

# Олимпиада по химии “Путь к Олимпу – 2023”

Казань, 12 января 2023 г.

Составители А.А. Шулятьев, М.Д. Мокрушин, И.А. Седов

## 8 класс

### 1. Тяжелый осадок\*

Смешали 20 мл 95%-ной серной кислоты плотностью 1,834 г/мл и 300 мл воды.

1. Рассчитайте массовую долю серной кислоты в полученном растворе.

20 мл полученного раствора плотностью 1,069 г/мл отобрали в отдельный сосуд и обработали избытком раствора хлорида бария.

2. Рассчитайте массу образовавшегося осадка.

3. Рассчитайте объем 4%-ного раствора гидроксида калия с плотностью 1,035 г/мл, необходимого для полной нейтрализации всего раствора серной кислоты, оставшегося после отбора пробы для реакции с хлоридом бария.



ПУТЬ К ОЛИМПУ-2023

### 2. Перекись водорода

Пероксид водорода  $H_2O_2$  при хранении на свету разлагается с образованием газообразного простого вещества  $X_1$  и сложного вещества  $Y$ , слой которого покрывает большую часть поверхности земного шара. Вещество  $X_1$  может вступать в реакцию с серой с образованием газообразного вещества  $X_2$ , массовые доли элементов в котором одинаковы.  $X_2$  способно взаимодействовать с  $X_1$  при повышенной температуре в присутствии катализатора. В результате их реакции образуется бесцветная жидкость  $X_3$  (массовая доля серы 40%).

1. Установите формулы зашифрованных веществ. Напишите уравнения описанных реакций.
2. При неправильном хранении пероксида водорода его масса изменилась на 4,2 г. Определите объем (н.у.) выделившегося при разложении  $X_1$ .
3. Определите выход (в %) вещества  $X_3$ , если из 50 л  $X_2$  (н.у.) было получено 60,5 мл  $X_3$ . Плотность вещества  $X_3$  равна 1,92 г/мл.

### 3. Оловянный X

Ниже приведены некоторые данные о составе минерала станнина, также известного как оловянный X:

	Cu	Fe	Sn	S
Атомные доли, %	25	?	?	50
Массовые доли, %	29,7	13	?	?

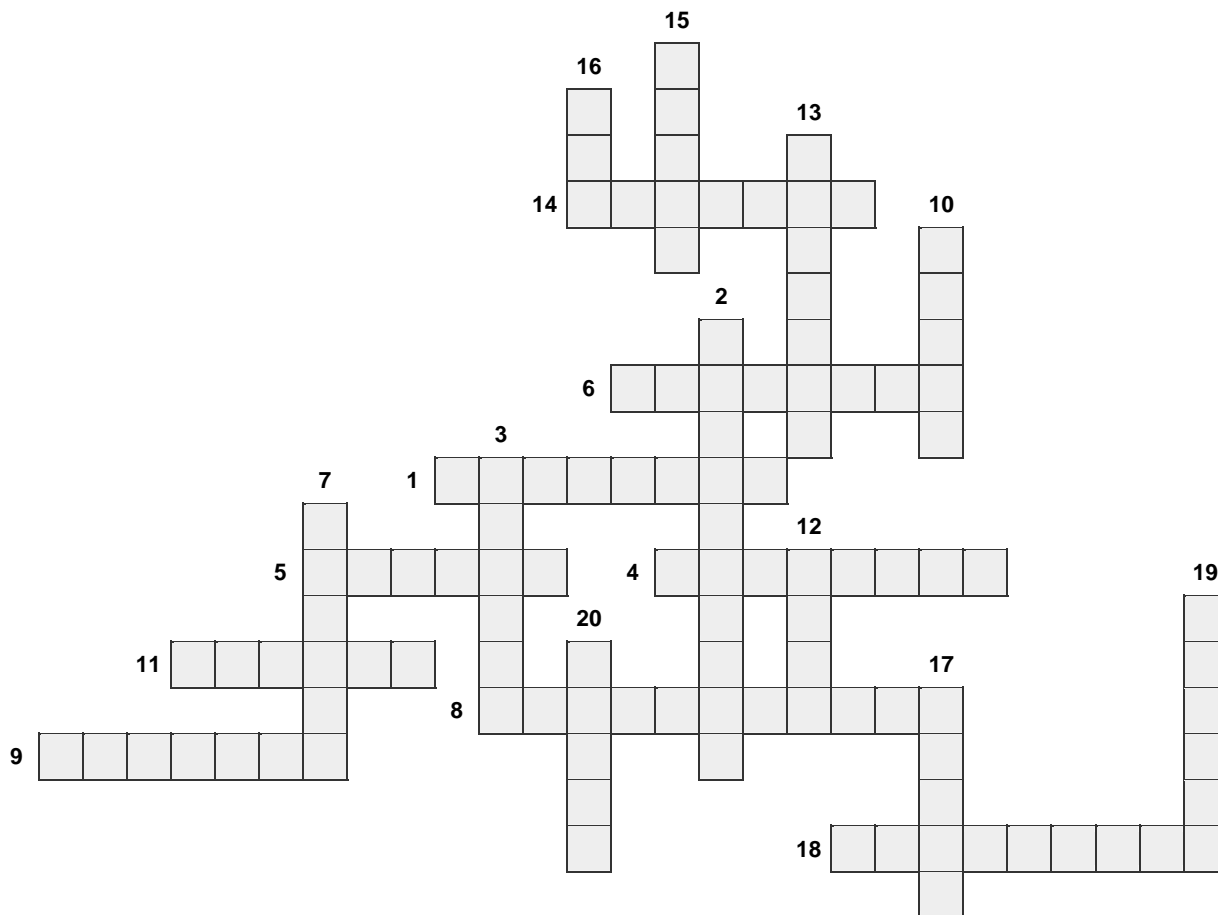
(атомные доли отражают соотношение количеств атомов элементов).

1. Установите формулу минерала.
2. Заполните все клетки таблицы.
3. Какое слово заменено в названии минерала на X?

\*Задача из сборника “Химические олимпиады Минской области”

#### 4. Кроссворд

Вам предлагается решить кроссворд. Используйте слова в именительном падеже и единственном числе.

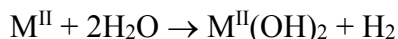
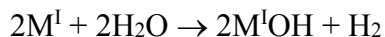


1. Процесс перехода из твердого агрегатного состояния в газообразное;
2. Метод получения водорода из воды;
3. Образуется при пропускании углекислого газа через раствор гашеной извести;
4. Их форма отличается в зависимости от природы соли;
5. Бесцветный газ с резким запахом;
6. Составная часть большинства химических веществ;
7. Из него изготавливается специализированная химическая посуда, необходимая для растирания веществ;
8. Окисление оксида серы (IV) в оксид серы (VI) невозможно без него;
9. Молекула, состоящая из множества повторяющихся фрагментов;
10. Простейшее органическое вещество, один из компонентов природного газа;
11. Одна из аллотропных модификаций углерода;
12. Тривиальное название карбоната натрия;
13. С помощью нее можно отобрать определенный объем жидкости;
14. Самая удобная форма ее записи – это уравнение;
15. Без этого предмета нельзя приступить к работе в лаборатории;
16. Это одновременно и фамилия ученого, и химический элемент, и город на Волге;
17. Радиоактивный благородный газ;
18. Она больше у кислорода, чем у азота;
19. При ее растворении в воде выделяется много тепла;
20. Элемент, который алхимики связывали с ближайшей к Солнцу планетой.

## 9 класс

### 1. Сплавное начало

В сплаве одновалентного и двухвалентного металлов их атомное соотношение равно 1:1, а массовая доля одного из металлов составляет примерно 14%. Образец сплава массой 4,66 г полностью растворился в теплой воде. Процессы, происходящие при растворении сплава двух металлов, можно описать следующими уравнениями реакций:



Для полной нейтрализации полученного раствора необходимо 53,1 г раствора соляной кислоты HCl с массовой долей 6,00 %.



ПУТЬ К ОЛИМПУ-2023

1. Определите, какие металлы образуют исходный сплав. Ответ подтвердите расчетом.
2. Какой объем (при н.у.) водорода выделился в результате растворения металлов?

### 2. Надо было читать электролиз

Кристаллогидрат сульфата цинка  $ZnSO_4 \cdot nH_2O$  применяется в фармакологическом производстве, а также в химических источниках тока. При растворении его навески массой 15 г в некотором количестве воды образуется раствор сульфата цинка с концентрацией 0,104 М.

1. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что при электролизе воды того же объема, который необходим для получения вышеуказанного раствора сульфата цинка, выделяется 935 л газов (н.у.). Плотность воды 1 г/см<sup>3</sup>.
2. Запишите уравнения реакций, протекающих при смешении растворов сульфата цинка и едкого кали.

### 3. “Чугунный”



Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (и другими элементами), в котором содержание углерода не менее 2,14% и не более 4,00% по массе. Если содержание углерода меньше 2,14%, то сплав называется сталью.

Во время производства стали и чугуна могут образовываться различные бинарные химические соединения железа и углерода. Одним из них является цементит, в котором массовая доля углерода равна 6,67%.

1. Определите химическую формулу цементита.

В лабораторию принесли образец сплава, состоящего из железа и углерода; в результате анализа выяснили, что углерод содержится в сплаве только в форме цементита. Массовая доля цементита составляет 76,27%.

2. Является ли этот сплав чугуном или сталью?

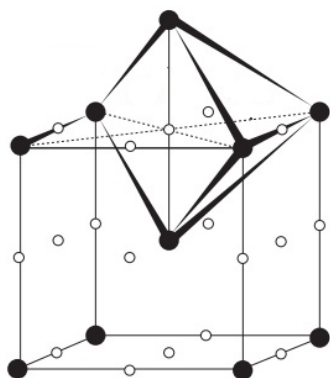
Если цементит начать медленно нагревать на воздухе, то в результате образуется только одно твердое вещество **A**. Если же сжечь его, то образуется другое твердое вещество **B**. Его можно представить как продукт соединения веществ **A** и **X**.

3. Определите вещества **A**, **B** и **X**. Приведите уравнения реакций образования **A** и **B**.

Навеску цементита массой 7,2 г поделили на две равные части и ввели в реакции с избытком концентрированных соляной и азотной кислот. В результате реакции с соляной кислотой образовался осадок массой 0,24 г и выделился газ объемом 1,344 л (н.у.). В реакции с азотной кислотой выделившийся окрашенный газ объемом 6,272 л (н.у.) пропустили через известковую воду, при этом масса раствора увеличилась на 12,84 г.

4. Определите, какие газы выделяются при растворении цементита в кислотах. Приведите уравнения описанных реакций.

На рисунке представлена кубическая элементарная ячейка цементита.



5. Атомы какого элемента обозначены белыми шариками?

Известно, что радиус атома железа составляет 1,26 Å, а радиус атома углерода – 0,70 Å.

6. Вычислите длину ребра элементарной ячейки (куба на рисунке).

7. Вычислите плотность цементита.

#### 4. Длинный список

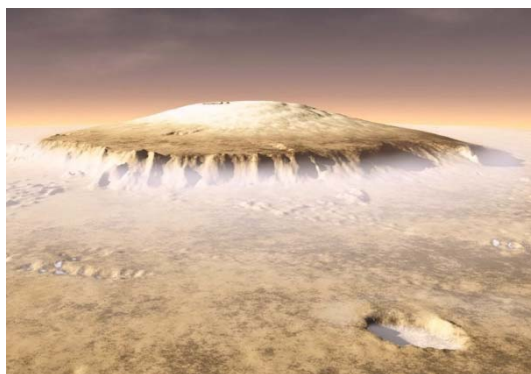
Соотнесите формулу вещества и его применение. Одной цифре соответствует только одна буква.

1) $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	А) сухой лёд
2) $\text{Hg}(\text{CNO})_2$	Б) абразивный материал для шлифовальных кругов
3) $\text{H}_2\text{O}$	В) для заполнения лампочек
4) $\text{ZnO}$	Г) контрастное вещество для рентгена
5) $\text{I}_2$	Д) пигмент для масляных красок
6) $\text{ClCN}$	Е) действующее вещество в изолирующих противогазах
7) $\text{BaSO}_4$	Ж) удобрение
8) $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	З) изготовление искусственных камней – фианитов
9) $\text{Pb}+\text{Sn}$	И) сусальное золото для позолоты куполов
10) $\text{Kr}$	К) компонент пороха
11) $\text{Na}_2\text{O}_2$	Л) компонент детской присыпки
12) $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$	М) травление тканей
13) $\text{NaHCO}_3$	Н) для заполнения детонаторов
14) $\text{CO}_2$	О) компонент пиротехнических изделий
15) $\text{AgBr}$	П) строительный материал
16) $\text{ZrO}_2$	Р) отравляющий газ
17) $\text{K}+\text{Na}$	С) антисептик
18) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Т) припой
19) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	У) светочувствительное соединение
20) $\text{BN}$	Ф) фиксаж
21) $\text{S}$	Х) самый распространенный растворитель
22) $\text{Pb}_3\text{O}_4$	Ц) для выпечки
23) $\text{SnS}_2$	Ч) теплоноситель в атомных реакторах

## 10 класс

### 1. Пермутации

**КУРНОСЫЙ МОПЕД** используется в качестве обеззараживающего средства и удобрения. Он хорошо растворим в воде – 34,9 г на 100 мл воды. Его растворы имеют голубую окраску, а при добавлении едкого натра выпадает голубой осадок  $X_1$  (реакция 1). Если его отфильтровать, просушить, а затем прокалить, то образуется оксид  $X_2$  черного цвета (реакция 2). При нагревании оксида в токе водорода можно получить простое вещество  $X_3$  – металл золотисто-розового цвета (реакция 3). Аналогичное превращение происходит при взаимодействии оксида  $X_2$  с монооксидом углерода (реакция 4) – в результате также образуется металл  $X_3$ . Металл  $X_3$  при взаимодействии с хлором в сухом воздухе превращается в бинарное соединение  $X_4$  – хлорид светло-коричневого цвета (реакция 5).



ПУТЬ К ОЛИМПУ-2023

1. Запишите формулу вещества, зашифрованного как **КУРНОСЫЙ МОПЕД**.
2. Какую массу (в г) воды необходимо взять для растворения 185 г этого вещества?
3. Расшифруйте вещества  $X_1$  –  $X_4$ . Напишите уравнения всех описанных реакций 1 – 5.
4. Рассчитайте, какую массу монооксида углерода необходимо использовать для получения вещества  $X_3$  массой 20 г из  $X_2$ .

### 2. Осадки и остатки

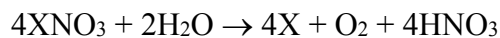
В каждую из четырех пробирок с окрашенными растворами нитратов металлов пропустили ток сероводорода  $H_2S$ . Полученный осадок из каждой пробирки отфильтровали, высушили и затем сожгли в избытке кислорода, при этом образовались оксиды металлов и сернистый газ  $SO_2$ . Результаты экспериментов представлены в сводной таблице.

№ пробирки	1	2	3	4
Цвет раствора	голубой	бледно-розовый	бесцветный	зеленый
Цвет осадка	черный	розовый	желтый	черный
Цвет твердого остатка после сжигания	черный	темно-коричневый	красно-бурый	темно-зеленый

1. Запишите формулы нитратов, находившихся в каждой из пробирок 1 – 4.
2. Запишите формулы всех осадков и остатков после сжигания.
3. Рассчитайте объем в мл (н.у.) газа, выделившегося при сжигании в кислороде 1 г осадка из пробирки 1.

### 3. Неизвестный нитрат

Химик решил получить одновалентный металл **X** из его нитрата **X<sub>1</sub>** методом электролиза (*реакция 1*). Проведя эксперимент, он выяснил, что из 50 г 8% раствора **X<sub>1</sub>** было получено 2,55 г металла **X** в соответствии с уравнением процесса:



При взаимодействии металла **X** с иодом образуется бинарное соединение **X<sub>2</sub>** (*реакция 2*), которое при растворении в концентрированном растворе азотной кислоты может образовать исходный нитрат **X<sub>1</sub>** (*реакция 3*).

1. Определите неизвестный металл **X**. Ответ подтвердите расчетом.
2. Расшифруйте вещества **X<sub>1</sub>** и **X<sub>2</sub>**. Приведите все уравнения химических реакций.
3. При взаимодействии нитрата **X<sub>1</sub>** с раствором гидроксида натрия образуется темно-коричневый осадок **X<sub>3</sub>**. Напишите уравнение реакции и установите формулу осадка **X<sub>3</sub>**.

### 4. Самый, самый, самый популярный металл

Металл **X** является одним из самых распространенных металлов земной коры и применяется в авиастроении и машиностроении. Металл **X** получают из его оксида (массовая доля кислорода 47,06%) электролизом раствора в расплаве криолита (*реакция 1*). При сплавлении оксида металла **X** с едким кали образуется соединение **X<sub>1</sub>** (*реакция 2*), которое при растворении в соляной кислоте образует смесь двух хлоридов **X<sub>2</sub>** и **X<sub>3</sub>** (*реакция 3*). Добавление к полученной смеси раствора едкого кали по каплям сначала выпадает белый аморфный осадок **X<sub>4</sub>** (*реакция 4*), который затем растворяется (*реакция 5*). Пропускание избыточного количества углекислого газа через полученный раствор позволяет вновь образовать осадок **X<sub>4</sub>** (*реакция 6*).

1. Напишите все химические уравнения реакций 1 – 6. Укажите формулы веществ **X**, **X<sub>1</sub>** – **X<sub>4</sub>**.
2. Какое газообразное вещество можно использовать вместо углекислого газа в реакции 6? Приведите один пример. Напишите уравнение химической реакции, подтверждающее Ваш выбор.

# 11 класс

## 1. Один день Александра Денисовича

Лаборант Саша обнаружил в своей лаборатории баллончик с неизвестным газом **X** и решил исследовать его свойства. Газ не обладал запахом, не взаимодействовал с растворами кислот и щелочей. В его реакции с сернистым газом (*реакция 1*) при сильном нагревании образуется газ **A** и простое вещество **B** желтого цвета. Взаимодействие **X** с парами воды при нагревании (*реакция 2*) тоже приводит к образованию газа **A** и простого газообразного вещества **C**, являющегося самым легким среди всех газов. Простые вещества **B** и **C** вступают в реакцию между собой и образуют бинарное газообразное вещество **D** с отвратительным запахом (*реакция 3*).

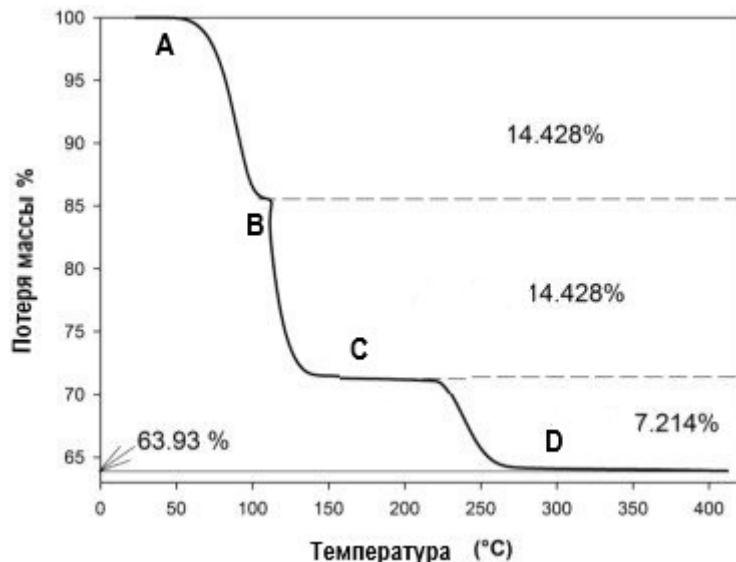


## ПУТЬ К ОЛИМПУ-2023

1. Определите формулы неизвестных веществ **A-D**.
2. Напишите уравнения всех описанных реакций.

## 2. Старый знакомый

На рисунке представлен график изменения массы неизвестного вещества **A** синего цвета в зависимости от температуры. При прокаливании оно последовательно превращается в вещества **B**, **C** и **D**.

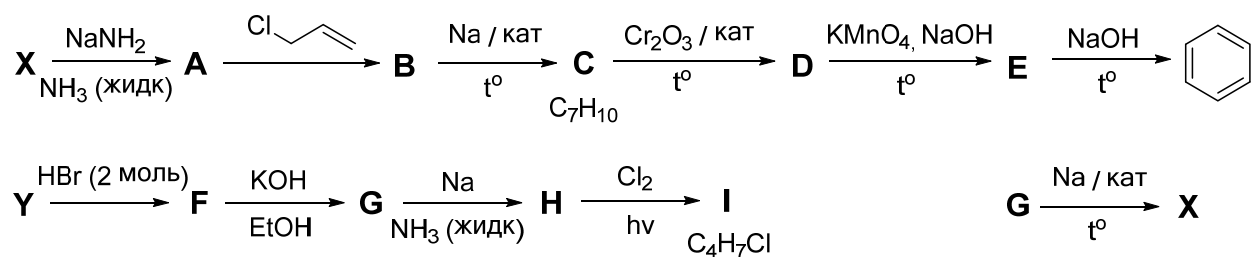


Навески веществ **A** и **D** массой 10 г полностью растворили в воде (в разных емкостях) и добавили 100 мл раствора 0.5 М раствора сульфида натрия к каждому из них. В обоих случаях образовался черный осадок, который не растворяется в разбавленных кислотах. Осадок отфильтровали, высушили и взвесили. Масса осадка в емкости с **A** составила 3,84 г; в емкости с **D** 4,8 г.

1. Определите вещества **A – D**. Какого цвета вещество **D**?
2. Запишите уравнение реакции **D** с сульфидом натрия. При растворении в воде 1 моль соединения **D** выделяется 66,50 кДж теплоты, а при растворении 1 моль **A** поглощается 11,93 кДж теплоты.
3. Рассчитайте теплоту превращения **D** → **A**.

### 3. Ура, органика!

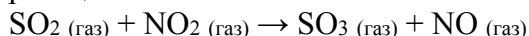
Ниже приведены схемы превращений двух структурно изомерных газов X и Y с брутто-формулой C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>.



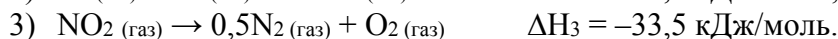
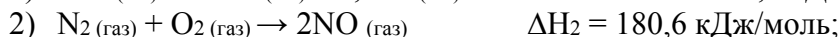
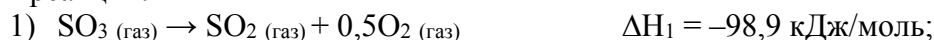
1. Запишите структурные формулы всех веществ (X, Y, A-I).
2. Между X и Y при повышенной температуре также возможно взаимодействие. Изобразите продукт реакции. В честь кого она названа?
3. Изобразите структуры всех возможных изомеров X и Y.

### 4. Другой способ

При повышенной температуре в газовой фазе устанавливается равновесие в следующей реакции:



1. Используя следующие термохимические данные, рассчитайте стандартную энтальпию этой реакции.



2. В таблице ниже приведены стандартные энтропии образования. Рассчитайте при какой температуре стандартная энергия Гиббса реакции станет равна нулю.

	SO <sub>2</sub> (газ)	NO <sub>2</sub> (газ)	SO <sub>3</sub> (газ)	NO (газ)
ΔS, Дж/моль/К	167,2	160,2	426,7	210,6

3. Чему равна константа равновесия реакции при этой температуре?

При некоторой другой температуре константа равновесия данной реакции равна 15.

4. Чему равна эта температура?

5. Рассчитайте равновесные концентрации всех веществ и общее давление равновесной смеси газов в емкости фиксированного объема при этой температуре, если в ней были смешаны реагенты с начальной концентрацией 2 М.

Формулы для расчетов:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -RT \ln K;$$

$$\text{для реакции } aA + bB \rightarrow cC + dD \text{ константа равновесия } K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}.$$



## 8 класс.

Всего максимум за все задачи 56 баллов.

### Задача 1. Тяжелые осадки

1. Масса полученного раствора серной кислоты равна  $300 \text{ г} + 20,0 \text{ мл} \cdot 1,834 \text{ г/мл} = 336,68 \text{ г}$  (1 балл), а масса растворённой серной кислоты –  $20,0 \text{ мл} \cdot 1,834 \text{ г/мл} \cdot 0,95 = 34,846 \text{ г}$  (1 балл), откуда массовая доля  $\omega = 34,846 \text{ г} / 336,68 \text{ г} = 0,1035 = 10,35\%$ . (2 балла)
2.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}$ ;  
Масса серной кислоты в пробе объёмом 20 мл составляет  $20,0 \text{ мл} \cdot 1,069 \text{ г/мл} \cdot 0,1035 = 2,213 \text{ г}$ , а её количество вещества -  $2,213 \text{ г} / 98 \text{ г/моль} = 0,02258 \text{ моль}$  (2 балла). Столько же образуется **сульфата бария**, а его масса равна  $233 \text{ г/моль} \cdot 0,02258 \text{ моль} = 5,26 \text{ г}$ . (2 балла)
3.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$   
В реакцию с гидроксидом калия вступит вся серная кислота, за исключением прореагировавшей с  $\text{BaCl}_2$ , то есть  $34,846 \text{ г} - 2,213 \text{ г} = 32,633 \text{ г}$  или **0,333 моль** (2 балла). Гидроксида калия прореагирует вдвое большее количество (см. уравнение реакции), поэтому масса  $\text{KOH}$  равна  $56 \text{ г/моль} \cdot 0,666 \text{ моль} = 37,3 \text{ г}$  (1 балл), а объём раствора равен  $37,3 \text{ г} / (0,04 \cdot 1,035 \text{ г/мл}) = 901 \text{ мл}$ . (1 балл)

Всего 12 баллов

### Задача 2. Перекись водорода

1. Вещества:  $\text{X}_1 - \text{O}_2$ ,  $\text{X}_2 - \text{SO}_2$ ,  $\text{X}_3 - \text{SO}_3$ ,  $\text{Y} - \text{H}_2\text{O}$  (4 балла, по 1 баллу за вещество)  
Разложение пероксида водорода:  $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$  (1 балл)  
Взаимодействие серы и кислорода:  $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$  (1 балл)  
Взаимодействие оксида серы(IV) и кислорода:  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$  (1 балл)
2. Расчет объема кислорода, выделившегося при разложении пероксида водорода (3 балла):  
$$\Delta m = m(\text{O}_2) = 4,2 \text{ г} \rightarrow V(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2) \cdot V_m}{M(\text{O}_2)} = 2,94 \text{ л}$$
3. Расчет выхода оксида серы(VI):  
$$V_{\text{теор}}(\text{SO}_3) = \frac{V(\text{O}_2) \cdot M(\text{SO}_3)}{V_m \cdot \rho(\text{SO}_3)} = \frac{50 \cdot 80}{22,4 \cdot 1,92} = 93 \text{ мл (1 балл)}$$
  
$$\eta = \frac{60,5 \cdot 100}{93} = 65,05\% \text{ (1 балл)}$$

Всего 12 баллов

### Задача 3. Оловянный X

1. Расчет формулы минерала:  
 $\text{Cu}_x\text{Fe}_y\text{Sn}_p\text{S}_n \rightarrow x : n = 25 : 50 = 1 : 2 = 2 : 4$  (1 балл)  
 $M(\text{мин.}) = \frac{64}{0,297} = 215,5 \text{ г/моль}$  – меньше суммы атомных масс  
 $M(\text{мин.}) = \frac{64 \cdot 2}{0,297} = 431 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$  (2 балла)  
 $y = \frac{431 \cdot 0,13}{56} = 1$  (1 балл)

От молярной массы остается 1 атом олова. Значит формула минерала  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  (3 балла)

2. Расчет массовой доли олова:

$$w(\text{Sn}) = \frac{119 \cdot 100}{431} = 27,6\% \text{ (1 балл)}$$

Расчет массовой доли серы:

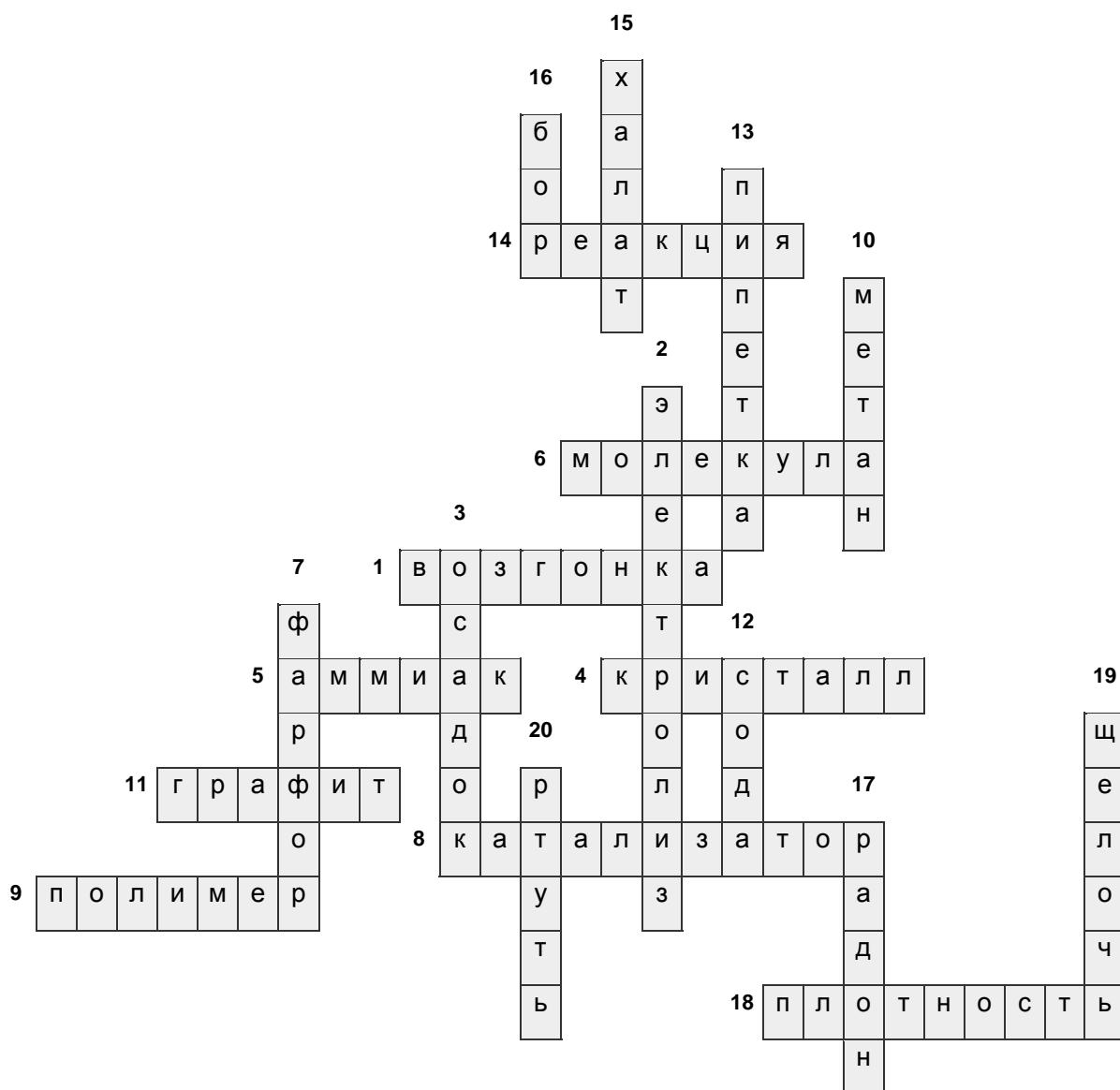
$$w(\text{S}) = \frac{32 \cdot 4 \cdot 100}{431} = 29,7\% \text{ (1 балл)}$$

Атомная доля железа  $25/2=12,5\%$  (1 балл), значит атомная доля олова:  $100-50-25-12,5 = 12,5\%$  (1 балл).

3. Название минерала: Оловянный пирит либо колчедан либо блеск (1 балл)

**Всего 12 баллов**

#### Задача 4. Кроссворд



По 1 баллу за каждый верный ответ.

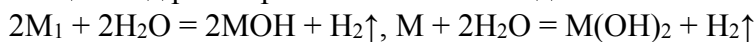
**Всего 20 баллов.**

## 9 класс

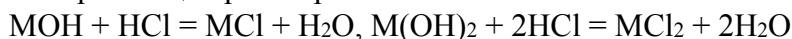
Всего максимум за все задачи 63 балла.

### Задача 1. Сплавное начало

1. Общий вид растворения металлов в воде:



Нейтрализация раствора соляной кислотой:



2. Количество (в моль) соляной кислоты в растворе (2 балла):

$$n_{\text{общ}}(HCl) = \frac{53,1 \cdot 0,06}{36,5} = 0,0873 \text{ моль} = n(M_1) + 2n(M_2)$$

3. Количество (в моль) каждого металла в сплаве с учетом атомного соотношения (2 балла):

$$n(M_1) = n(M_2) = \frac{0,0873}{3} = 0,0291 \text{ моль}$$

4. Атомные массы каждого металла в сплаве с учетом массовой доли в смеси (4 балла):

$$\begin{cases} A_r(M_1) + A_r(M_2) = \frac{4,66}{0,0291} = 160,1 \text{ а. е. м.} \\ \frac{A_r(M_1)}{A_r(M_1) + A_r(M_2)} = 0,14 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A_r(M_1) = 22,4 \approx \mathbf{Na} \\ A_r(M_2) = 137,7 \approx \mathbf{Ba} \end{cases}$$

5. Объем выделившегося газа X – водорода H<sub>2</sub> (2 балла):

$$n(H_2) = 0,5n(Na) + n(Ba) = 1,5 \cdot 0,0291 = 0,04365 \text{ моль}$$

$$V(H_2) = 0,04365 \cdot 22,4 = 0,98 \text{ л}$$

Всего 10 баллов

### Задача 2. Надо было читать электролиз

1. Электролиз воды:  $2H_2O \rightarrow 2H_2 \uparrow + O_2 \uparrow$  (1 балл)

2. Суммарное количество выделившихся газов (при н.у.) приблизительно равно 935 л.

Рассчитаем использованный для этого процесса объем воды:  $V_{\text{газов}} = (n_{H_2} + n_{O_2}) \cdot V_m =$

$$1,5 \cdot n_{H_2O} \cdot V_m = \frac{1,5 \cdot V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot V_m}{M_{H_2O}}$$

$$V_{H_2O} \approx 500,9 \text{ мл (2 балла)}$$

3. Используя полученный объем, определим массу сульфата цинка в его растворе:

$$C_M(ZnSO_4) = \frac{m_{ZnSO_4}}{M_{ZnSO_4} \cdot V_{H_2O}}$$

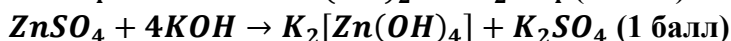
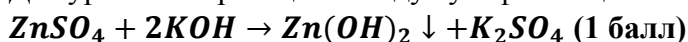
$$m_{ZnSO_4} = 8,41 \text{ г (2 балла)}$$

4. Расчет количества молекул в составе  $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ :  $\frac{m(ZnSO_4)}{M(ZnSO_4)} = \frac{m(ZnSO_4 \cdot nH_2O)}{M(ZnSO_4 \cdot nH_2O)}$

$$\frac{8,41}{161,4} = \frac{15}{161,4 + 18 \cdot n} \rightarrow n \approx 7$$

Искомая формула кристаллогидрата –  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  (3 балла).

5. Два уравнения реакции между сульфатом цинка и гидроксидом калия в растворе:



Всего 10 баллов.

### Задача 3. “Чугуний”

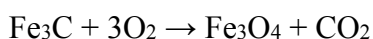
1) Сразу можно установить молярную массу цементита (на 1 атом углерода):  $12 / 0,0667 = 180$  г/моль; тогда число атомов железа:  $(180 - 12) / 56 = 3$ . Таким образом, формула цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$  – карбид железа. (1 балл)

2) С помощью массовой доли цементита в сплаве можно пересчитать долю углерода во всем сплаве:  $\omega(\text{C}) = 6,67\% \cdot 0,7627 = 5,08\%$ . Видно, что содержание углерода превышено и данный сплав не может называться ни чугуном, ни сталью. (2 балла)

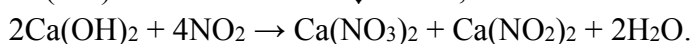
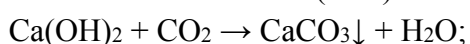
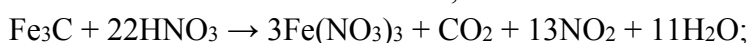
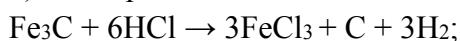
3) При сжигании железа или цементита основным продуктом окисления является оксид железа состава  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (В). Данный оксид можно считать продуктом соединения оксидов железа (II) и железа (III). Однозначная идентификация веществ А и Х проводится на основании способа получения А, заключающегося в медленном нагреве цементита. При низкотемпературном окислении продукт должен содержать железо в менее окисленной форме, следовательно, А –  $\text{FeO}$ , Х –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Итак, А –  $\text{FeO}$ , В –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Х –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3 балла)

Уравнения химических реакций (по 1 баллу).



4) Уравнения взаимодействия с кислотами и газами (по 1 баллу):



Подтверждение состава газов расчётом (3 балла).

По условию задачи  $n(\text{Fe}_3\text{C}) = 7,2 / 180 = 0,04$  моль; следовательно, на каждую реакцию приходится по 0,02 моль цементита.

При взаимодействии с соляной кислотой в осадок выпадает углерод и выделяется водород, если посчитать их количество вещества (0,02 и 0,06 моль, соответственно), то нетрудно расставить коэффициенты. При взаимодействии с азотной кислотой выделяются два газа, один из которых ( $\text{CO}_2$ ) при пропускании через гидроксид кальция выпадает в осадок в виде карбоната, а второй ( $\text{NO}_2$ ) образует растворимые соли. Если предположить, что первый газ – углекислый, то легко посчитать массу второго газа:  $n(\text{CO}_2) = 0,02$  моль;  $m(\text{CO}_2) = 0,02 \cdot 44 = 0,88$  г; тогда  $m(\text{NO}_2) = 12,84 - 0,88$  г = 11,96 г. Молярную массу второго газа можно найти через систему уравнений:  $n(\text{X}) = 11,96 / M_x$  и  $n(\text{X}) = 6,272 / 22,4 - 0,02 = 0,26$  моль, отсюда  $M_x = 11,96 / 0,26 = 46$  г/моль.

5) Элементарная ячейка цементита содержит некоторое количество чёрных и белых сфер, соответствующих атомам железа и углерода в молярном соотношении 3/1.

Количество чёрных сфер: 1 (в центре) +  $8 \cdot 1/8$  (в вершинах куба, они могут одновременно принадлежать 8 таким же соседним ячейкам) = 2.

Количество белых сфер:  $12 \cdot 1/4$  (по центрам рёбер) +  $6 \cdot 1/2$  (по центрам граней) = 6.

Итак, на одну элементарную ячейку приходится 2 чёрных и 6 белых шарика, а исходя из количественного состава цементита, можно соотнести чёрные шарики с атомами углерода, а белые – с атомами железа (1 балл).

6) Сторону можно найти, складывая радиусы атомов. На ребре находится атом углерода и две половины от атома железа, соответственно  $a = 0,70 \cdot 2 + 1,26 \cdot 2 = 3,92 \text{ \AA}$  (1 балл).

7) Число формульных единиц в элементарной ячейке  $Z = 2$ , поскольку в её состав входят 6 атомов железа и 2 атома углерода. Плотность кристаллических веществ можно рассчитать по формуле:

$$\rho = \frac{M \cdot Z}{N_a \cdot V_{\text{яч}}} = \frac{180 \cdot 2}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (3,92 \cdot 10^{-8})^3} = 9,93 \text{ г/см}^3 \text{ (3 балла)}$$

**Всего 20 баллов.**

#### Задача 4. Длинный список

1) $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	О) компонент пиротехнических изделий
2) $\text{Hg}(\text{CNO})_2$	Н) детонатор
3) $\text{H}_2\text{O}$	Х) самый распространенный растворитель
4) $\text{ZnO}$	Л) компонент детской присыпки
5) $\text{I}_2$	С) антисептик
6) $\text{ClCN}$	Р) отравляющий газ
7) $\text{BaSO}_4$	Г) контрастное вещество для рентгена
8) $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	М) травление ткани
9) $\text{Pb/Sn}$	Т) припой
10) $\text{Kr}$	В) заполняют электрические лампочки
11) $\text{Na}_2\text{O}_2$	Е) действующее вещество в изолирующих противогазах
12) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$	П) строительный материал
13) $\text{NaHCO}_3$	Ц) используется в пекарнях
14) $\text{CO}_2$	А) сухой лёд
15) $\text{AgBr}$	У) светочувствительное соединение
16) $\text{ZrO}_2$	З) изготовление искусственных камней-фианитов
17) $\text{K/Na}$	Ч) теплоноситель в атомных реакторах
18) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Ф) фиксаж
19) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Ж) удобрение
20) $\text{BN}$	Б) абразивный материал
21) $\text{S}$	К) компонент пороха
22) $\text{Pb}_3\text{O}_4$	Д) пигмент для масляных красок
23) $\text{SnS}_2$	И) сусальное золото

1 – о, 2 – н, 3 – х, 4 – л, 5 – с, 6 – р, 7 – г, 8 – м, 9 – т, 10 – в, 11 – е, 12 – п, 13 – ц, 14 – а, 15 – у, 16 – з, 17 – ч, 18 – ф, 19 – ж, 20 – б, 21 – к, 22 – д, 23 – и (по 1 баллу).

**Всего 23 балла.**

## 10 класс

Всего максимум за все задачи 80 баллов.

### Задачи 1. Пермутации

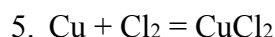
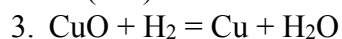
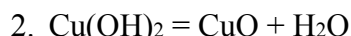
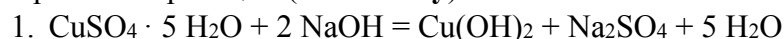
1. **КУРНОСЫЙ МОПЕД** при растворении в воде образует раствор голубого цвета, а при добавлении раствора гидроксида натрия выпадает голубой осадок, что наводит на мысли о том, что в его состав входят ионы меди. Слово «пермутация» обозначает перестановку, а **КУРНОСЫЙ МОПЕД** – анаграмма словосочетания “медный купорос”.

Это  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  (4 балла).

2. В 100 мл воды (плотность воды равна 1 г/мл, следовательно, 100 мл – 100 г) растворяется 34,9 г медного купороса. Соответственно, для растворения 185 г купороса необходимо взять  $\frac{185}{34,9} \cdot 100 = 530$  г воды (4 балла).

3. При добавлении к раствору медного купороса едкого натра (NaOH) выпадает осадок гидроксида меди –  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (**X<sub>1</sub>, 1 балл**), при прокаливании которого удаляется вода и образуется оксид  $\text{CuO}$  (**X<sub>2</sub>, 1 балл**). При восстановлении оксида меди монооксидом углерода либо водородом можно получить медь –  $\text{Cu}$  (**X<sub>3</sub>, 1 балл**). При взаимодействии с хлором на воздухе медь образует светло-коричневый хлорид  $\text{CuCl}_2$  (**X<sub>4</sub>, 1 балл**).

Уравнения реакций (по 1 баллу):



4. Масса монооксида углерода, необходимая для получения 20 г меди составляет  $\frac{20}{63,5} \cdot 28 = 8,82$  г (3 балла).

Всего 20 баллов.

### Задача 2. Осадки и остатки

1,2. Один из возможных и самых простых вариантов веществ, подходящих по условию задачи (18 баллов, по 1,5 балла за каждое вещество):

№ пробирки	1	2	3	4
Формула нитрата	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$
Формула осадка	$\text{CuS}$	$\text{MnS}$	$\text{CdS}$	$\text{NiS}$
Формула твердого остатка	$\text{CuO}$	$\text{MnO}_2$	$\text{CdO}$	$\text{NiO}$

3. Вычисление объема сернистого газа (2 балла):

$$V(\text{SO}_2) = \frac{1}{63,5 + 32} \cdot 22,4 \cdot 1000 = 234,5 \text{ мл}$$

Всего 20 баллов.

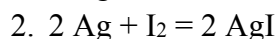
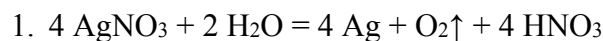
### Задача 3. Неизвестный нитрат

1. Расчет атомной массы **X**:

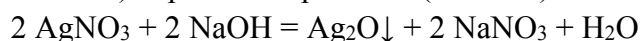
$$n(XNO_3) = n(X) \rightarrow \frac{50 \cdot 0,08}{A_r(X) + 62} = \frac{2,55}{A_r(X)} \rightarrow A_r(X) = 109.$$

Ближайший к полученной молярной массе одновалентный металл – серебро (Ag) (**3 балла**), тогда вещество **X<sub>1</sub>** – AgNO<sub>3</sub> (**3 балла**).

2. При взаимодействии серебра с иодом образуется иодид AgI (**X<sub>2</sub>**, **3 балла**), который при растворении в азотной кислоте образует нитрат серебра. Уравнения реакций (**6 баллов, по 2 балла за каждое уравнение**):



3. При взаимодействии нитрата серебра с гидроксидом натрия образуется оксид Ag<sub>2</sub>O (**X<sub>3</sub>**, **3 балла**). Уравнение реакции (**2 балла**):



**Всего 20 баллов.**

### Задача 4. Самый, самый, самый популярный металл

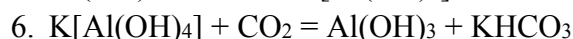
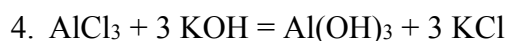
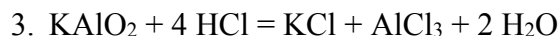
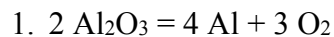
1. Сначала определим эквивалентную молярную массу металла в оксиде:

$$M_{\text{эkv}} = \frac{8}{0,4706} - 8 = 9 \text{ г/моль.}$$

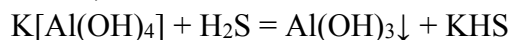
Подходит только алюминий (степень окисления +3). Следовательно, **X** – Al (**2 балла**).

При сплавлении оксида алюминия с едким кали образуется алюминат калия KAlO<sub>2</sub> или K<sub>3</sub>AlO<sub>3</sub> (**X<sub>1</sub>**, **1 балл**), который при растворении в соляной кислоте образует раствор хлоридов калия и алюминия – KCl и AlCl<sub>3</sub> (**X<sub>2</sub>** и **X<sub>3</sub>**, **по 1 баллу**). Добавление недостатка KOH к полученному раствору сначала приводит к выпадению осадка гидроксида алюминия Al(OH)<sub>3</sub> (**X<sub>4</sub>**, **1 балл**), который при дальнейшем добавлении щелочи растворяется с образованием тетрагидроксоалюмината калия K[Al(OH)<sub>4</sub>]. При пропускании углекислого газа через раствор тетрагидроксоалюмината вновь выпадает осадок гидроксида.

2. Уравнений химических реакций (**12 баллов, по 2 балла за каждое уравнение**):



3. Вместо углекислого газа в реакции 6 можно использовать, например, сероводород (**2 балла**):



**Всего 20 баллов.**

## 11 класс

Всего максимум за все задачи 71 балл.

### Задача 1. Один день Александра Денисовича

В школьной программе встречается не так много газов, которые не реагируют с кислотами и щелочами, а также не имеют запаха. Сразу вспоминаются несолеобразующие оксиды: CO и NO (N<sub>2</sub>O имеет сладкий запах – не подходит по условию). Оксид азота (II) также не подходит, поскольку является более сильным окислителем, чем сернистый газ: их взаимодействие не приведет к получению серы (вещество **В**). К тому же оксид азота (II) быстро окисляется на воздухе до оксида азота (IV), который имеет и запах, и цвет, а также реагирует с щелочами.

Следовательно, можно предположить, что газ **X** – монооксид углерода – CO. Тогда при взаимодействии его с сернистым газом последний выступает в роли окислителя; продуктами реакции являются оксид углерода (IV) – газ **A** (2 балла) и сера – простое вещество **B** (2 балла). Уравнение реакции:  $2CO + SO_2 = 2CO_2 + S$  (1 балл).

Самый легкий газ – водород (H<sub>2</sub>), который является веществом **C** (2 балла). Уравнение реакции с парами воды:  $CO + H_2O = CO_2 + H_2$  (1 балл).

Уравнение между веществами **B** и **C**:  $H_2 + S = H_2S$  (1 балл), тогда вещество **D** – это сероводород (2 балла).

Всего 11 баллов.

### Задача 2. Старый знакомый

Исходя из графика, реакции с сульфидом натрия (выпадает осадок одного состава), а также информации об энтальпиях гидратации, можно предположить, что соединение **A** – это кристаллогидрат, **D** – безводная соль и **B**, **C** – также кристаллогидраты, но с меньшим содержанием воды. Безводная соль **белого цвета** (2 балла).

На последней стадии уходит меньше всего молекул воды – можно решить задачу отталкиваясь от данного факта.

Количество молекул воды на последней стадии	1	2	3
Количество молекул воды в <b>A</b>	5	10	15
M(H <sub>2</sub> O) последней стадии, г/моль	18	36	54
M( <b>A</b> ) расчет	18/0,072	36/0,072	54/0,072
M( <b>B</b> ) расчет	250*0,64	500*0,64	750*0,64
M( <b>B</b> ) значение, г/моль	160	320	480

И в случае двух, и в случае трех молекул воды, уходящих на последнем этапе, молярная масса безводной соли достаточно велика: можно предположить, что **A** – пятиводный гидрат, а если вспомнить, что он синий, сразу можно определить медный купорос, который при потере воды становится из синего белым. Молярная масса сульфата меди (II) равна 160



г/моль; молярная масса медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) равна 250 г/моль, что удовлетворяет первой части условия.

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4$

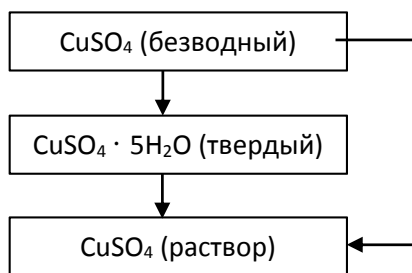
**\*8 баллов** за верное соотнесение веществ (по **2 балла** за вещество).

$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CuS} + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (**2 балла за уравнение реакции**):

- 1) Количество вещества сульфида натрия равно  $n = C \cdot V = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05$  моль;
- 2) Количество вещества  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равно  $n = m/M = 10/250 = 0,04$  моль (недостаток);
- 3) Количество вещества  $\text{CuSO}_4$  равно  $n = m/M = 10/160 = 0,0625$  моль (избыток);
- 4) Молярная масса сульфида меди (II) =  $64 + 32 = 96$  г/моль;
- 5) Масса осадка в растворе медного купороса равна  $m = n \cdot M = 0,04 \cdot 96 = 3,84$  г;
- 6) Масса осадка в растворе безводной соли равна  $m = n \cdot M = 0,05 \cdot 96 = 4,8$  г;

таким образом видно, что соединения **A** и **D** – действительно медный купорос и сульфат меди (II).

Для расчета энтальпии гидратации  $\text{D} \rightarrow \text{A}$  можно зарисовать цикл Гесса. Из него следует, что  $\Delta H_1 = \Delta H - \Delta H_2 = -66,5 - 11,93 = -78,43$  кДж. Тогда тепловой эффект равен 78,43 кДж (**8 баллов** за расчет и обоснование)



**Всего 20 баллов.**

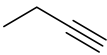
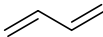
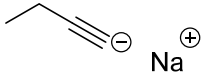
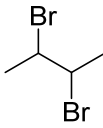
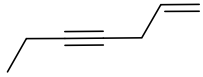
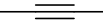
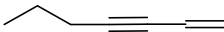

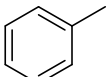
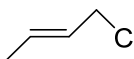
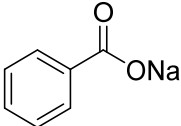
### Задача 3. Ура, органика

Структурно изомерные газы с брутто-формулой  $\text{C}_4\text{H}_6$  – это бутин-1 (**X**) и бутадиен-1,3 (**Y**), бутин-2 не подходит, так как газом при н. у. не является.

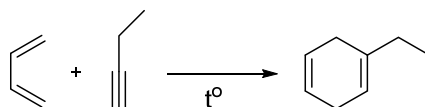
Понятно, что **X** – алкин с терминальной тройной связью по самой первой реакции в цепочке: кислотные свойства характерны именно для алкинов с терминальными тройными связями. Далее образуется бутинид анион (**A**), который вступает в реакцию алкилирования с хлорпроизводным, получается соединение **B**: гексен-1-ин-4. При действии натрия и повышенных температур алкины претерпевают ацетилен-алленовую перегруппировку: в результате может мигрировать тройная связь, что и происходит в данном случае – получается более стабильный структурный изомер (**C**). Это соединение вступает в реакцию дегидроизомеризации; продуктом является толуол (**D**). При окислении толуола пермангатом калия в щелочной среде получается натриевая соль бензойной кислоты (**E**), которая при сплавлении со щелочью (реакция Дюма) приводит к образованию бензола.

При взаимодействии бутадиена-1,3 с двумя эквивалентами бромоводорода получается 2,3-дибромбутан (**F**), который вступает в реакцию элиминирования: продуктом является бутин-

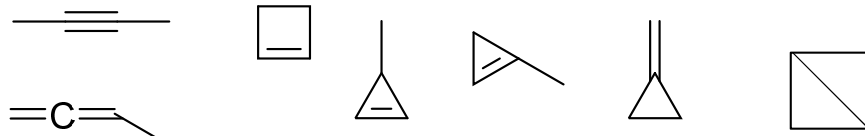
2 (G). Натрий в жидком аммиаке – это восстановитель за счет протекания реакции:  $2\text{Na} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2$ ; восстанавливает алкины до транс-алкенов, следовательно, **H** – это *транс*-бутен-2. При хлорировании на свету хлор замещает водород в аллильном положении, так как именно там образуется наиболее устойчивый радикальный центр. Превращение из бутина-2 в бутин-1 также возможно посредством ацетилен-алленовой перегруппировки – это один из способов получения терминальных алкинов.

<b>X</b>		<b>Y</b>	
<b>A</b>		<b>F</b>	
<b>B</b>		<b>G</b>	
<b>C</b>		<b>H</b>	
<b>D</b>		<b>I</b>	
<b>E</b>		<b>По 1 баллу за правильную структуру 11 баллов за цепочку</b>	

Взаимодействие между **X** и **Y** – это реакция Дильса-Альдера (**1 балл за имя и 1 балл за продукт**):



Структурные формулы изомеров (**7 баллов**: по 1 за структуру):



**Всего 20 баллов.**

#### Задача 4. Другой способ

- 1) Для того, чтобы получить искомую энтальпию процесса – необходимо взять обратную реакцию к первой, сложить ее с вторым уравнением, поделенным на два, и прибавить третью реакцию (**3 балла**). Осталось проделать то же самое с энтальпиями:

$$\Delta H_x = -\Delta H_1 + \Delta H_2/2 + \Delta H_3 = 98,9 + 180,6/2 - 33,5 = 155,7 \text{ кДж/моль (2 балла за расчет).}$$

- 2) Расчет энтропии реакции (**2 балла**):

$$\Delta S_x = S^0(\text{SO}_3 \text{ (газ)}) + S^0(\text{NO (газ)}) - S^0(\text{SO}_2 \text{ (газ)}) - S^0(\text{NO}_2 \text{ (газ)});$$

$$\Delta S_x = 426,7 + 210,6 - 160,2 - 167,2 = 309,9 \text{ Дж/(моль*К)} = 0,3099 \text{ кДж/(моль*К)};$$

Расчет температуры (**2 балла**):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 0 \text{ (система в равновесии)};$$

$$T = \Delta H_x / \Delta S_x = 155,7 / 0,3099 = 502 \text{ К} = 229 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 3) Расчет константы равновесия (**1 балл**):

При температуре 502 К  $\Delta G = 0$ , значит и  $RT\ln K = 0$  ( $R$  и  $T \neq 0$ ).  $\ln K = 0$ ,  $K = 1$ .

- 4) Расчет температуры (**3 балла**):

$$\Delta H - T\Delta S = -RT\ln K; \Delta H = T(\Delta S - R\ln K);$$

$$T = \frac{\Delta H}{\Delta S - R\ln K} = \frac{155,7 * 1000}{309,9 - 8,314 * \ln(15)} = 541,78 \text{ К} = 269 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 5) Выражение для константы равновесия (**2 балл**):

$$K_c = \frac{[\text{SO}_3][\text{NO}]}{[\text{SO}_2][\text{NO}_2]} = 15;$$

$$K_c = \frac{x * x}{(2-x) * (2-x)} = 15$$

Можно также составить таблицу «было-прореагировало-стало»:

	SO <sub>2</sub> (газ)	NO <sub>2</sub> (газ)	SO <sub>3</sub> (газ)	NO (газ)
Было	2	2	0	0
Прореагировало	-x	-x	x	x
Стало	2 - x	2 - x	x	x

При решении квадратного уравнения получаются корни  $x_1 = 1,59$  и  $x_2 = 2,70$  (не имеет физического смысла). Тогда состав равновесной смеси (**3 балла**):

	SO <sub>2</sub> (газ)	NO <sub>2</sub> (газ)	SO <sub>3</sub> (газ)	NO (газ)
[C], М	0,41	0,41	1,59	1,59

Расчет давления (**2 балла**):

$$p_{\text{общее}} = \frac{nRT}{V} = C_{\text{общая}}RT = \frac{4 * 8,314 * 541,78}{1000} = 18 \text{ Па}$$

**Всего 20 баллов.**