

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 | ? | ? |

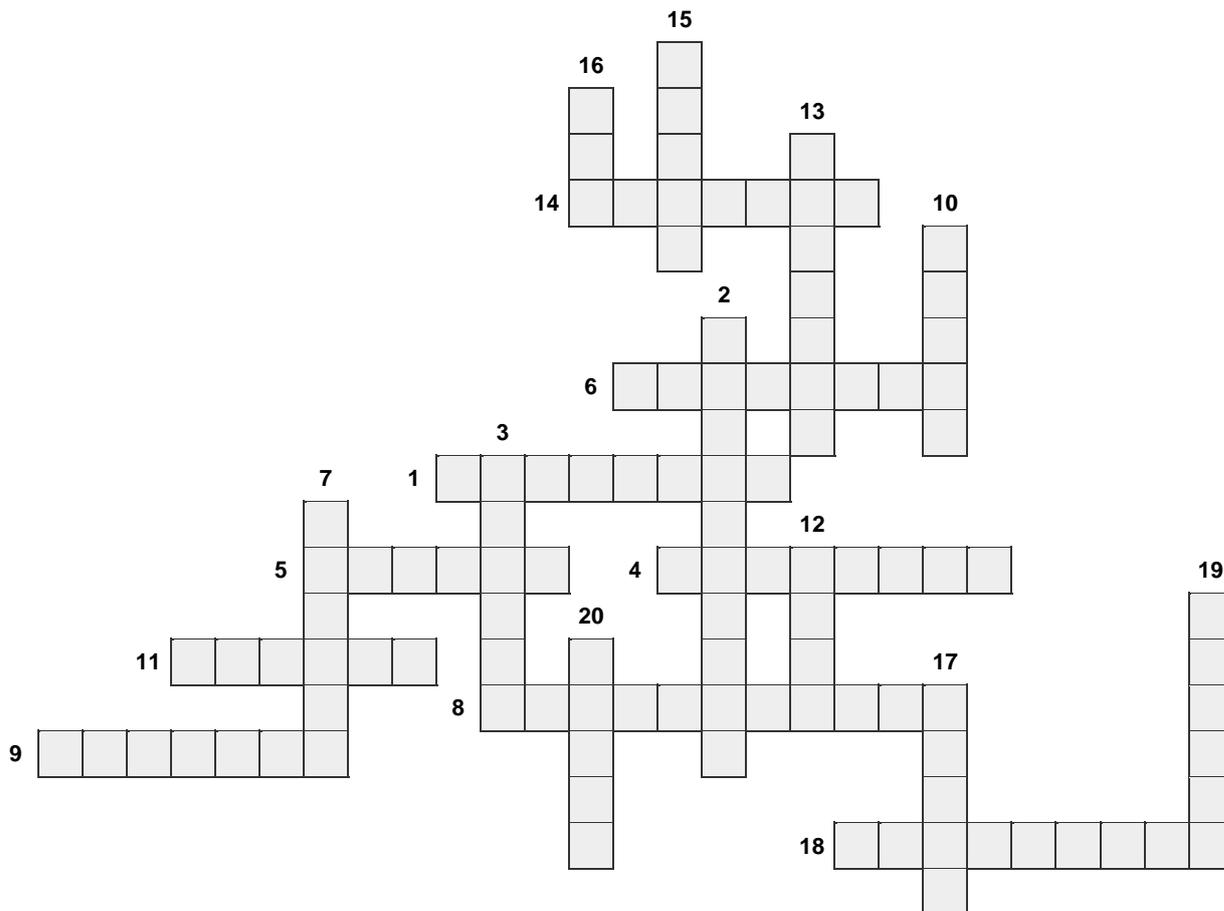
(атомные доли отражают соотношение количеств атомов элементов).

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.

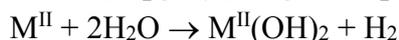
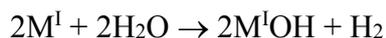


1. Процесс перехода из твердого агрегатного состояния в газообразное;
2. Метод получения водорода из воды;
3. Образуется при пропускании углекислого газа через раствор гашеной извести;
4. Их форма отличается в зависимости от природы соли;
5. Бесцветный газ с резким запахом;
6. Составная часть большинства 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 приступать 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.

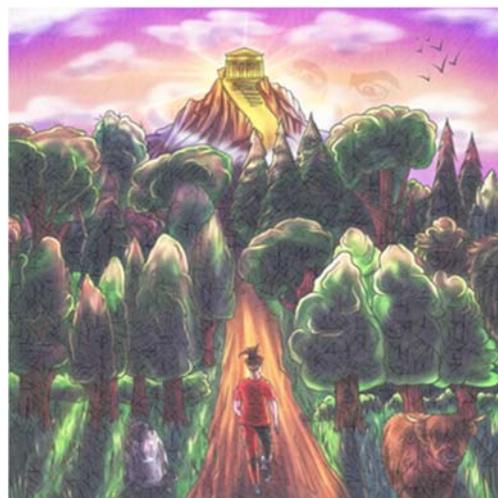
9 класс

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/см³.
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?

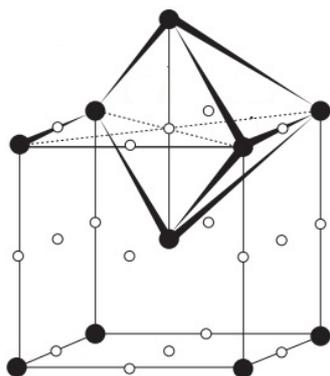
Если цементит начать медленно нагревать на воздухе, то в результате образуется только одно твердое вещество **А**. Если же сжечь его, то образуется другое твердое вещество **В**. Его можно представить как продукт соединения веществ **А** и **Х**.

3. Определите вещества **А**, **В** и **Х**. Приведите уравнения реакций образования **А** и **В**.

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) H_2O | В) для заполнения лампочек |
| 4) ZnO | Г) контрастное вещество для рентгена |
| 5) I_2 | Д) пигмент для масляных красок |
| 6) ClCN | Е) действующее вещество в изолирующих противогазах |
| 7) 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) Kr | К) компонент пороха |
| 11) Na_2O_2 | Л) компонент детской присыпки |
| 12) $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$ | М) травление тканей |
| 13) NaHCO_3 | Н) для заполнения детонаторов |
| 14) CO_2 | О) компонент пиротехнических изделий |
| 15) AgBr | П) строительный материал |
| 16) 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) BN | Ф) фиксаж |
| 21) S | Х) самый распространенный растворитель |
| 22) Pb_3O_4 | Ц) для выпечки |
| 23) 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

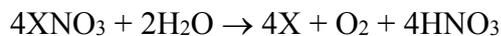
В каждую из четырех пробирок с окрашенными растворами нитратов металлов пропустили ток сероводорода H_2S . Полученный осадок из каждой пробирки отфильтровали, высушили и затем сожгли в избытке кислорода, при этом образовались оксиды металлов и сернистый газ SO_2 . Результаты экспериментов представлены 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 **X₁** методом электролиза (*реакция 1*). Проведя эксперимент, он выяснил, что из 50 г 8% раствора **X₁** было получено 2,55 г металла **X** в соответствии с уравнением процесса:



При взаимодействии металла **X** с иодом образуется бинарное соединение **X₂** (*реакция 2*), которое при растворении в концентрированном растворе азотной кислоты может образовать исходный нитрат **X₁** (*реакция 3*).

1. Определите неизвестный металл **X**. Ответ подтвердите расчетом.
2. Расшифруйте вещества **X₁** и **X₂**. Приведите все уравнения химических реакций.
3. При взаимодействии нитрата **X₁** с раствором гидроксида натрия образуется темно-коричневый осадок **X₃**. Напишите уравнение реакции и установите формулу осадка **X₃**.

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 **X₁** (*реакция 2*), которое при растворении в соляной кислоте образует смесь двух хлоридов **X₂** и **X₃** (*реакция 3*). Добавление к полученной смеси раствора едкого кали по каплям сначала выпадает белый аморфный осадок **X₄** (*реакция 4*), который затем растворяется (*реакция 5*). Пропускание избыточного количества углекислого газа через полученный раствор позволяет вновь образовать осадок **X₄** (*реакция 6*).

1. Напишите все химические уравнения реакций 1 – 6. Укажите формулы веществ **X**, **X₁** – **X₄**.
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*).

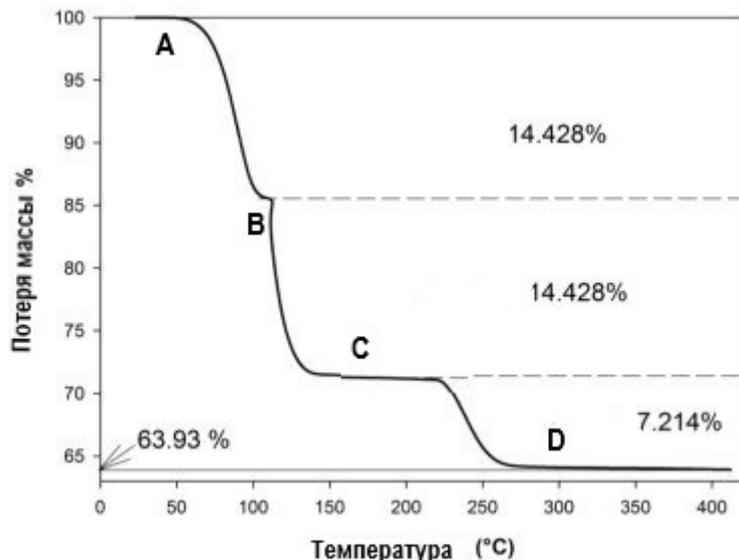


ПУТЬ К ОЛИМПУ-2023

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**.

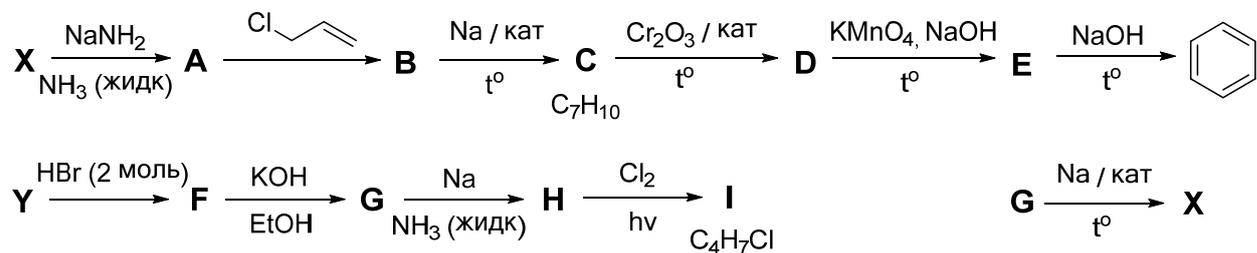


Навески веществ **A** и **D** массой 10 г полностью растворили в воде (в разных емкостях) и добавили 100 мл раствора 0.5 М раствора сульфида натрия к каждому из них. В обоих случаях образовался черный осадок, который не растворяется в разбавленных кислотах. Осадок отфильтровали, высушили и взвесили.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

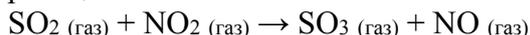
Ниже приведены схемы превращений двух структурно изомерных газов X и Y с брутто-формулой C₄H₆.



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.

- 1) $\text{SO}_3 \text{ (газ)} \rightarrow \text{SO}_2 \text{ (газ)} + 0,5\text{O}_2 \text{ (газ)}$ $\Delta H_1 = -98,9 \text{ кДж/моль};$
- 2) $\text{N}_2 \text{ (газ)} + \text{O}_2 \text{ (газ)} \rightarrow 2\text{NO} \text{ (газ)}$ $\Delta H_2 = 180,6 \text{ кДж/моль};$
- 3) $\text{NO}_2 \text{ (газ)} \rightarrow 0,5\text{N}_2 \text{ (газ)} + \text{O}_2 \text{ (газ)}$ $\Delta H_3 = -33,5 \text{ кДж/моль}.$

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

| | SO ₂ (газ) | NO ₂ (газ) | SO ₃ (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:

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

для реакции $aA + bB \rightarrow cC + dD$ 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 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 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 **Cu₂FeSnS₄** (3 балла)

2. Расчет массовой доли олова:

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

Расчет массовой доли серы:

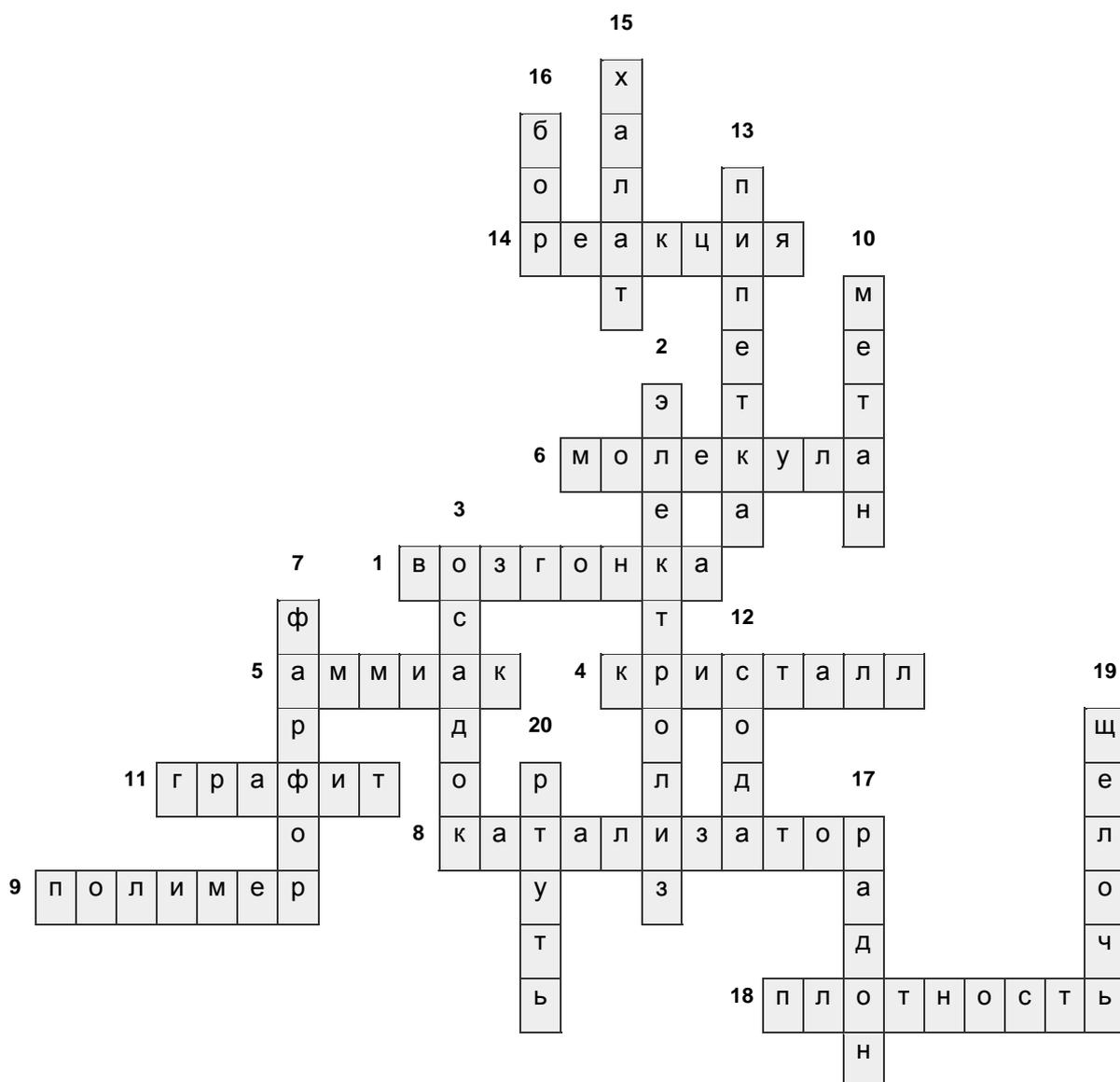
$$w(\text{S}) = \frac{32 \cdot 4 \cdot 100}{431} = 29,7\% \text{ (1 балл)}$$

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.

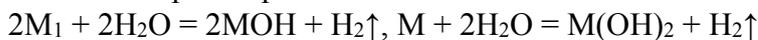
Всего 20 баллов.

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):

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

5. Объем выделившегося газа X – водорода H₂ (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:

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

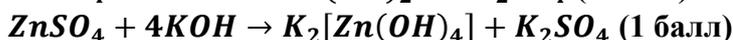
$$m_{ZnSO_4} = 8,41 \text{ г (2 балла)}$$

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”

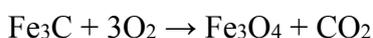
1) Сразу можно установить молярную массу цементита (на 1 атом углерода): $12 / 0,0667 = 180$ г/моль; тогда число атомов железа: $(180 - 12) / 56 = 3$. Таким образом, формула цементита Fe_3C – карбид железа. (1 балл)

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

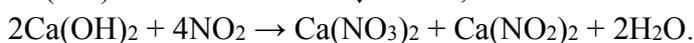
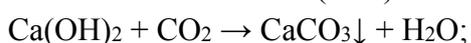
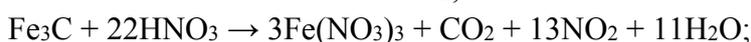
3) При сжигании железа или цементита основным продуктом окисления является оксид железа состава Fe_3O_4 (В). Данный оксид можно считать продуктом соединения оксидов железа (II) и железа (III). Однозначная идентификация веществ А и Х проводится на основании способа получения А, заключающегося в медленном нагреве цементита. При низкотемпературном окислении продукт должен содержать железо в менее окисленной форме, следовательно, А – FeO , Х – Fe_2O_3 .

Итак, А – FeO , В – Fe_3O_4 , Х – Fe_2O_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 $n(Fe_3C) = 7,2 / 180 = 0,04$ 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 (CO_2) при пропускании через гидроксид кальция выпадает в осадок в виде карбоната, а второй (NO_2) образует растворимые соли. Если предположить, что первый газ – углекислый, то легко посчитать массу второго газа: $n(CO_2) = 0,02$ моль; $m(CO_2) = 0,02 \cdot 44 = 0,88$ г; тогда $m(NO_2) = 12,84 - 0,88$ г = 11,96 г. Молярную массу второго газа можно найти через систему уравнений: $n(X) = 11,96 / M_x$ и $n(X) = 6,272 / 22,4 - 0,02 = 0,26$ 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) H_2O | Х) самый распространенный растворитель |
| 4) ZnO | Л) компонент детской присыпки |
| 5) I_2 | С) антисептик |
| 6) ClCN | Р) отравляющий газ |
| 7) 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) Pb/Sn | Т) припой |
| 10) Kr | В) заполняют электрические лампочки |
| 11) Na_2O_2 | Е) действующее вещество в изолирующих противогазах |
| 12) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ | П) строительный материал |
| 13) NaHCO_3 | Ц) используется в пекарнях |
| 14) CO_2 | А) сухой лёд |
| 15) AgBr | У) светочувствительное соединение |
| 16) ZrO_2 | З) изготовление искусственных камней-фианитов |
| 17) 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) BN | Б) абразивный материал |
| 21) S | К) компонент пороха |
| 22) Pb_3O_4 | Д) пигмент для масляных красок |
| 23) 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

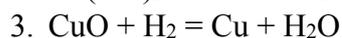
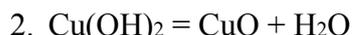
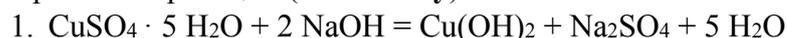
1. **КУРНОСЫЙ МОПЕД** при растворении в воде образует раствор голубого цвета, а при добавлении раствора гидроксида натрия выпадает голубой осадок, что наводит на мысли о том, что в его состав входят ионы меди. Слово «пермутация» обозначает перестановку, а **КУРНОСЫЙ МОПЕД** – анаграмма словосочетания “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 – $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (**X₁, 1 балл**), при прокаливании которого удаляется вода и образуется оксид CuO (**X₂, 1 балл**). При восстановлении оксида меди монооксидом углерода либо водородом можно получить медь – Cu (**X₃, 1 балл**). При взаимодействии с хлором на воздухе медь образует светло-коричневый хлорид CuCl_2 (**X₄, 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 | CuS | MnS | CdS | NiS |
| Формула твердого остатка | CuO | MnO_2 | CdO | 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.

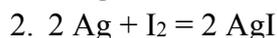
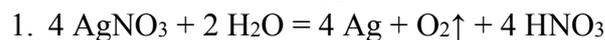
Задача 3. Неизвестный нитрат

1. Расчет атомной массы **X**:

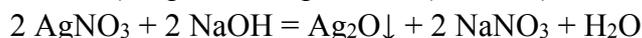
$$n(XNO_3) = n(X) \rightarrow \frac{50 \cdot 0,08}{A_r(X) + 62} = \frac{2,55}{A_r(X)} \rightarrow A_r(X) = 109.$$

Ближайший к полученной молярной массе одновалентный металл – серебро (Ag) (**3 балла**), тогда вещество **X₁** – AgNO₃ (**3 балла**).

2. При взаимодействии серебра с иодом образуется иодид AgI (**X₂**, **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 Ag₂O (**X₃**, **3 балла**). Уравнение реакции (**2 балла**):



Всего 20 баллов.

Задача 4. Самый, самый, самый популярный металл

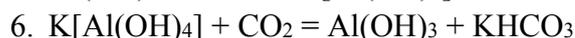
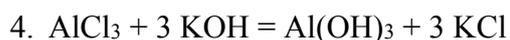
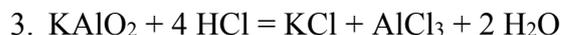
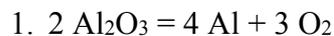
1. Сначала определим эквивалентную молярную массу металла в оксиде:

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

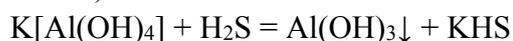
Подходит только алюминий (степень окисления +3). Следовательно, **X** – Al (**2 балла**).

При сплавлении оксида алюминия с едким кали образуется алюминат калия KAlO₂ или K₃AlO₃ (**X₁**, **1 балл**), который при растворении в соляной кислоте образует раствор хлоридов калия и алюминия – KCl и AlCl₃ (**X₂** и **X₃**, **по 1 баллу**). Добавление недостатка KOH к полученному раствору сначала приводит к выпадению осадка гидроксида алюминия Al(OH)₃ (**X₄**, **1 балл**), который при дальнейшем добавлении щелочи растворяется с образованием тетрагидроксоалюмината калия K[Al(OH)₄]. 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 (N₂O 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 (H₂), 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 A | 5 | 10 | 15 |
| M(H ₂ O) последней стадии, г/моль | 18 | 36 | 54 |
| M(A) расчет | 18/0,072 | 36/0,072 | 54/0,072 |
| M(B) расчет | 250*0,64 | 500*0,64 | 750*0,64 |
| M(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.

| A | B | C | D |
|---|---|--|-----------------|
| $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | CuSO_4 |

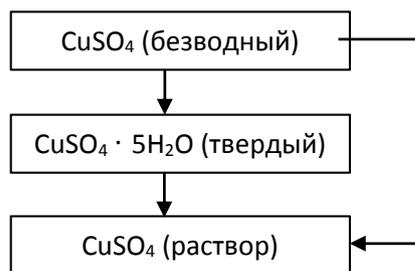
***8 баллов** за верное соотнесение веществ (по **2 балла** за вещество).

$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CuS} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ (**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 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.

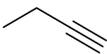
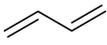
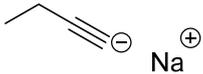
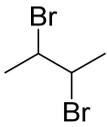
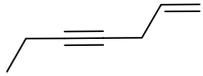
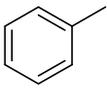
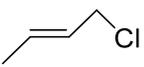
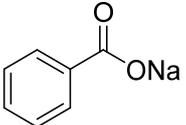
Задача 3. Ура, органика

Структурно изомерные газы с брутто-формулой C_4H_6 – это бутин-1 (**X**) и бутадиен-1,3 (**Y**), бутин-2 не подходит, так как газом при н. у. не является.

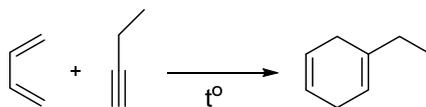
Понятно, что **X** – алкин с терминальной тройной связью по самой первой реакции в цепочке: кислотные свойства характерны именно для алкинов с терминальными тройными связями. Далее образуется бутинид анион (**A**), который вступает в реакцию алкилирования с хлорпроизводным, получается соединение **B**: 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-

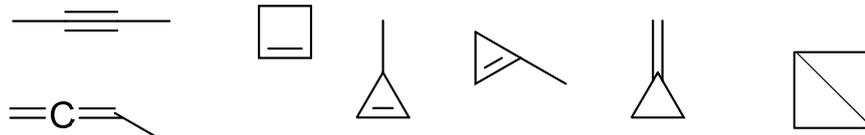
2 (G). Натрий в жидком аммиаке – это восстановитель за счет протекания реакции: $2\text{Na} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2$; восстанавливает алкины до транс-алкенов, следовательно, **H** – это *транс*-бутен-2. При хлорировании на свету хлор замещает водород в аллильном положении,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

| | | | |
|----------|---|--|---|
| X |  | Y |  |
| A |  | F |  |
| B |  | G |  |
| C |  | H |  |
| D |  | I |  |
| E |  | По 1 баллу за правильную структуру 11 баллов за цепочку | |

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 ₂ (газ) | NO ₂ (газ) | SO ₃ (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 ₂ (газ) | NO ₂ (газ) | SO ₃ (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.