

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии
в 2023/2024 учебном году**

**Экспериментальный тур
8 КЛАСС**

Задание. Определение содержания кристаллизационной воды в пентагидрате тиосульфата натрия

Кристаллизационной водой называется вода, входящая в структуру кристаллов веществ, называемых кристаллогидратами. Содержание кристаллизационной воды в них обычно отвечает химическим формулам. Например, химическая формула пентагидрата тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ означает, что в этом кристаллогидрате на каждый 1 моль соли $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ приходится 5 моль воды H_2O . Однако при хранении кристаллогидраты могут либо «выветриваться», т.е. терять часть кристаллизационной воды при комнатной температуре, либо «расплываться», т.е. поглощать влагу из воздуха.

Состав кристаллогидрата можно определить, зная его массу кристаллогидрата и массу в нем соли, которую можно определить, используя зависимость плотности раствора от массовой доли соли в растворе. Например, плотность ρ водного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ при различных значениях массовой доли ω соли $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в растворе при 20 °С, имеет следующие значения (таблица 1):

$\omega(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, %	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Плотность, г/мл	1,0065	1,0148	1,0315	1,0483	1,0654	1,0827	1,1003	1,1182	1,1365	1,1551	1,1740

Для экспериментального определения плотности жидкостей (в том числе и растворов) используют метод денсиметрии (методика определения плотности жидкости с помощью денсиметра приведена в приложении 1).

В мерной колбе емкостью 50 мл находится раствор тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, приготовленный в соответствии с Вашим вариантом, с указанием массы израсходованного кристаллогидрата.

Определите состав кристаллогидрата тиосульфата натрия, использованного для приготовления выданного Вам раствора тиосульфата натрия. Проведите мысленный эксперимент, составьте план Ваших действий, опишите Ваши действия и предполагаемый результат.

Проведите реальный эксперимент и приведите его результат. Проведите расчеты и сделайте вывод.

Оборудование на одно рабочее место: 1 мерная колба емкостью 50 мл, 1 цилиндр емкостью 50 мл;

Оборудование на общее рабочее место: 3 ареометра (для трех интервалов плотности: 1,000-1,060; 1,060-1,120; 1,120-1,180).

(30 баллов)

Решение

Рассмотрим решение на примере одного из вариантов. Известно, что для приготовления 50 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ была взята навеска кристаллогидрата, равная **12,4 г**.

1) Определим экспериментального значения плотности ($\rho_{\text{эксп}}$) выданного раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ методом денсиметрии, с использованием методики, описанной в приложении 1.

Пусть плотность раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ равна: $\rho_{\text{эксп}} = 1,120$ г/мл.

2) Определим массовую долю $\omega\%(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ методом интерполяции, описанным в приложении 1, используя справочные данные таблицы 1:

$$\rho_{\text{теор.1}} = 1,1182 \text{ г/мл, ему соответствует } \omega\%,_{\text{теор.1}} = 14\% ;$$

$$\rho_{\text{эксп.}} = 1,12 \text{ г/мл, ему соответствует } \omega\%,_{\text{эксп.}} = x\% ;$$

$$\rho_{\text{теор.2}} = 1,1365 \text{ г/мл, ему соответствует } \omega\%,_{\text{теор.2}} = 16 . .$$

Значения $\rho_{\text{теор.1}}$ и $\rho_{\text{теор.2}}$ — это ближайшие к $\rho_{\text{эксп.}}$ значения из справочника, при этом $\rho_{\text{теор.1}} < \rho_{\text{эксп.}}$, а $\rho_{\text{теор.2}} > \rho_{\text{эксп.}}$. Составляем и решаем пропорцию:

$$(\rho_{\text{теор.2}} - \rho_{\text{теор.1}}) : (\rho_{\text{эксп.}} - \rho_{\text{теор.1}}) = (\omega\%,_{\text{теор.2}} - \omega\%,_{\text{теор.1}}) : (\omega\%,_{\text{эксп.}} - \omega\%,_{\text{теор.1}})$$

$$(1,1365 - 1,1182) : (1,12 - 1,1182) = (16 - 14) : (x - 14)$$

$$x = 14,18, \text{ следовательно } \omega\% (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 14,19\%.$$

3) Рассчитаем массу $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в 50 мл раствора и массу кристаллизационной воды в навеске кристаллогидрата:

$$m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \omega (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot m_{\text{раствора}} = \omega (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot \rho_{\text{эксп}} \cdot V_{\text{раствора}}$$

$$m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1419 \cdot 1,12 \cdot 50 = 7,946 \text{ (г)}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 12,4 - 7,946 = 4,454 \text{ (г)}$$

4) Рассчитаем количество вещества $n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ и $n(\text{H}_2\text{O})$ в навеске кристаллогидрата и определим их соотношение:

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) / M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 7,946 \text{ г} : 158 \text{ г/моль} = 0,05 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 4,454 \text{ г} : 18 \text{ г/моль} = 0,247 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) : n(\text{H}_2\text{O}) = 0,05 : 0,247 = 1 : 4,94$$

5) Значит, химическая формула кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 4,94 \text{ H}_2\text{O}$.

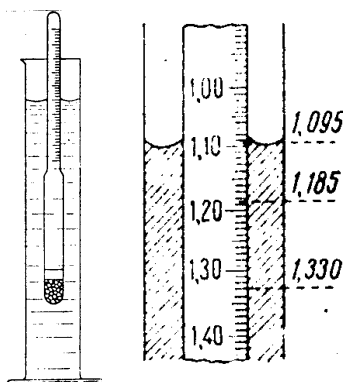
Критерии оценивания

1. План работы	(5 б.)
2. Выполнение эксперимента -	(10 б.)
3. Выполнение расчетов	(10 б.)
4. Оформление отчета	(5 б.)

Приложение 1

Определение плотности жидкости методом денсиметрии

При определении плотности жидкости *методом денсиметрии* используют *денсиметр*, или *ареометр* – прибор, принцип работы которого основан на законе Архимеда. Ареометр представляет собой запаянную стеклянную ампулу с дробью в нижней расширенной части. В верхней узкой части находится шкала, проградуированная в значениях плотности. Для измерения плотности жидкости сухой чистый ареометр помещают в сосуд (*цилиндр*) с этой жидкостью так, чтобы он плавал в этом сосуде, не касаясь его стенок, и одно из делений его шкалы совпало с нижним краем мениска, образуемого поверхностью жидкости. Показания ареометра следует снимать при строго горизонтальном взгляде на нижнюю сторону мениска жидкости. Для измерения плотности выданного Вам раствора тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ необходимо:



- перелить раствор из мерной колбы в цилиндр;
- подобрать подходящий ареометр, осторожно опустить ареометр в раствор;
- по шкале ареометра определить экспериментальное значение плотности ($\rho_{\text{эксп}}$) и записать его.

Для уменьшения погрешности измерений принято выполнять измерения 3 раза, каждый раз выводя ареометр из равновесия.

Определение массовой доли растворенного вещества в растворе

По справочнику устанавливают соответствие между найденным экспериментальным значением плотности ($\rho_{\text{эксп}}$) и значением массовой доли растворенного вещества в растворе. Для определения массовой доли ω соли $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в растворе следует использовать таблицу 1. Если нет полного соответствия между экспериментальным значением плотности ($\rho_{\text{эксп}}$) и табличным значением массовой доли ω соли в растворе, то применяют *метод интерполяции*. Суть метода интерполяции: зависимость массовой доли растворенного вещества в растворе

от плотности раствора в узком интервале значений имеет прямо пропорциональный характер:

$\rho_{\text{теор.1}} =$, ему соответствует $\omega_{\%,\text{теор.1}} =$;

$\rho_{\text{эксп.}} =$, ему соответствует $\omega_{\%,\text{эксп.}} =$;

$\rho_{\text{теор.2}} =$, ему соответствует $\omega_{\%,\text{теор.2}} =$.

Значение $\rho_{\text{теор.1}}$ и $\rho_{\text{теор.2}}$ – это ближайшие к $\rho_{\text{эксп.}}$ значения из справочника, при этом $\rho_{\text{теор.1}} < \rho_{\text{эксп.}}$, а $\rho_{\text{теор.2}} > \rho_{\text{эксп.}}$. Составляют и решают пропорцию:

$$(\rho_{\text{теор.2}} - \rho_{\text{теор.1}}) : (\rho_{\text{эксп.}} - \rho_{\text{теор.1}}) = (\omega_{\%,\text{теор.2}} - \omega_{\%,\text{теор.1}}) : (\omega_{\%,\text{эксп.}} - \omega_{\%,\text{теор.1}})$$