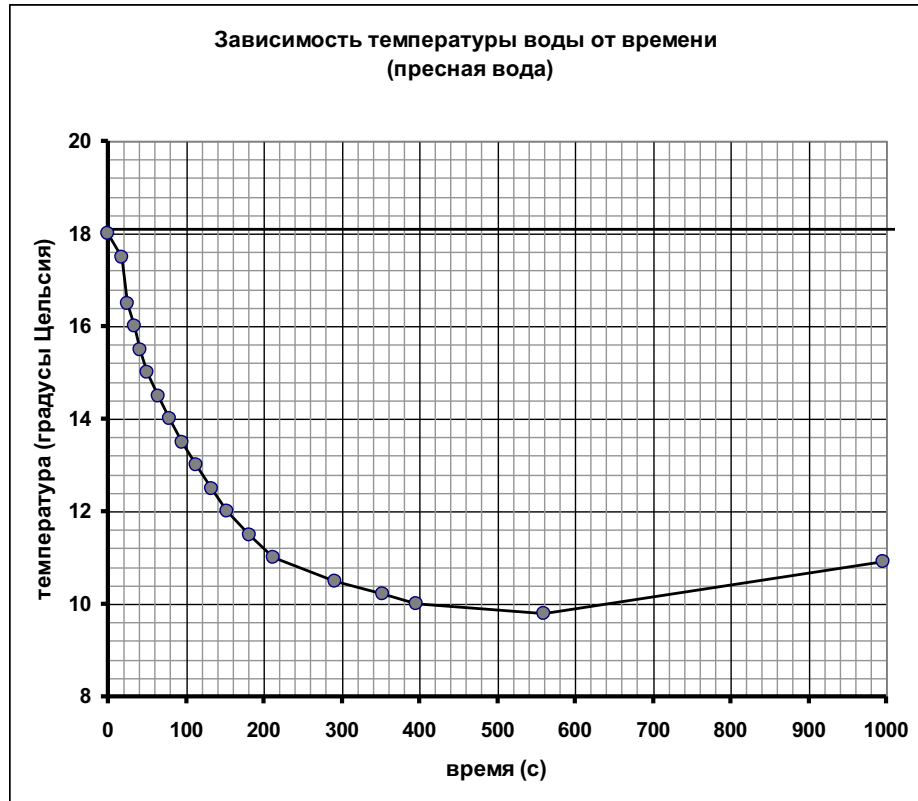


## 9 класс «Плавление льда»

### Часть 1. Плавление льда в пресной воде.

1.1 Примерная масса кусочка льда  $m_0 \approx 9,0\text{г}$ .

1.2 График зависимости температуры воды от времени в течение плавления льда приведен ниже.



1.3 Судя по графику, плавление льда закончилось, когда температура воды достигла минимального значения, то есть в момент времени  $\tau = 561\text{с}$ .

Допустимо также считать, что плавление началось не в начальный момент времени, а при  $\tau = 18\text{с}$ , потому что в этой точке скорость уменьшения температуры заметно возросла.

1.4 За время плавления льда температура воды понизилась от  $t_1 = 18^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 9,8^\circ\text{C}$ . Если пренебречь теплообменом, то вся теплота, выделившаяся при остывании воды пошла на плавление льда. В этом случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$cm(t_1 - t_2) = \lambda m_0, \quad (1)$$

где  $m = 75\text{г}$  – масса воды в стакане,  $\lambda$  – удельная теплота плавления льда.

Из этого уравнения следует формула для расчета удельной теплоты плавления льда

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2)}{m_0}. \quad (2)$$

Подстановка численных значений приводит к результату

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2)}{m_0} = 2,9 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (3)$$

1.5 Прежде всего отметим, что в данном случае поток теплоты направлен из воздуха в воду, так как температура воды меньше, чем температура окружающей среды.

Мощность потока теплоты пропорциональна разности температур, поэтому может быть представлена в виде

$$P = \beta(t_0 - t). \quad (4)$$

Так как температура воды в стакане постоянно изменяется, то необходимо разбить весь промежуток времени на малые интервалы  $\Delta\tau_i$  и просуммировать по всем малым интервалам:

$$Q = \sum_i \beta(t_i - t_0)\Delta\tau_i = \beta \sum_i (t_i - t_0)\Delta\tau_i. \quad (5)$$

Последняя сумма численно равна площади между кривой зависимости  $t(\tau)$  и горизонтальной прямой  $t = t_0$ .

Для определения коэффициента пропорциональности следует воспользоваться данными по нагреванию воды (после того, как весь лед расплавился). На рисунке показано разбиение требуемых площадей на интервалы. Площадь трапеции  $A_4A_5B_5B_4$  (участок нагрева) численно равна

$$S_0 \approx 3370 \text{ град} \cdot \text{с}$$

Этой площади соответствует нагрев воды на  $(\Delta t)_2 = 1,1^\circ\text{C}$ .

Площадь криволинейной трапеции  $A_0A_4B_4$  (этап остывания вследствие плавления) равна

$$S = 3660 \text{ град} \cdot \text{с} \quad (6)$$

Количество поступившей на этом этапе теплоты эквивалентно нагреву воды на величину

$$(\Delta t)_1 = \frac{S}{S_0} (\Delta t)_2 \approx 1,08^\circ\text{C}. \quad (7)$$

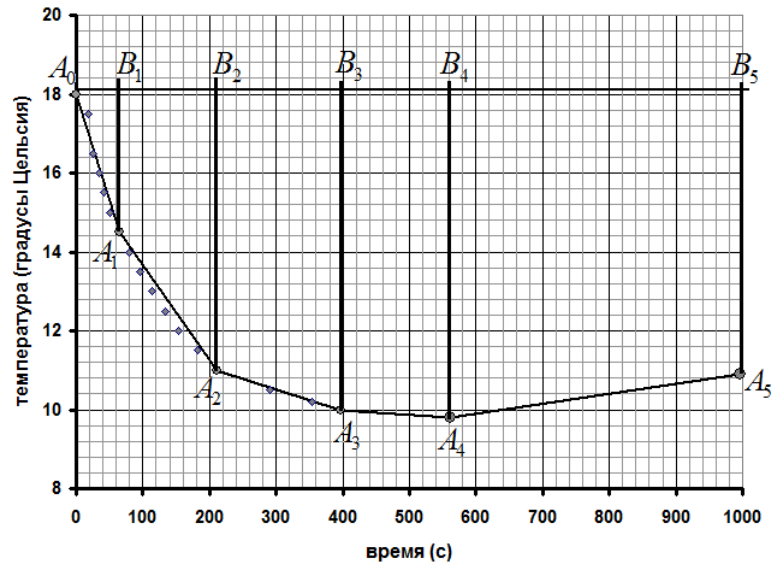
Можно также сразу заметить, что эти площади примерно равны, поэтому можно считать, что за время плавления вода получила такое же количество теплоты, какое и отдала на этапе нагрева после окончания плавления. Иными словами, для уточнения значения удельной теплоты плавления к разности температур необходимо прибавить величину  $(\Delta t)_1$ . Такой пересчет приводит к уточненному значению удельной теплоты плавления

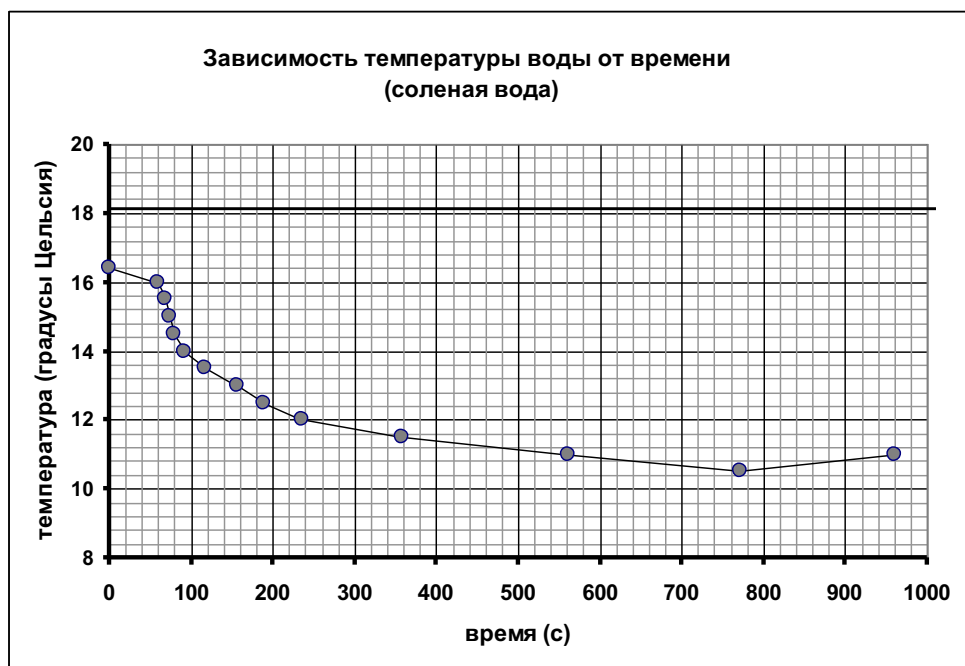
$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2 + (\Delta t)_1)}{m_0} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \quad (8)$$

что очень близко к табличному значению.

## Часть 2. Плавление льда в растворе соли.

2.1 График зависимости температуры воды от времени в течение плавления льда приведен ниже.





2.2 В этом случае удельная теплота плавления оказывается равной

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2)}{m_0} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3} (16 - 10,5)}{9 \cdot 10^{-3}} = 1,9 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (9)$$

Отметим, что в данном случае на графике явно видно, что плавление льда началось «со второй точки», где график резко пошел вниз. Таким образом, оказывается, что удельная теплота плавления льда в соленой воде значительно меньше, чем в пресной.

### **Часть 3. Сравнение процесса плавления в пресной и соленой воде.**

3.1 Основными причинами возникновения погрешностей измерения удельной теплоты плавления являются:

- неточность определения массы льда;
- сложность определения начала и окончания плавления (следовательно, и изменения температуры воды).

Остальные причины (погрешности измерения температур и времени, большой шаг времени и т.д.) вносят несущественные поправки.

3.2 Скорость плавления льда зависит от многих факторов, главными из которых являются:

- разность температур воды и льда;
- размер кусочка льда (главным образом, площадь его поверхности);
- вязкости жидкости (от нее зависит эффективность перемешивания).

Экспериментальные данные не позволяют утверждать, что в соленой воде лед плавится быстрее – времена плавления оказываются примерно одинаковыми.

3.3 Поэтому основным фактором влияния на процесс плавления является уменьшение удельной теплоты плавления.

Пункт задачи	Содержание	Всего за пункт	Баллы
1.1	Рассчитаны объем и масса кусочка льда	<b>0,5</b>	0,25 0,25
1.2	Построение графика: Оси подписаны и оцифрованы; Нанесены все точки в соответствии с таблицей; Проведена сглаживающая линия.	<b>3</b>	0,5 2 0,5
1.3	Правильно указаны временной диапазон плавление льда	<b>0,5</b>	0,25 0,25
1.4	Значение удельной теплоты: Формула; Численное значение отличие не более 25% (не более 40%, более)	<b>3</b>	1 2(1;0)
1.5	Правильно указана площадь	<b>1</b>	1
1.6	Правильный расчет удельной теплоты плавления льда, учитывая теплообмен с окружающей средой	<b>2</b>	2
<b>Часть 2. Плавление льда в растворе соли.</b>			
2.1	Построение графика: Оси подписаны и оцифрованы; Нанесены все точки в соответствии с таблицей; Проведена сглаживающая линия.	<b>3</b>	0,5 2 0,5
2.2	Определено приближенное значение удельной теплоты плавления льда в соленой воде, пренебрегая теплообменом.	<b>1,5</b>	1,5
3.1	По 0,25 балла за каждую правильно названные факторы	<b>0,5</b>	0,25*2
3.2	По 0,25 балла за каждую правильно названные факторы	<b>1,0</b>	0,25*4