

§27. Эти загадочные вода и лед...

§17



При изучении тепловых процессов в классе была предложена серия из трех задач на применение закона сохранения энергии (**уравнение теплового баланса**). Решите эти задачи в группе, обсудите, познакомьтесь с дискуссией, которая развернулась в нашем классе, и запишите вывод.

Предсказать температуру, которая установится в конечном счете в термосе (потери тепла и теплоемкостью термоса пренебречь), в следующих случаях:

1. В термос поместили 500 г воды при температуре $+10^\circ\text{C}$ и 500 г воды при температуре $+30^\circ\text{C}$.
2. В термос поместили 500 г воды при температуре $+10^\circ\text{C}$ и 500 г спирта при температуре -10°C .
3. В термос поместили 500 г воды при $+10^\circ\text{C}$ и 500 г льда при температуре -10°C .

Дискуссия в классе:

1. Разногласия не возникли только по первой задаче, так как всем было очевидно – установится температура 20°C . **Здесь можно даже обойтись без табличных данных, так как при смешивании горячей и холодной воды работает простая формула, выведенная Рихманом:**

$$t_{\text{см}} = \frac{m_{\text{Г}}t_{\text{Г}} + m_{\text{Х}}t_{\text{Х}}}{m_{\text{Г}} + m_{\text{Х}}}.$$

А в случае смешивания равных масс воды формула еще упрощается – температура смеси равна среднему арифметическому температур:

$$t_{\text{см}} = \frac{t_{\text{Г}} + t_{\text{Х}}}{2}.$$

2. При обсуждении второй задачи никто не предложил искать среднее арифметическое температур воды и спирта, так как ясно, что **смешиваются разные вещества с разной удельной теплоемкостью**. Даже не прибегая к таблицам **Аня** предположила, что температура смеси будет больше 0°C , так как у воды аномально большая теплоемкость. Действительно, в таблицах мы нашли, что $c_{\text{сп}} \approx 0,6 \text{ кал}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$, почти вдвое меньше $c_{\text{в}}$.

Для решения надо воспользоваться уравнением теплового баланса:

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}.$$

Отдает тепло вода: $Q_{\text{отд}} = c_{\text{в}} m (t_{\text{в}} - t_{\text{см}})$.

Получает тепло спирт: $Q_{\text{пол}} = c_{\text{сп}} m (t_{\text{см}} - t_{\text{сп}})$.

Поскольку равны левые части, приравняем правые: $c_{\text{в}} m (t_{\text{в}} - t_{\text{см}}) = c_{\text{сп}} m (t_{\text{см}} - t_{\text{сп}})$.

После сокращения и раскрытия скобок получим: $c_{\text{в}} t_{\text{в}} - c_{\text{в}} t_{\text{см}} = c_{\text{сп}} t_{\text{см}} - c_{\text{сп}} t_{\text{сп}}$.

Перенесем слагаемые, включающие искомую температуру смеси, в правую часть равенства, а остальные – в левую: $c_{\text{в}} t_{\text{в}} + c_{\text{сп}} t_{\text{сп}} = c_{\text{сп}} t_{\text{см}} + c_{\text{в}} t_{\text{см}} \Rightarrow t_{\text{см}} = \frac{c_{\text{в}} t_{\text{в}} + c_{\text{сп}} t_{\text{сп}}}{c_{\text{в}} + c_{\text{сп}}}$.

Против такого решения возразил только **Боря** – он считал, что вода и спирт вступают в химическую реакцию с выделением тепла, поэтому температура смеси будет выше. Узнайте у учителя химии или из справочной литературы, прав ли **Боря**. Если он прав, выясните, какая температура смеси установится после завершения реакции.



Для обработки экспериментальных данных можно воспользоваться лабораторными работами «Исследование зависимости количества выделенного тепла от массы охлаждающейся воды» и «Сравнение теплоемкостей воды и масла»

3. По третьей задаче высказались несколько человек.

Вика предположила, что температура смеси равна 0°C (среднее арифметическое -10°C и $+10^\circ\text{C}$).

Галя считала, что такого быть не может (удельные теплоемкости льда и воды разные).

Дима утверждал, что надо учесть плавление льда.

Женя отчасти поддержала **Диму** (возможно, не лед плавится, а вода замораживается).

Тщательные эксперименты, проведенные в классе, показали, что спустя продолжительное время в термосе установилась температура 0°C . Кто из учеников оказался прав?

Пока часть учеников проводила эксперименты, две группы решали задачу: группа **Зои** проверяла предположения **Димы** и **Жени**, а группа **Игоря** – **Вики** и **Гали**.



Группа **Игоря**:

Если лед не будет плавиться, а вода кристаллизоваться, можно воспользоваться формулой, полученной в предыдущей задаче:

$$t_{\text{см}} = \frac{c_{\text{в}}t_{\text{в}} + c_{\text{л}}t_{\text{л}}}{c_{\text{в}} + c_{\text{л}}} = \frac{10 - 0,5 \cdot 10}{1 + 0,5} \approx 3,3^\circ\text{C}$$

Казалось бы, права оказалась **Галя**, но ведь эксперимент показал, что права **Вика** – температура смеси все-таки равна 0°C ! Распутать ситуацию оказалось непросто. Как это нередко случается, **Вика** получила правильный ответ благодаря тому, что совершила две ошибки:

- 1) не учла агрегатных превращений;
- 2) не учла различия в удельных теплоемкостях воды и льда.

Если же учесть различия в удельных теплоемкостях, как советовала **Галя**, мы получим абсурдный результат: в термосе находится смесь льда и воды при положительной температуре. Всем известно, что в обычных условиях лед не может находиться при $t > 0^\circ\text{C}$!

Группа **Зои**:

1. Найдем количество теплоты, которое выделит вода при охлаждении до 0°C :

$$Q_{\text{отд}} = 1 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 500 \text{ г} \cdot 10^\circ\text{C} = 5000 \text{ кал.}$$

2. Найдем количество теплоты, которое поглотит лед при нагревании до 0°C :

$$Q_{\text{пол}} = 0,5 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 500 \text{ г} \cdot 10^\circ\text{C} = 2500 \text{ кал.}$$

3. Найдем количество теплоты, которое необходимо сообщить льду, чтобы его расплавить:

$$Q_{\text{пол}} = 80 \frac{\text{кал}}{\text{г}} \cdot 500 \text{ г} = 40\,000 \text{ кал.}$$

4. Найдем массу растаявшего льда:

$$m = \frac{Q_{\text{отд}} - Q_{\text{пол}}}{\lambda} = \frac{5000 \text{ кал} - 2500 \text{ кал}}{80 \frac{\text{кал}}{\text{г}}} \approx 31 \text{ г.}$$

Вы можете потренироваться в составлении и решении задач на уравнение теплового баланса с помощью «Конструктора задач на теплообмен».

