

Уравнение теплового баланса. Решение задач

10 класс



Автор:

Прокопенко Галина Анатольевна
МОУ «Тимоновская СОШ»
Валуйского района

Подведем итог

Уравнения для решения задач на тепловые процессы

Процессы, происходящие
с одним телом

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

Для замкнутой системы тел;
горячее + холодное

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

Есть приток энергии извне;
например, энергия
от сгорающего топлива

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + \dots$$



Задача № 1. В железный котёл массой 5 кг налита вода массой 10 кг. Какое количество теплоты нужно передать котлу с водой для изменения их температуры от 10 до 100 °С?

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг}$$

$$c_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m_2 = 10 \text{ кг}$$

$$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_1 = 10 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 ^\circ\text{C}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Количество теплоты, полученное котлом, равно:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t_1),$$

$$Q_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ кг} \cdot 90 ^\circ\text{C} \approx 207\,000 \text{ Дж} = 207 \text{ кДж}.$$

Количество теплоты, полученное водой, равно:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_1),$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 10 \text{ кг} \cdot 90 ^\circ\text{C} \approx 3\,780\,000 \text{ Дж} = 3780 \text{ кДж}.$$

На нагревание и котла, и воды израсходовано количество теплоты: $Q = Q_1 + Q_2$,

$$Q = 207 \text{ кДж} + 3780 \text{ кДж} = 3987 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q = 3987 \text{ кДж}$.

Задача № 2. Смешали воду массой 0,8 кг, имеющую температуру 25 °С, и воду при температуре 100 °С массой 0,2 кг. Температуру полученной смеси измерили, и она оказалась равной 40 °С. Вычислите, какое количество теплоты отдала горячая вода при остывании и получила холодная вода при нагревании. Сравните эти количества теплоты.

Дано:

$$m_1 = 0,2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,8 \text{ кг}$$

$$c_1 = c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_1 = 25 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 ^\circ\text{C}$$

$$t = 40 ^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = ?$$

$$Q_2 = ?$$

Решение:

Горячая вода остыла от 100 до 40 °С, при этом она отдала количество теплоты:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t),$$

$$Q_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ кг} \times \\ \times (100 ^\circ\text{C} - 40 ^\circ\text{C}) = \\ = 50\,400 \text{ Дж.}$$

Холодная вода нагрелась с 25 до 40 °С и получила количество теплоты:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_1),$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,8 \text{ кг} \cdot (40 ^\circ\text{C} - 25 ^\circ\text{C}) = \\ = 50\,400 \text{ Дж.}$$

$$\text{Ответ: } Q_1 = 50\,400 \text{ Дж, } Q_2 = 50\,400 \text{ Дж.}$$



Задача № 3. Стальная деталь
массой 3 кг нагрелась от 25 до 45 °С.
Какое количество теплоты было
израсходовано?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 500 \text{ Дж/кг }^{\circ}\text{C}$$

$$Q = ?$$

Решение:

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

$$Q = 500 \text{ Дж/кг }^{\circ}\text{C} \cdot 3 \text{ кг} \cdot (45 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 30000 \text{ Дж} = 30 \text{ кДж}$$

Ответ: 30 кДж

Задача № 4. В сосуде содержится 3 л воды при температуре 20°C . Сколько воды при температуре 45°C надо добавить в сосуд, чтобы в нём установилась температура 30°C ? Необходимый свободный объём в сосуде имеется. Теплообменом с окружающей средой пренебречь

Дано:

$$\begin{aligned} V_1 &= 3 \text{ л} \\ t_1 &= 20^\circ\text{C} \\ t_2 &= 45^\circ\text{C} \\ t &= 30^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$V_2 = ?$$

СИ:

$$3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Решение:

Для решения данной задачи воспользуемся уравнением теплового баланса: количество теплоты Q_1 , полученное холодным телом, равно по модулю количеству теплоты Q_2 , отданному горячим телом:

$$|Q_1| = |Q_2|, \text{ или } Q_1 = -Q_2.$$

Тогда

$$Q_1 = cm_1(t - t_1), \quad m_1 = \rho V_1;$$

$$Q_2 = cm_2(t - t_2), \quad m_2 = \rho V_2.$$

Согласно уравнению теплового баланса

$$c\rho V_1(t - t_1) = -c\rho V_2(t - t_2) \rightarrow V_1(t - t_1) = V_2(t_2 - t).$$

Следовательно, $V_2 = V_1(t - t_1)/(t_2 - t)$.

Установим наименование полученной величины:

$$[V_2] = \text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}/^\circ\text{C} = \text{м}^3.$$

Такое наименование соответствует наименованию единицы объёма.

Подставив числовые значения, получим

$$V_2 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot (30 - 20)/(45 - 30) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 (2 \text{ л}).$$

Ответ: 2 л.

Задача № 5. На сколько градусов изменилась температура чугунной детали массой 12 кг, если при остывании она отдала 648000 Дж теплоты?

Дано:

$$m = 12 \text{ кг}$$

$$Q = 648000 \text{ Дж}$$

$$c = 540 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$$

$$(t_2 - t_1) = ?$$

Решение:

$$Q = cm(t_2 - t_1); \quad t_2 - t_1 = \frac{Q}{cm}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{648000 \text{ Дж}}{540 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C} \cdot 12 \text{ кг}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: на $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

Задача № 6.

В калориметре находился 1 кг льда. Какой была температура льда, если после добавления в калориметр 20 г воды, имеющей температуру 20 °С, в нем установилось тепловое равновесие при - 2 °С? (Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.)

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$m_2 = 15 \text{ г} = 0,015 \text{ кг}$$

$$t = - 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{кв}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_1 = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$$

$$c_2 = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$$

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

$$t_1 - ?$$

m_1 – масса льда

m_2 – масса воды

t – температура теплового равновесия

t_2 – начальная температура воды

$t_{\text{кв}}$ – температура кристаллизации воды

t_1 – начальная температура льда

Q – количество теплоты, необходимое для нагревания льда

c_1 – удельная теплоемкость льда

Q_1 – количество теплоты, отдаваемое водой при охлаждении ее до температуры кристаллизации

c_2 – удельная теплоемкость воды

λ – удельная теплота кристаллизации воды

Q_2 – количество теплоты, выделяющейся при кристаллизации воды

Q_3 – количество теплоты, выделяющейся при охлаждении льда, полученного из воды

Решение задачи

Количество теплоты, необходимое для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры теплового равновесия найдем по формуле:

$$Q = c_1 m_1 (t - t_1). \quad (1)$$

Количество теплоты, отдаваемое водой при охлаждении ее до температуры кристаллизации равно:

$$Q_1 = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{кв}}). \quad (2)$$

Количество теплоты, выделяющейся при кристаллизации воды при температуре кристаллизации, найдем следующим образом:

$$Q_2 = \lambda m_2. \quad (3)$$

Количество теплоты, выделяющейся при охлаждении льда, полученного из воды, до температуры теплового равновесия будет равным:

$$Q_3 = c_1 m_2 (t_{\text{КВ}} - t). \quad (4)$$

Составим теперь уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (5)$$

Перепишем его с учетом выражений (1) – (4):

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{КВ}}) + \lambda m_2 + c_1 m_2 (t_{\text{КВ}} - t).$$

Выразим отсюда начальную температуру льда, находившегося в калориметре до добавления воды:

$$c_1 m_1 t - c_1 m_1 t_1 = c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{KB}}) + \lambda m_2 + c_1 m_2 (t_{\text{KB}} - t),$$

$$c_1 m_1 t_1 = c_1 m_1 t - c_2 m_2 (t_2 - t_{\text{KB}}) - \lambda m_2 - c_1 m_2 (t_{\text{KB}} - t),$$

$$c_1 m_1 t_1 = c_1 m_1 t - m_2 (c_2 (t_2 - t_{\text{KB}}) + \lambda + c_1 (t_{\text{KB}} - t)),$$

$$t_1 = \frac{c_1 m_1 t - m_2 (c_2 (t_2 - t_{\text{KB}}) + \lambda + c_1 (t_{\text{KB}} - t))}{c_1 m_1}.$$

Подставим данные и найдем численный ответ:

Задача № 7.

Цилиндр массой 300 г, нагретый до температуры 100°C , опускают в железный калориметр с водой. Масса калориметра 100 г, масса воды 200 г, их начальная температура 23°C . В результате установления равновесия температура в сосуде стала равной 30°C . Чему равна удельная теплоемкость вещества, из которого изготовлен цилиндр? Ответ дайте в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$. Потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь. Ответ округлите до целых.

Решение.

В теплообмене участвовали три тела: цилиндр, вода и железный калориметр. Между этими телами происходил теплообмен. Запишем уравнение теплообмена $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$. Количество теплоты, отданное цилиндром, $Q_1 = m_{\text{ц}} c_{\text{ц}} (t - t_1)$. Количество теплоты, полученное водой, $Q_2 = m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t - t_2)$. Количество теплоты, полученное калориметром, $Q_3 = m_{\text{ж}} c_{\text{ж}} (t - t_2)$. Тогда удельная теплоемкость вещества, из которого изготовлен цилиндр,

$$c = \frac{(m_{\text{в}} c_{\text{в}} + m_{\text{ж}} c_{\text{ж}})(t - t_2)}{m_{\text{ц}}(t_1 - t)} = \frac{(0,2 \cdot 4200 + 0,1 \cdot 460) \cdot (30 - 23)}{0,3 \cdot (100 - 30)} \approx 295 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Ответ: 295.

Спасибо за урок!