

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ**  
**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**2023-2024 учебный год**

**Решения и критерии оценивания**

**11 класс**

**ЗАДАЧА 1**

Юный химик обнаружил банку с неизвестным кристаллическим порошком белого цвета. Для определения состава он сделал два опыта. В первом опыте он взвесил 5,72 г порошка и нагрел в сушильном шкафу до постоянной массы, которая составила 2,12 г. Затем он растворил полученный порошок в 50 мл воды и прибавил избыток раствора нитрата бария. Образовался осадок массой 3,94 г и массовой долей кислорода в нём 24,37%.

Определите, что за вещество было в банке и напишите уравнения всех реакций.

*Максимальный балл – 10.*

**Решение задачи 1.**

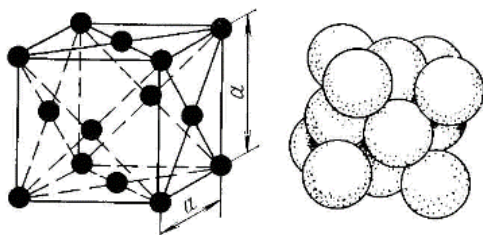
	Действие	Баллы
1	Осадок может образовать только катион бария, а не нитрат-ион, значит, можно попытаться определить неизвестный анион. Так как соль белого цвета это может быть сульфит, сульфат, карбонат или фосфат. Находим массовые доли кислорода во всех этих солях бария: $\text{BaSO}_3$ $\omega(\text{O}) = 3 \cdot 16 / 217 = 22,12\%$ $\text{BaSO}_4$ $\omega(\text{O}) = 4 \cdot 16 / 233 = 27,47\%$ $\text{BaCO}_3$ $\omega(\text{O}) = 3 \cdot 16 / 197 = 24,37\%$ $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ $\omega(\text{O}) = 8 \cdot 16 / 601 = 21,30\%$ Вывод: осадок – карбонат бария.	1,5
2	Находим количество вещества карбоната бария: $n(\text{BaCO}_3) = 3,94 / 197 = 0,02$ моль	0,5
3	Значит, количество карбонат-иона составляет 0,02 моль. Если предположить, что молекула исходного вещества содержит один карбонат-ион, можно найти	2,0

	молекулярную массу вещества после нагревания: $M = 2,12/0,02 = 106$ г/моль	
4	Молекулярная масса катионов в соли составляет $106 - 60 = 46$ г/моль. Подходящим вариантом является карбонат натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3$	2,0
5	Изменение массы в сушильном шкафу может быть связано или с разложением кислой соли или с выделением кристаллизационной воды. Если предположить разложение гидрокарбоната натрия: $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $n(\text{NaHCO}_3) = 5,72/84 = 0,068$ моль Тогда по уравнению реакции: $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{1}{2} * 0,068 = 0,034$ моль, что не соответствует условию задачи.	
6	Тогда исходная соль – кристаллогидрат. $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + x\text{H}_2\text{O}$ Масса воды: $m(\text{H}_2\text{O}) = 5,72 - 2,12 = 3,6$ г $n(\text{H}_2\text{O}) = 3,6/18 = 0,2$ моль Тогда по коэффициентам $x = 10$	2,0
7	Исходная соль $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1,0
		<b>Итого: 10 баллов</b>

## ЗАДАЧА 2

Металл X имеет кубическую гранецентрированную решётку, сторона которой равна  $3,615 \cdot 10^{-10}$  м. Плотность металла  $8,95$  г/см<sup>3</sup>. Благодаря высокой электропроводности находит широкое применение в быту и промышленности. Металл не растворяется в разбавленной серной и соляной кислотах, но растворяется в азотной кислоте и концентрированной соляной на воздухе. Определите металл (подтвердите расчётом) и напишите уравнения описанных реакций.

*Примечание: ячейка кубической гранецентрированной решётки изображена на рисунке:*



Максимальный балл – 10.

### Решение задачи 2.

	Действие	Баллы
1	<p>В кубической гранцентрированной решётке на одну ячейку приходится в среднем 4 атома. То есть, зная количество атомов и объём ячейки, можно вывести формулу для расчёта плотности:</p> $\rho = \frac{m}{V} = \frac{n * M}{a^3} = \frac{N * M}{N_A * a^3}$ <p>Отсюда выводим формулу для расчёта молярной массы (нужно перевести все единицы измерения в одну систему):</p> $M = \frac{\rho * N_A * a^3}{N} = \frac{8,95 * 6,02 * 10^{23} * (3,615 * 10^{-8})^3}{4}$ <p>M = 64 г/моль</p>	5,0
2	Высокая электропроводность и нерастворимость в разбавленных кислотах также указывает на медь	3,0
3	$\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>(или любая другая)</p> $2\text{Cu} + 4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2 по 1,0
		<b>Итого: 10 баллов</b>

### ЗАДАЧА 3

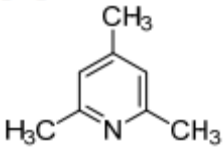
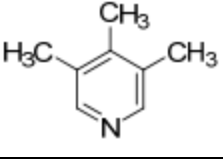
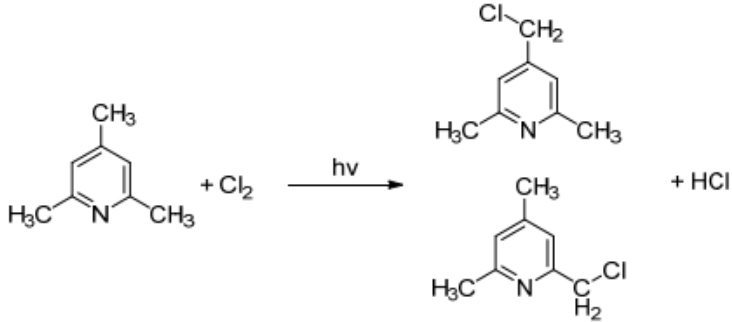
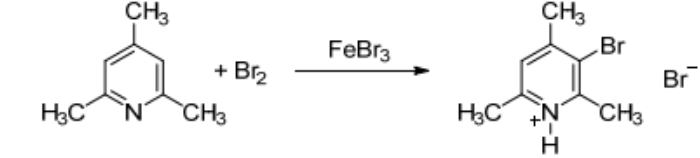
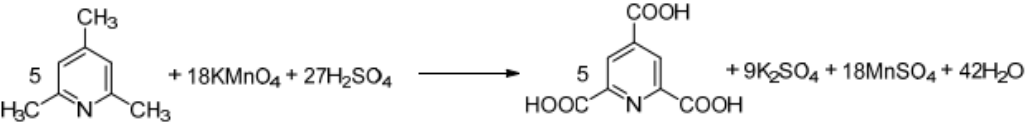
Массовая доля азота в органическом соединении X составляет 11,57%. Это соединение часто применяется в органическом синтезе в качестве основания. О реакционной способности соединения X известно следующее: при взаимодействии соединения X с хлором на свету образуется смесь двух монохлорпроизводных, при реакции с бромом в присутствии бромида железа(III) образуется единственное монобромпроизводное, а окисление X горячим подкисленным раствором перманганата калия происходит без выделения газа.

- Установите возможную структуру соединения X и приведите его систематическое название.
- Напишите уравнения всех описанных реакций.

Максимальный балл – 10.

### Решение задачи 3.

	Действие	Баллы
1	По описанию свойств можно предположить, что это вещество ароматическое.	0,5
2	<p>Если предположить, что в молекуле только один атом азота, то можно найти молекулярную массу:</p> $M = 14/0,1157 = 121 \text{ г/моль}$	1,0

3	Соответственно, молярная масса углеводородного остатка составляет $121 - 14 = 107$ г/моль. Перебирая количество атомов углерода, получаем подходящий остаток $C_8H_{11}$ . Значит, брутто-формула $C_8H_{11}N$	1,0
4	Это может быть или производное анилина, или производное пиридина. Производные пиррола не обладают основными свойствами. Производное анилина с двумя метильными заместителями не может образовать единственное монобромпроизводное. Значит, это производное пиридина.	1,0
5	Подходящими могут быть только симметричные варианты триметилпиридина:  2,4,6-триметилпиридин  3,4,5-триметилпиридин	3,0
6	Реакции с хлором и бромом:  	2 по 1,0
7	Реакция окисления: 	1,5
<i>Итого</i> : <b>10</b> <i>баллов</i>		

#### ЗАДАЧА 4

К раствору, содержащему 7,2 г уксусной кислоты и 5 мл 8% раствора серной кислоты ( $\rho = 1,085$  г/мл), прибавили 6,4 г спирта. Объём раствора составил 100 мл. Спустя некоторое время в растворе установилось равновесие, константа которого составила 5. На полную нейтрализацию полученного раствора ушло 14,4 мл гидроксида натрия с концентрацией 2 моль/л. Определите формулу спирта и напишите уравнение реакции.

*Константа равновесия реакции этерификации:*

$$K = \frac{[\text{эфир}]}{[\text{кислота}][\text{спирт}]}$$

*Максимальный балл – 10.*

#### Решение задачи 4.

	Действие	Баллы												
1	Запишем уравнение реакции: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{ROH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOR} + \text{H}_2\text{O}$	0,5												
2	При нейтрализации происходили следующие реакции: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ (1) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (2)	2 по 0,5												
3	Находим количество вещества гидроксида натрия: $n(\text{NaOH}) = 0,0144 \cdot 2 = 0,0288$ моль	0,5												
4	Находим количество исходной уксусной кислоты: $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 7,2/60 = 0,12$ моль	0,5												
5	Находим количество серной кислоты: $m(\text{p-ра}) = 5 \cdot 1,085 = 5,425$ г $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,425 \cdot 0,08 = 0,434$ г $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0044$ моль	0,5												
6	Значит, количество щёлочи, пошедшее на реакцию с серной кислотой: $n(\text{NaOH})_2 = 2 \cdot 0,0044 = 0,0088$ моль	0,5												
	Тогда количество щёлочи в реакции с уксусной кислотой: $n(\text{NaOH})_1 = 0,0288 - 0,0088 = 0,02$ моль $n(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{равн.}} = 0,02$ моль	1,0												
7	Находим концентрации уксусной кислоты: $C(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{исх.}} = 0,12/0,1 = 1,2$ моль/л $C(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{равн.}} = 0,2/0,1 = 0,2$ моль/л	1,0												
8	Составляем таблицу материального баланса: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>\text{CH}_3\text{COOH}</math></th> <th><math>\text{ROH}</math></th> <th><math>\text{CH}_3\text{COOR}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Исх.</td> <td>1,2</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Реаг.</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{ROH}$	$\text{CH}_3\text{COOR}$	Исх.	1,2		0	Реаг.	1	1	1	1,0
	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{ROH}$	$\text{CH}_3\text{COOR}$											
Исх.	1,2		0											
Реаг.	1	1	1											

	Равнов.	0,2		1	
9	Зная величину константы равновесия, находим равновесную концентрацию спирта: $[ROH] = \frac{[CH_3COOR]}{K * [CH_3COOH]} = \frac{1}{5 * 0,2} = 1 \text{ моль/л}$				2,0
10	Концентрация и исходное количество спирта: $C(ROH)_{исх.} = 2 \text{ моль/л}$ $n(ROH) = 2 * 0,1 = 0,2 \text{ моль}$				0,5
11	Находим молекулярную массу спирта: $M(ROH) = 6,4 / 0,2 = 32 \text{ г/моль}$ $CH_3OH$				1,0
					<b>Итого:</b> <b>10 баллов</b>

### ЗАДАЧА 5

При растворении белого реакционноспособного вещества А в растворе щёлочи образуется раствор соли Б и выделяется газ В, обладающий неприятным запахом. На воздухе газ В самовоспламеняется с образованием вещества Д, хорошо растворимого в воде. При добавлении к раствору Д избытка гидроксида калия получается соль Е, используемая в качестве пищевой добавки Е340. Раствор соли Б проявляет хорошие восстановительные свойства, восстанавливая некоторые металлы из их солей, а также при добавлении пероксида водорода в щелочной среде окисляется в соль Ж. Расшифруйте все вещества и напишите уравнения реакций. Изобразите структурные формулы солей Б, Е и Ж и дайте им названия.

*Примечание: используйте истинную молекулярную формулу вещества А.*

*Максимальный балл – 10.*

#### Решение задачи 5.

	Действие	Баллы
1	Газов с неприятным запахом не очень много. Но сероводород не подходит, потому что образуется всего одна соль и исходным веществом был белый порошок. Самовоспламенение газа В указывает на неустойчивое водородное соединение ( $SiH_4$ , $PH_3$ , $AsH_3$ и т.п.) С учётом того, что соли Б, Е и Ж явно содержат в себе один и тот же элемент и все три образуются в избытке щёлочи, они отличаются либо степенью окисления элемента, либо степенью гидратированности аниона. Использование соли Е в качестве пищевой	2,0

	добавки исключает мышьяк, сурьму, германий и т.п. Самым удобным вариантом остаётся фосфор.	
2	А – P <sub>4</sub> Б – NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> В – PH <sub>3</sub> Д – H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Е – Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Ж – Na <sub>2</sub> HPO <sub>3</sub>	6 по 0,5
3	P <sub>4</sub> + 3NaOH + 3H <sub>2</sub> O = 3NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> + PH <sub>3</sub> PH <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> = H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (можно в две стадии) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + 3NaOH = Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + 3H <sub>2</sub> O NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> + NaOH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = Na <sub>2</sub> HPO <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O	4 по 0,5
4	Структурные формулы: $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{P}-\text{O}^- \text{Na}^+ \\   \\ \text{H} \end{array} \quad - \text{Б}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{P}-\text{O}^- \text{Na}^+ \\   \\ \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array} \quad - \text{Ж}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{Na}^+ - \text{O}-\text{P}-\text{O}^- \text{Na}^+ \\   \\ \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array} \quad - \text{Е}$	3 по 0,5
5	Названия: Б – гипофосфит натрия Е – ортофосфат натрия Ж – фосфит натрия	3 по 0,5
		<b>Итого:</b> <b>10 баллов</b>