e m (t_2 - t).$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$Q_{нол} = Q_1 + Q_2 = \lambda_e m_1 + c_e m_e (t - t_1) = Q_{омо} = Q_3 = c_e m (t_2 - t).$$

Для температуры  $t$  из этого уравнения получаем:

$$t = \frac{c_6 m t_2 - \lambda_6 m_1 + c_6 m_6 t_1}{c_6 m_6 + c_6 m} \approx 5,4^\circ \text{C}.$$

Получившаяся температура больше  $0^\circ \text{C}$ , следовательно сделанное предположение оказалось верным и в сосуде установится температура  $5,4^\circ \text{C}$ .

**Задача 5.** В электрический чайник налили холодную воду при температуре  $t_1 = 10^\circ \text{C}$ . Через время  $\tau = 10 \text{ мин}$  после включения чайника вода закипела. Через какое время она полностью испарится? Потерями теплоты пренебречь.

**Решение.** Для испарения воды массой  $m$  необходимо количество теплоты  $Q_1 = L_6 \cdot m$ , где  $L_6$  - удельная теплота парообразования воды.

Пусть от нагревателя чайника в единицу времени поступает количество теплоты  $q$ , а  $\tau_1$  - время, необходимое для испарения всей воды, нагретой до температуры кипения. Тогда справедливо соотношение

$$Q_1 = L_6 \cdot m = q \cdot \tau_1.$$

Количество теплоты  $Q_2$ , поступившее от нагревателя за время  $\tau$  и нагревшее воду от начальной температуры  $t_1 = 10^\circ \text{C}$  до температуры кипения  $t_2 = 100^\circ \text{C}$ , равно

$$Q_2 = q \cdot \tau = c_6 \cdot m \cdot (t_2 - t_1),$$

где  $c_6$  - удельная теплоемкость воды. Отсюда для массы воды получаем:

$$m = \frac{q \cdot \tau}{c_6 \cdot (t_2 - t_1)}.$$

Подставляя это выражение в соотношение для  $Q_1$ , имеем

$$q \cdot \tau_1 = \frac{L_6 \cdot q \cdot \tau}{c_6 \cdot (t_2 - t_1)}.$$

Отсюда для времени испарения воды получаем

$$\tau_1 = \frac{L_6 \cdot \tau}{c_6 \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 600 \text{ с}}{4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)} \cdot 90 \text{ K}} \approx 1 \text{ час}.$$

**Задача 6.**  $1 \text{ кг}$  водяного пара при температуре  $t_n = 100^\circ \text{C}$  впускают в холодную воду, взятую в количестве  $12 \text{ кг}$ . Температура воды после конденсации в ней пара поднялась до  $t = 70^\circ \text{C}$ . Какова была первоначальная температура воды? Потерями теплоты пренебречь.

**Решение.** Попав в холодную воду, пар массой  $m_n$  конденсируется, выделяя количество теплоты  $Q_1 = L_6 \cdot m_n$ . Здесь  $L_6$  - удельная теплота конденсации водяного пара. Получившаяся при

конденсации пара вода охлаждается от температуры  $t_n = 100^\circ C$  до  $t = 70^\circ C$ , отдавая холодной воде количество теплоты

$$Q_2 = c_e \cdot m_n \cdot (t_n - t).$$

Для нагревания холодной воды массы  $m_e$  от начальной температуры  $t_e$  до температуры  $t = 70^\circ C$  требуется количество теплоты

$$Q_3 = c_e \cdot m_e \cdot (t - t_e).$$

Составим уравнение теплового баланса для рассматриваемого теплового процесса:

$$Q_{отд} = Q_1 + Q_2 = L_e m_n + c_e m_n (t_n - t) = Q_{пол} = Q_3 = c_e m_e (t - t_e).$$

Решая полученное уравнение, для начальной температуры воды находим:

$$t_e = t - \frac{L_e m_n}{c_e m_e} - \frac{m_n}{m_e} \cdot (t_n - t) = 22,5^\circ C.$$

**Задача 7.** В калориметре находится вода массой  $2,5 \text{ кг}$  при температуре  $5^\circ C$ . В калориметр с водой помещают кусок льда массой  $700 \text{ г}$ . Когда установилось тепловое равновесие, оказалось, что масса льда увеличилась на  $64 \text{ г}$ . Определите начальную температуру льда. Теплоемкостью калориметра пренебречь.

**Решение.** В рассматриваемой ситуации происходит теплообмен между водой, с одной стороны, и льдом, с другой стороны. Вода, как тело более нагретое, отдает тепло, а лед тепло получает. Начальная масса воды в сосуде оставляет  $2,5 \text{ кг}$ , а масса льда увеличилась на  $64 \text{ г}$ , т.е. не вся вода замерзла. Следовательно, после установления теплового равновесия в сосуде находятся вода и лед. Это возможно лишь при условии, что температура в сосуде равна  $t = 0^\circ C$ .

На нагревание льда массой  $m_n = 0,7 \text{ кг}$  от неизвестной начальной температуры  $t_1$  до температуры  $t = 0^\circ C$  требуется количество теплоты:

$$Q_{пол} = m_n \cdot c_l \cdot (t - t_1),$$

где  $c_l$  - удельная теплоемкость льда.

Вода массой  $M_e = 2,5 \text{ кг}$ , первоначально находившаяся в сосуде, охлаждается от температуры  $t_2 = 5^\circ C$  до температуры  $t = 0^\circ C$ , отдавая при этом количество теплоты

$$Q_{отд,1} = M_e \cdot c_e \cdot (t_2 - t),$$

где  $c_e$  - удельная теплоемкость воды.

В процессе замерзания воды массой  $m_e = 64 \text{ г}$  (именно на столько увеличилась масса льда) выделяется количество теплоты

$$Q_{отд,2} = \lambda_e \cdot m_e,$$

где  $\lambda_e$  - удельная теплота кристаллизации воды.

Уравнение теплового баланса для данного теплового процесса можно записать следующим образом:

$$Q_{отд} = Q_{отд,1} + Q_{отд,2} = M_e \cdot c_e \cdot (t_2 - t) + \lambda_e \cdot m_e = Q_{пол} = m_l \cdot c_l \cdot (t - t_1).$$

Отсюда для начальной температуры льда получаем

$$t_1 = t - \frac{M_e \cdot c_e \cdot (t_2 - t) + \lambda_e \cdot m_e}{m_l \cdot c_l} \approx -49,6^\circ \text{C}.$$

**Подробнее о температуре, методах и средствах её измерения читайте в журнале «ПОТЕНЦИАЛ» №10 за 2005 г. и №4 за 2006г.**