

## -1 Теплота растворения

### Условие

#### Задание 9-1 Теплота растворения.

*Оценивать погрешности в этой задаче не нужно! Этот эксперимент вы сможете провести максимум один раз! Поэтому внимательно прочитайте все условие, разработайте план проведения эксперимента, и только после этого приступайте к измерениям!*

При растворении веществ может происходить как выделение, так и поглощение теплоты. В данном задании вам необходимо исследовать выделение теплоты при растворении хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) в воде. Эта соль не ядовита, но очень горькая – пробовать ее на вкус не рекомендуется!

Так как при растворении жидкость нагревается, то часть теплоты будет уходить в окружающую среду. Вам необходимо учесть эти потери теплоты.

**Приборы и оборудование:** электронный термометр, секундомер, пластиковый стакан, вода, порошок хлорида кальция.

#### Часть 1. Измерения.

1.1. Налейте в пластиковую мензурку 30 мл воды (по мерке на стакане. Измерьте ее температуру  $t_0$ ).

1.2 Последовательно засыпайте в мензурку порции соли (одну чайную ложечку без верха, всего 5 порций). После добавления каждой порции тщательно (но аккуратно) перемешивайте раствор до полного растворения соли. Измерьте температуру раствора после растворения каждой порции  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , а также моменты времени  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$ , в которые вы закончили растворение каждой порции. (Понятно, что секундомер надо запустить сразу после того, как вы засыпали первую порцию).

1.3 Сразу после того, как растворилась последняя порция, запустите секундомер снова и измерьте зависимость температуры раствора от времени в процессе остывания.

#### Часть 2. Расчеты.

2.1 Постройте график зависимости температуры раствора от времени в процессе остывания. Считая (конечно, приближенно), что полученная зависимость линейная, определите коэффициент наклона графика  $K = \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$ . Какой физический смысл имеет этот коэффициент?

2.2. Постройте график измеренной зависимости температуры раствора от массы растворенной соли.

2.3. Рассчитайте, каковы бы были температуры раствора (после растворения очередной порции соли), если бы не было потерь в окружающую среду. Постройте график зависимости рассчитанных температур от массы растворенной соли.

2.4 Рассчитайте, какое количество теплоты выделяется при растворении 1 грамма хлорида кальция в воде.

Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{град}}$ . Масса одной порции (чайной ложки без верха) вам будет указана в ходе выполнения работы.

**Считайте, что полная теплоемкость раствора не зависит от массы растворенной соли и равна теплоемкости чистой воды.**

## Решение

### Задание 9-1 Теплота растворения.

#### Часть 1. Измерения.

1.1 Начальная температура воды  $t_0 = 21^\circ\text{C}$

1.2 В таблице 1 приведены результаты измерений температуры  $t_n^\circ\text{C}$  после растворения  $n$  порций хлорида натрия и времени  $\tau_n$  после окончания растворения очередной порции соли.

**Таблица 1. Растворение хлорида натрия.**

| $n$ | $t_n^\circ\text{C}$ | Время растворения |         |              | $\tilde{t}_n^\circ\text{C}$ |
|-----|---------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------------|
|     |                     | $t$ , мин         | $t$ , с | $\tau_n$ , с |                             |
| 0   | 21                  | 0                 |         | 0            | 21,0                        |
| 1   | 22,4                | 0                 | 12      | 12           | 22,4                        |
| 2   | 24                  | 1                 | 40      | 100          | 24,1                        |
| 3   | 25,5                | 2                 | 25      | 145          | 25,6                        |
| 4   | 27,3                | 3                 | 46      | 226          | 27,4                        |
| 5   | 28,8                | 5                 | 30      | 330          | 29,0                        |

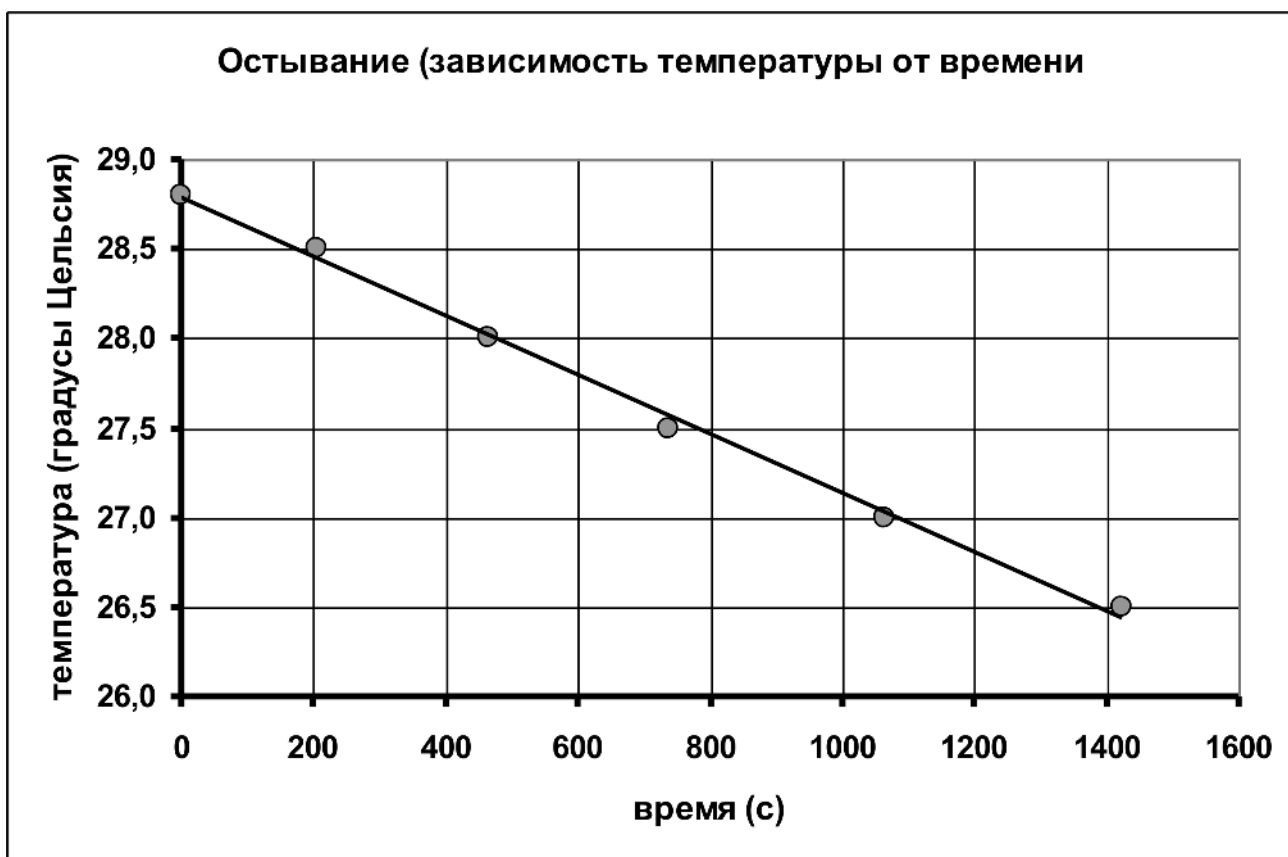
1.3 В Таблице 2 приведены результаты измерений зависимости температуры от времени в процессе остывания.

**Таблица 2. Остывания раствора.**

| $t^{\circ}\text{C}$ | Время растворения |         |              |
|---------------------|-------------------|---------|--------------|
|                     | $t$ , мин         | $t$ , с | $\tau_n$ , с |
| 28,8                |                   | 0       | 0            |
| 28,5                | 3                 | 25      | 205          |
| 28,0                | 7                 | 46      | 466          |
| 27,5                | 12                | 16      | 736          |
| 27,0                | 17                | 46      | 1066         |
| 26,5                | 23                | 45      | 1425         |

## Часть 2. Расчеты.

2.1 График зависимости температуры раствора от времени (построен по данным Таблицы 2) в процессе остывания показан на рисунке.



Полученная зависимость действительно близка к линейной. Коэффициент наклона графика равен

$$K = \frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 1,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{град}}{\text{с}}. \quad (1)$$

Примерная линейность полученной зависимости позволяет считать, что потери теплоты в единицу времени примерно постоянны, т.е. не зависят от температуры. Найденный коэффициент наклона равен изменению температуры раствора за 1 секунду.

2.2 График зависимости температуры от числа растворенных порций соли (по данным таблицы 1) показан на следующем рисунке – точки отмечены кружками.

2.3 Учет потерь теплоты проводится следующим образом. В процессе растворения измерены времена растворения  $\Delta\tau = \tau_n - \tau_{n-1}$  каждой порции. Если эти времена умножить на найденный коэффициент  $K$ , то получим уменьшение температуры вследствие остывания. Поэтому скорректированные значения температур (при отсутствии остывания) рассчитываются по формуле

$$\tilde{t}_n = t_n + K(\tau_n - \tau_{n-1}). \quad (2)$$

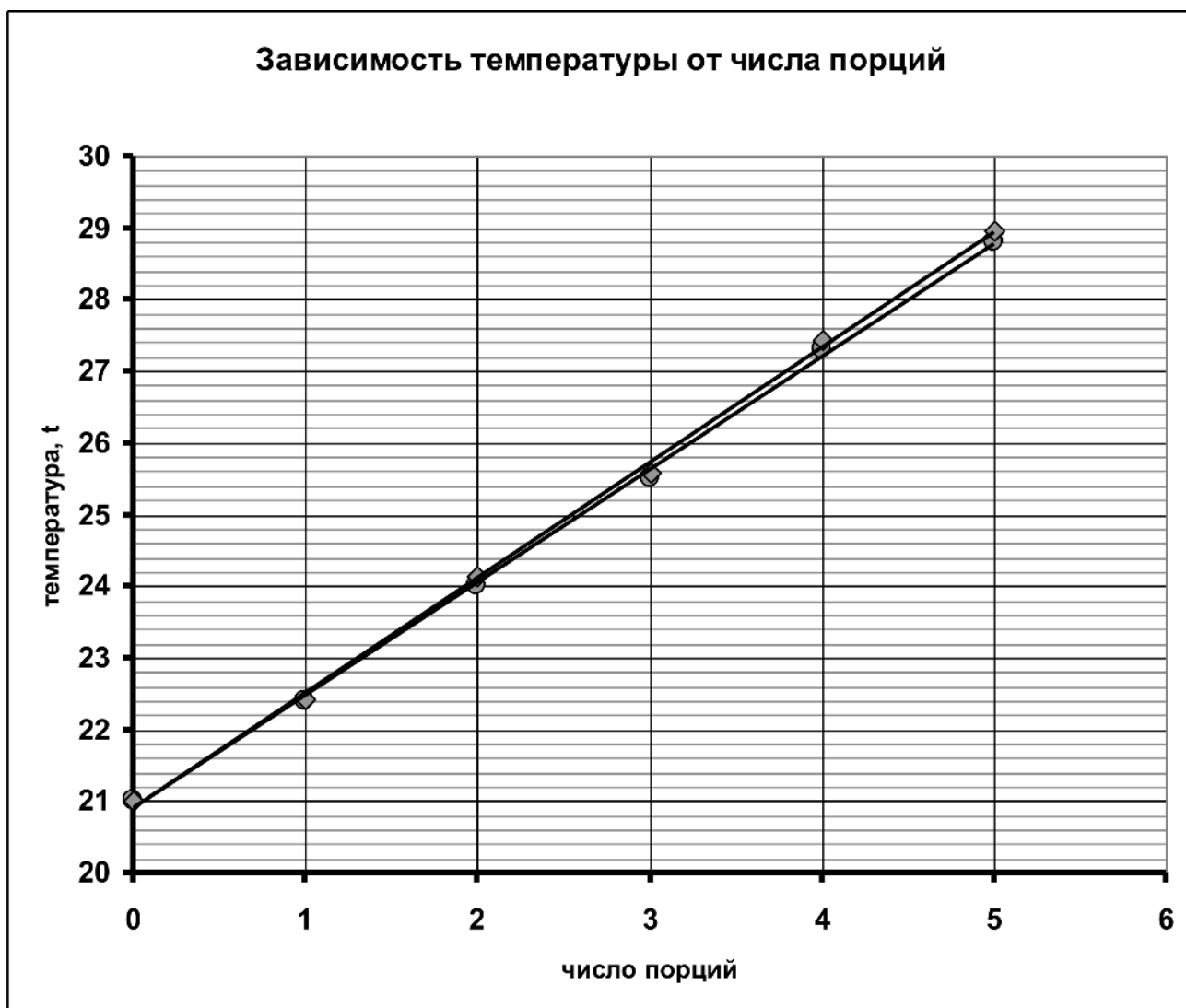
Эти рассчитанные значения приведены в последнем столбце Таблицы 1. График этой зависимости также показан на рисунке (точки отмечены ромбами). Коэффициент наклона этого графика равен

$$a = \frac{\Delta t^\circ}{\Delta n} = 1,6 \frac{\text{градусов}}{\text{порцию}}. \quad (3)$$

Таким образом, при растворении одной порции выделяется теплота, которая идет на нагревание воды (раствора), поэтому это количество теплоты равно

$$q' = cma = 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{градус}} 30 \text{ г} \cdot 1,6 \frac{\text{градусов}}{\text{порцию}} \approx 200 \frac{\text{Дж}}{\text{порцию}}. \quad (4)$$

Масса одной порции равна  $m_0 =$ . Следовательно, удельная теплота растворения хлорида натрия равна



$$q = \frac{q'}{m_0} = 540 \frac{\text{Дж}}{\text{град}}. \quad (5)$$