

Условие

Задача 9-2. «Плавление льда»

Оценка погрешностей в данной работе не требуется. Тем не менее, старайтесь проводить измерения тщательно и аккуратно. При ответе на качественные вопросы (3.1 – 3.3, 4.2) будьте предельно краткими – если сказано перечислить, то просто перечислите, без лишних комментариев.

В данной работе Вам необходимо исследовать процесс плавления льда в чистой воде и насыщенном растворе поваренной соли. Может, вы поймете, зачем зимой дороги посыпают солью!

Оборудование: пластиковый стаканчик с отметкой объема 75 мл, электронный термометр, секундомер, линейка, 3 куска льда, пресная вода, раствор поваренной соли, соль поваренная, одноразовая тарелка.

Для вас приготовлено только 3 куска льда в холодильнике. Каждый кусок льда будет выдаваться по вашему требованию. Прежде чем приступать к измерениям дайте льду нагреться до температуры плавления.

Справка:

Плотность воды (и соляного раствора) $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Плотность льда $\rho_1 = 0,90 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Считайте, что мощность теплообмена между водой в стакане и окружающей средой пропорциональна разности их температур.

Часть 1. Плавление льда в пресной воде.

В данной части вам необходимо измерить зависимость температуры воды в стакане от времени при плавлении льда. Для этого предлагаем вам следующую последовательность работы:

- налейте 75 мл (по отметке на стакане) пресной воды при комнатной температуре; - попросите, чтобы вам принесли кусок льда; - т.к. лед находился в морозильнике, его температура меньше температуры плавления (0°C), поэтому необходимо немного подождать, чтобы он нагрелся до температуры плавления; в это время измерьте его геометрические размеры, рассчитайте объем и массу полученного кусочка льда; - поместите в стакан термометр, опустите в него лед, запустите секундомер; - проведите измерения зависимости температуры воды в стакане от времени; измерения продолжайте до тех пор, пока весь лед не расплавится, после этого температура воды начнет повышаться, продолжайте измерения до тех пор, пока температура воды не повысится примерно на 1°C

1.1 Укажите в своей работе комнатную температуру. 1.2 Укажите значение массы кусочка льда. 1.3 В таблице приведите результаты измерения зависимости температуры воды в стакане от времени. 1.4 Постройте график полученной зависимости. 1.5 Укажите, в каком временном диапазоне происходило плавление льда. 1.6 Пренебрегая теплообменом стакана с окружающей средой, рассчитайте на основании своих экспериментальных данных удельную теплоту плавления льда. При расчетах можно считать, что масса воды в стакане значительно больше массы кусочка льда.

Теперь вам необходимо уточнить полученное значение удельной теплоты плавления, учитывая теплообмен с окружающей средой (через боковые стенки, дно стакана и свободную поверхность жидкости). Так как мощность теплообмена пропорциональна разности температур стакана и окружающей среды, то количество переданной теплоты, может быть выражено через определенную площадь на графике зависимости температуры от времени.

1.7 Укажите, какая площадь на графике пропорциональна количеству переданной теплоты посредством теплообмена. 1.8 Рассчитайте удельную теплоту плавления льда, учитывая теплообмен с окружающей средой.

Часть 2. Плавление льда в растворе соли.

Проведите измерения и расчеты аналогичные Части 1, для плавления льда в растворе соли. Вы должны привести в работе: - комнатную температуру (она же может измениться); - значение массы кусочка льда; - таблицу измерений зависимости температуры содержимого стакана от времени, график полученной зависимости; - приближенное значение удельной теплоты плавления льда в соленой воде (если пренебречь теплообменом); - уточненное значение удельной теплоты плавления льда в соляном растворе (с учетом теплообмена); - уточнять значение удельной теплоты плавления с учетом теплообмена не требуется.

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

3.1 Укажите основные физические факторы, влияющие на погрешность определения удельной теплоты плавления льда в данных экспериментах. 3.2 От чего зависит скорость плавления льда в жидкости? Можно ли утверждать, что в соленой воде лед плавится быстрее? 3.3 Какая физическая характеристика процесса плавления оправдывает использование соли для устранения гололеда на дорогах в зимнее время (или зачем дороги посыпают солью)?

Часть 4. Очень быстрое плавление.

Раздробите кусок льда и засыпьте его в стакан, добавьте немного соленой воды (так, чтобы она только покрывала лед, щедро посыпьте солью). Быстро и активно (но аккуратно) перемешивайте смесь в стакане.

4.1 Укажите, до какой минимальной температуры вам удалось охладить смесь таким образом?

4.2 Укажите физические причины, по которым смесь так быстро и сильно охлаждается.

Решение

**<u>Задача 9-2. «Плавление льда»

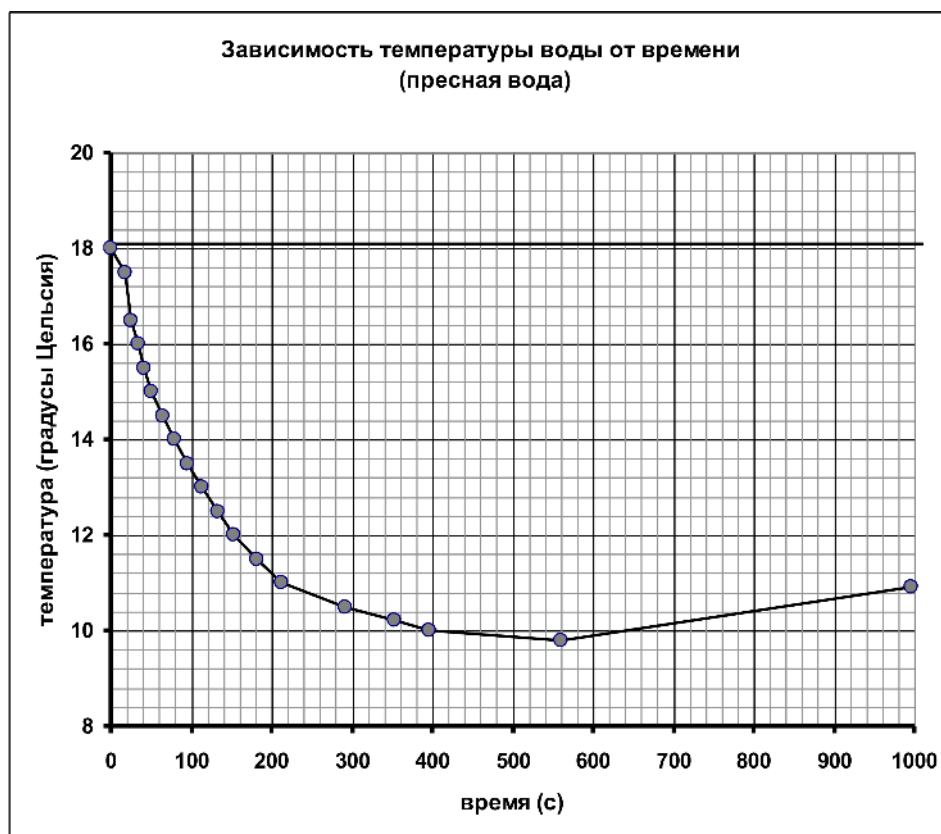
Часть 1. Плавление льда в пресной воде.</u>**

1.1 Измерения проводились при комнатной температуре $t_0 = 18,1^\circ\text{C}$.

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

1.3-1.4 Результаты измерений зависимости температуры воды от времени в течение плавления льда приведены в таблице 1 и на графике.

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{с}$
18,0	0
17,5	18
16,5	26
16,0	34
15,5	41
15,0	50
14,5	65
14,0	79
13,5	96
13,0	113
12,5	133
12,0	153
11,5	182
11,0	212
10,5	291
10,2	353
10,0	397
9,8	561
10,9	996



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

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

1.6 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, λ - 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

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2)}{m_0} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}(18,0 - 9,8)}{9 \cdot 10^{-3}} = 2,9 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (3)$$

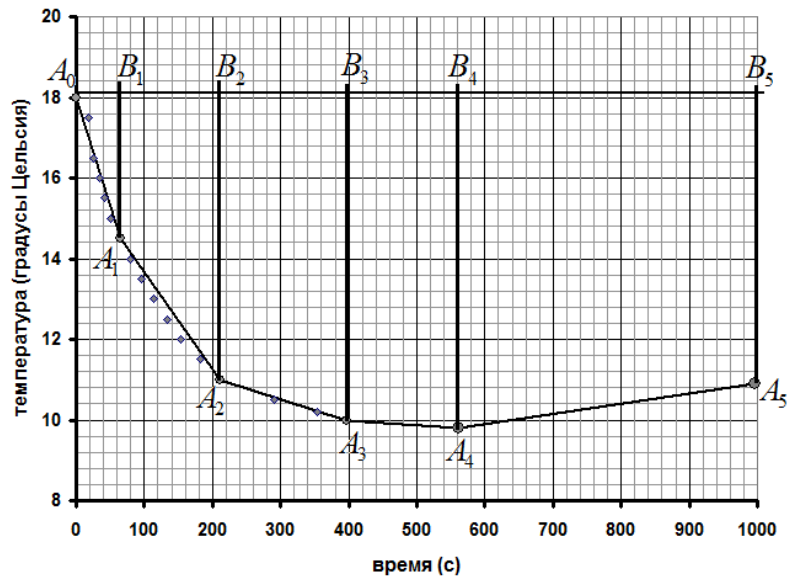
1.7 Прежде всего отметим, что в данном случае поток теплоты направлен из воздуха в воду, т.к. температура воды меньше, чем температура окружающей среды. Мощность потока теплоты пропорциональна разности температур, поэтому может быть представлена в виде

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

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

$$\lambda = \frac{cm(t_1 - t_2 + (\Delta t)_1)}{m_0} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}(18,0 - 9,8 + 1,1)}{9 \cdot 10^{-3}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (8)$$

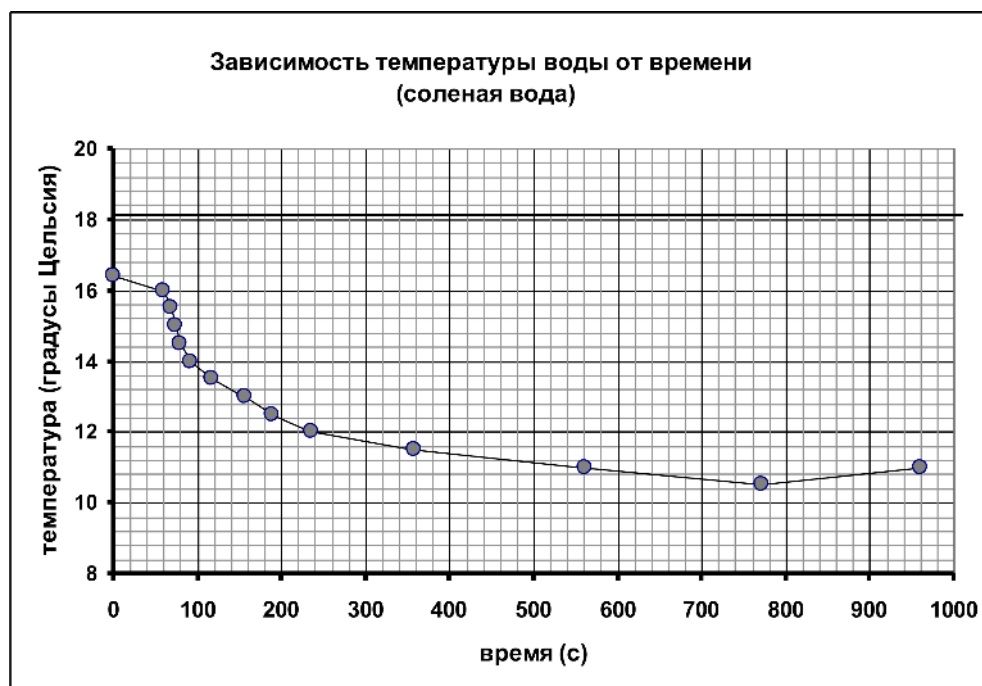
Что очень близко к табличному значению.

Часть 2. Плавление льда в растворе соли.

2.3-2.4 Результаты измерений зависимости температуры воды от времени в течение плавления льда приведены в таблице 1 и на графике.

Таблица 2.

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{с}$
16,4	0
16,0	59
15,5	68
15,0	74
14,5	79
14,0	92
13,5	117
13,0	156
12,5	189
12,0	235
11,5	358
11,0	561
10,5	772
11,0	961



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 плавиться быстрее – времена плавления оказываются примерно одинаковыми.

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

Часть 4. Очень быстрое плавление.

4.1 В указанных условиях температура смеси достигает отрицательных значений (в наших измерения до $-2^{\circ}C$).

4.2 Причинами такого сильного остывания являются: - очень быстрое плавление из-за сильного перемешивания; - малое количество теплоты, поступающего из воздуха из-за малости времени плавления; - малое количество налитой воды, в которой происходит плавление; - уменьшение температуры плавления при увеличении солености воды.