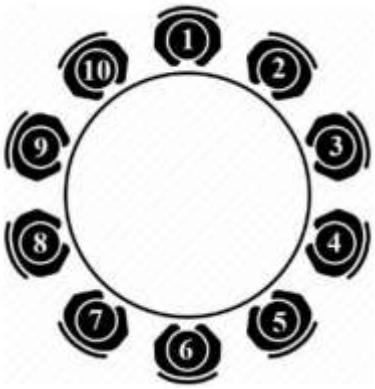
Республиканская олимпиада юниоров по химии
Заключительный этап
2023-2024

Дорогой друг!
Мы очень рады, что ты решил проявить себя в олимпиадном движении по химии. Это увлекательный путь к самосовершенствованию, развитию своего кругозора и лучшему пониманию мира, в котором мы живём.
Обратите внимание: решение каждой задачи оформляется на выданных Вам листках, так же не забудьте указать номер задачи в решение которой вы приводите. Пишите разборчиво и будьте внимательны: учитывайте, что именно от вас требуется в вопросе; не забывайте о подтверждении расчетами, где это требуется. Будьте уверены, каждый из вас может решить какую-то часть задачи. При возникновении трудностей переходите к следующим заданиям – вернетесь в конце, если у вас останется время.
Желаем вам интересной олимпиады и плодотворного участия!

Сириус
Лицей

Задача 1. «Химическая мафия».



За круглым столом сидит компания из 10 элементов: **Fe, Zn, S, Cu, Au, Al, Cl, Hg, Cs** и **Mg,** каждый из которых имеет номер за этим столом (от 1 до 10) (см. рисунок). Среди указанных элементов есть 7 «**мирных жителей**» и 3 «**мафии**». «**Мирными жителями**» будем называть элементы, любое утверждение которых точно истинно. «**Мафией**» - элементы, чьи утверждения точно ложны.

Другими словами, «мирные жители» элементы всегда говорят правду, а «мафия» - всегда лжёт. Задача «мирных жителей» в этой игре – определить «мафию» и убрать всю её команду со стола, задача «мафии» - обмануть всех «мирных жителей» и остаться за столом.

Каждому из элементов было позволено поговорить по очереди, и вот что они сказали:

Элемент № 1: «Я образую блестящий металл, соединения которого редко встречаются в природе. В растворах моя устойчивая степень окисления +3, а мой хлорид и нитрат в этой же степени окисления можно легко получить прямой реакцией с разбавленной соляной и разбавленной азотной ***(реакции 1*** и ***2)*** кислотой соответственно. Легко реагирую с газами, входящими в состав воздуха - азотом и кислородом – ***реакции 3*** и ***4*** соответственно, при сгорании образую оксид голубого цвета, в котором количество моих атомов и атомов и кислорода соотносятся как 2 : 3 соответственно, а массовая доля кислорода в нём равна 45,78 %».

Элемент № 2: «Утверждаю, что **элемент № 1** - «мафия»! Группа таблицы Менделеева, в которую вхожу я, носит название «рождающие руды, образованные металлом **элемента № 1**». Я образую простое вещество жёлтого цвета, существующее в нескольких аллотропных модификациях, а большое количество этого вещества можно найти рядом с вулканами. Я очень полезен – продукт моего сгорания - газ **A** ***(реакция 5)*** может окисляться кислородом ***(реакция 6)***, но уже в присутствии катализатора – до газа **B**, содержащего 60,00 % кислорода по массе. Взаимодействие с водой **B** приводит к образованию очень важной кислоты **X** ***(реакция 7)***».

Элемент № 3: «Полностью согласен с **элементом № 2** и выступаю против **№ 1** – в бинарном соединении, в котором я образую с **элементом № 1**, он проявляет степень окисления не +3, а +2! Я образую двухатомное простое вещество жёлто-зелёного цвета с удушающим эффектом. В быту меня можно встретить на кухне в составе многим известной белой соли **Y**. Соль **Y** окрашивает пламя горелки в жёлтый цвет и содержит 60,68 % по массе меня».

<u>Элемент № 4:</u> «Утверждаю, что элемент **№ 2** «мирный». Металл, который я образую, может реагировать с простым веществом, образуемым **элементом №2**, при нагревании ***(реакция 8)***. При этом образуется вещество **C**, которое имеет такой же качественный состав, что и минерал ***пирит,*** обладающий золотистым цветом, из-за чего его путали с металлом, образованным **элементом № 7**. В ***пирите*** соотношение моих атомов и **элемента № 2** равно 1 : 2 соответственно, а при его сгорании образуется красно-коричневое твёрдое вещество **D** и газ **A**».

<u>Элемент № 5:</u> «Я образую блестящий металл, на воздухе покрывающийся тонкой оксидной пленкой ***(реакция 9)***. Мой металл может взаимодействовать с разбавленной соляной кислотой ***(реакция 10)*** и растворами щелочей, в природе вхожу в состав таких минералов, как ***смитсонит*** (массовое содержание меня равно 52,00 %) и ***сфалерит*** (массовое содержание меня равно 67,01%). Моим металлом покрывают различные изделия для защиты от коррозии.

<u>Элемент № 6:</u> «Я образую металл, который может взаимодействовать с водой при нагревании ***(реакция 11)*** и сгорать с яркой вспышкой ***(реакция 12)*** Основное моё содержание приходится на карбонатные минералы и морскую воду. Вхожу в группу щелочноземельных металлов.

<u>Элемент № 7:</u> «Я образую вещество, бурно реагирующее с водой при стандартных условиях ***(реакция 13)***, образуя при этом **E**, в сухом виде которое при сплавлении с моим металлом ***(реакция 14)*** образует оранжевый оксид, содержащий 94,33 % по массе меня». Образую соединение с металлом жёлтого цвета, который образует **элемент № 10**.

<u>Элемент № 8:</u> «**Элемент № 7** нагло врёт! Это я образую вещество золотисто-жёлтого цвета, бурно реагирующий с водой ***(реакция 15)***, в то время как металл **элемента № 7** не растворяется в воде, кислотах и в щелочах!» **№ 7** – мафия вместе с **№1**, а последний из их команды – среди **№ 9** и **№ 10!**»

<u>Элемент № 9:</u> «Я образую единственный жидкий металл при нормальных условиях! Этот же металл может образовать соединения со многими другими металлами, поэтому я могу сказать, что хороши их знаю и **№4-№6** и **№ 8** точно не соврали, а **№ 10** – последняя «мафия»!»

<u>Элемент № 10:</u> «Вещество, который я образую, не пассивируется даже в концентрированных растворах кислот и легко взаимодействует с ними. Мои соединения активно используются в быту людей в качестве пищевых добавок. Тройка «мафии» - **№9, № 7** и **№ 1!** Можно заканчивать эту игру!»

Вопросы и задания:

1. Для каждого из 10 элементов установите соответствие между ним и его номером за игровым столом. Определите тройку «**мафии**». ***Свой ответ обязательно обоснуйте!***
2. Среди веществ **A-E, X, Y** и трёх минералов (***пирит, смитсонит*** и ***сфалерит***) запишите формулы **только тех** веществ, которые были упомянуты «**мирными**» элементами. Вещества, которые упоминали элементы из команды «мафии» **<u>определять не требуется</u>**.
3. Среди ***реакций 1-15*** запишите уравнения **только тех**, что были упомянуты «**мирными**» элементами. Реакции, упомянутые элементами из команды «мафии» **<u>записывать не требуется</u>**.

Задача 2. «Продолжение приключений Доктора Таша»

Предыстория: после загадочной вспышки зелёного света все люди превратились в камни. Спустя 7300 лет химик Доктор Таш пробудился и начал восстанавливать цивилизацию с помощью науки.

После нескольких лет восстановления человечества количество деревень увеличилось и связь между деревнями стала проблемой. Чтобы решить эту проблему Доктор Таш решил изготовить телефон. Для этого он поручил своим ученикам собрать необходимые материалы.

Первая группа отправилась за ингредиентом для лампочки – вольфрамом.

Вопросы и задания:

1. Почему для лампочки группе понадобился именно вольфрам? Свой ответ объясните.

К сожалению, по пути к вольфраму грунт под группой провалился и часть отряда упала в глубокую яму. К счастью, рядом был источник с водой и шланги. Отряд решил переливать воду в яму и всплыть наверх.

2. Определите, через сколько часов отряд сможет выбраться из ямы, если яма наполняется водой со скоростью 20 л/минуту. Примите, что имеет форму цилиндра высотой 4 метра, радиусом 1 метр. Объём цилиндра считается по формуле: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$, где h – высота, r – радиус цилиндра.

Выбравшись из ямы, отряду удаётся найти вольфрам, однако он оказывается загрязнён известняком на 25 %.

3. Определите, сколько кг. такого «грязного» образца вольфрама необходимо взять отряду, чтобы из него можно было получить 10,2 кг вольфрама?

Другим помощникам было поручено изготовить моток медной проволоки. Для добычи меди они использовали минерал малахит $Cu_2(OH)_2CO_3$. Для получения меди из малахита группа ученых сначала прокалила минерал, при этом был получен чёрный оксид металла и два газа. Учёным удалось посчитать, что 44 г. одного из газов занимает объём, равный 24,45 л. при 1 атм. и 25 ^oC, а 9 г. другого газа содержат $3{,}01 \cdot 10^{23}$ молекул. После проведённых измерений, учёные пропустили водород, полученный взаимодействием цинка с соляной кислотой, через чёрный оксид, полученный при разложении малахита. Известно, что вещества реагировали в мольном соотношении 1 : 1.

Справочная информация: уравнение Менделеева-Клапейрона: $PV = nRT$, где P – давление (кПа, 1 атм = 101,325 кПа), V – объём газа (литры), n – количество вещества (моль), R – универсальная газовая постоянная (8,314 кПа • л/моль • К), T – температура вещества (К, 25 ^oC = 298 К).

4. Определите формулы неизвестных газов, ответ подтвердите расчётами. Напишите уравнения упомянутых реакций.

5. Определите, какую массу малахита необходимо взять, чтобы получить 0,001 $м^3$ меди. Его плотность равна 8,96 $г/см^3$.

Другой части группы поручено переплавить металл. Для этого им было предложено несколько веществ: CH_4, C_2H_6, C_3H_8 и C_2H_5OH.

6. Напишите уравнения реакций сгорания всех четырёх веществ, если известно, что продуктами реакций являются только углекислый газ и вода. Сколько тепла выделятся при сгорании одного грамма каждого из веществ? Какое вещество Вы рекомендуете использовать для плавления металла?

Вещество	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_2H_5OH	CO_2	H_2O
Теплота образования, кДж/моль	74,50	84,64	103,85	277,70	393,5	242,00

Один из не очень аккуратных учёных разбил колбу с этанолом C_2H_5OH, его пары начали заполнять всю комнату

7. Определите концентрацию паров этанола в этой комнате, если известно, что в ней находится $4{,}707 \cdot 10^{23}$ молекул C_2H_5OH, а размеры комнаты – 3 м • 2 м • 3 м.

8. Превышает ли предельную допустимую концентрацию (ПДК) концентрация паров, посчитанная Вами в п.7? Если да, то во сколько раз? ПДК этанола равна 1000 $мг/м^3$.

Задача 3. «О памятнике Салавату Юлаеву»

Произведение скульптора-монументалиста С. Тавасиева – памятник Салавату Юлаеву в городе Уфа стало национальным достоянием республики и самым посещаемым местом города. Монумент представляет собой почти 10-метровую (с постаментом – 14-метровую) скульптуру, сделанную из бронзированного ***чугуна***, постамент – ***гранитный***. Удивительно, но при весе около 40 тонн у него всего три опорные точки. Первая модель памятника в натуральную величину была выполнена из ***гипса*** и закончена к 1963 году.

Основными компонентами чугуна являются бинарные соединения углерода и металла **X,** который на воздухе со временем ржавеет. Можно выделить два основных бинарных соединения **X** с углеродом в составе чугуна: ***цементит*** и ***аустенит***. Известно, что в ***аустените*** соотношение атомов **X** к атомам углерода равно 1 : 1, а в цементите атомы **X** составляют 75,00 % от числа всех атомов, входящих в соединение. Массовая доля **X** в цементите равна 93,33 %. Бронзируют чугун следующим образом: хорошо вычищенную поверхность смазывают каким-нибудь растительным маслом и сильно нагревают, контролируя температуру. При этом на поверхности образуется коричневый (бурый) слой окиси металла **X**, который прочно держится и поддается полировке.

Вопросы и задания:

1. Как Вы думаете, для чего необходимо контролировать температуру при бронзировании чугуна? Определите металл **X**, подтвердив свой ответ расчётом. Запишите уравнение реакции образования окиси **X**. Определите формулы ***аустенита*** и ***цементита***.

Гранит представляет собой горную породу более сложного (по сравнению с чугуном) состава. Анализ образца массой 100,00 г. показал, что состав гранита можно представить следующими веществами:

Вещество	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Масса, г.	71,56	14,12	4,58	2,16	7,58
m (O), г.	38,17	6,64	1,18	0,62	2,27

Все представленные в таблице вещества являются бинарными (двухэлементными) и относятся к одному классу неорганических соединений. О веществе **А** известно, что оно не содержит металлов IA группы.

2. К какому именно классу соединений относятся вещества, входящие в состав гранита? Свой ответ обоснуйте. Определите формулы всех пяти веществ. Ответы подтвердите расчетом.
3. Определите мольное соотношение веществ, входящих в состав гранита, приняв за единицу количество вещества с наименьшим мольным содержанием.

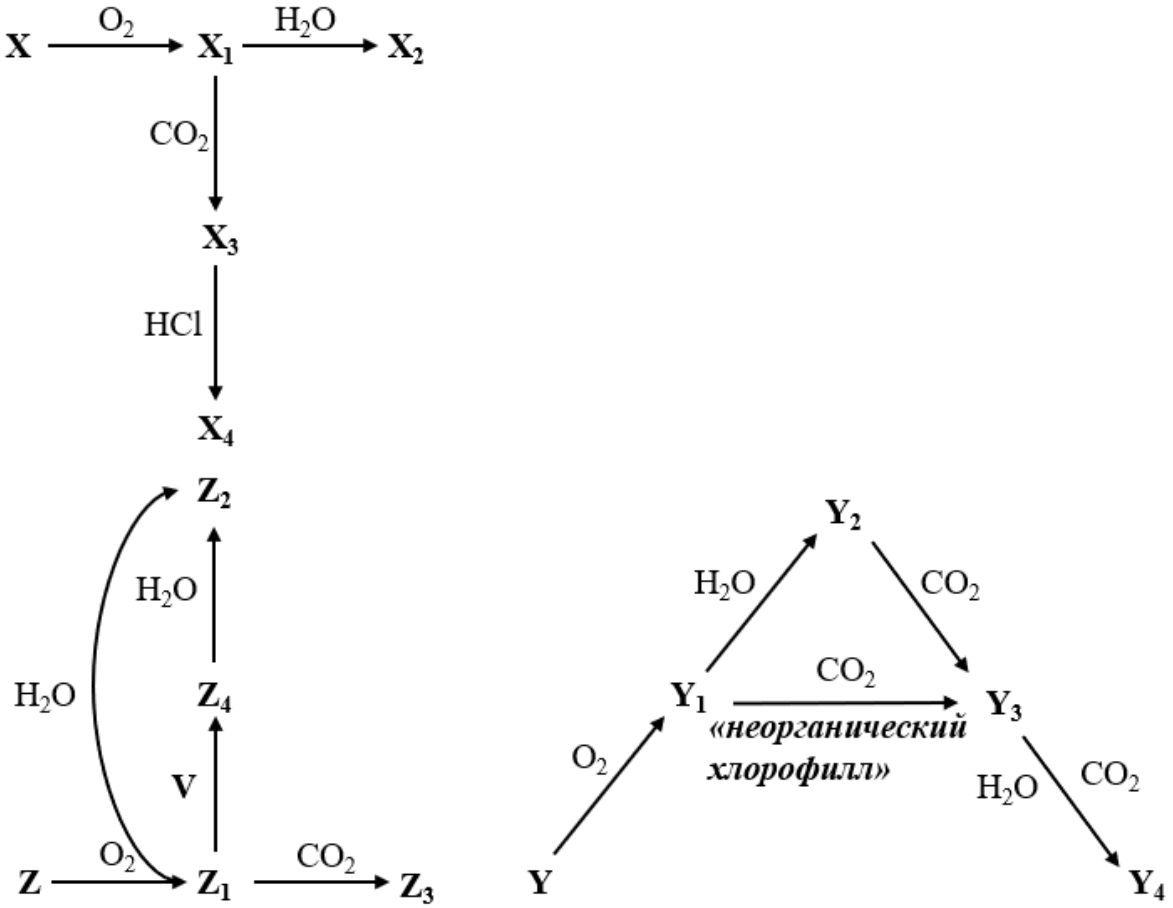
Гипс готовится из порошка ***алебастра,*** который размешивают в воде до состояния однородной вязкой взвеси. В ходе этого процесса алебастр присоединяет дополнительные молекулы воды, превращаясь в гипс. Алебастр и гипс представляют собой кристаллогидраты сульфата кальция (то есть вещества вида $\mathbf{CaSO_4 \cdot nH_2O}$, где **n**- какое-то количество воды на 1 моль сульфата), но с разным содержанием воды: в гипсе в 4 раза больше молекул воды в расчете на 1 моль $CaSO_4$, а массовая доля воды в 3,37 раза больше, чем в алебастре.

4. Определите формулы ***алебастра*** и ***гипса***. Ответ подтвердите расчетом.

Задача 4. «Интересная химия металлов … группы».

Металлы **X**, **Y** и **Z** – металлы одной группы таблицы Менделеева. Как элементы одной группы, они обладают похожими химическими и физическими свойствами, однако не во всём. Так, все они представляют собой очень активные мягкие (некоторые металлы из этой группы особенно легко режутся ножом) металлы серебристого цвета, хранить которые на открытом воздухе небезопасно, обычно их помещают под слой керосина. При работе с металлами **X-Z** в лаборатории необходимо соблюдать технику безопасности, например, обязательно класть образцы металлов на сухую бумагу и прикасаться к ним строго в сухих перчатках. Молярные массы **X**, **Y** и **Z** соотносятся как **1 : 3,29 : 5,57** соответственно.

Далее, Вам представлена схема превращений веществ, содержащие эти металлы:



При сгорании на воздухе металла **X** образуется порошок его оксида $\mathbf{X_1}$, чего не скажешь о металле **Y**: при его сгорании образуется вещество $\mathbf{Y_1}$ состава $\mathbf{Y_2}O_2$.

При сгорании металла **Z** образуется вещество $\mathbf{Z_1}$, формулу которого записывают как $\mathbf{Z}O_2$.

Бесцветные растворы веществ $\mathbf{X_2}$-$\mathbf{Z_2}$ образуются при растворении продуктов сгорания металлов в воде. При добавлении фенолфталеина в полученные растворы наблюдается появление малиновой окраски.

Растворение веществ $\mathbf{Y_1}$, $\mathbf{Z_1}$ и $\mathbf{Z_4}$ в воде, а также превращения $\mathbf{Y_1}$ в $\mathbf{Y_3}$, $\mathbf{Z_1}$ в $\mathbf{Z_3}$ и $\mathbf{Z_1}$ в $\mathbf{Z_4}$ сопровождаются выделением одного и того же газа **U** плотностью по воздуху 1,1034. При растворении $\mathbf{Z_1}$ помимо вещества $\mathbf{Z_2}$ в растворе остаётся ещё и вещество **W**, обладающее таким же качественным составом, что и вода. Вещество $\mathbf{Y_1}$ можно считать производным вещества **W**.

Газ **V** является простым бесцветным веществом, состоящим из тех же атомов, что и газ **U**, но плотностью в 1,5 раза больше, чем **U**. Характерный «свежий» запах газа **V** можно почувствовать на улице после грозы, так как слой из него защищает Землю от жёсткого ультрафиолетового излучения.

Вещество $\mathbf{Y_4}$ является продуктом многотоннажного производства и широко применяется в быту.

Цвет пламени при внесении в горелку $\boldsymbol{X_3}$ **[карминово-красное]**

Цвет пламени при внесении в горелку $\boldsymbol{Y_3}$ **[жёлтое]**

Цвет пламени при внесении в горелку $\boldsymbol{Z_3}$ **[фиолетовое]**

Вопросы и задания:

1. ***<u>Внимательно</u>*** рассмотрите ***<u>схему</u>*** превращений, и ответьте, химия какой же группы представлена в этой задаче?
2. Определите металлы **X**, **Y** и **Z**, газы **U** и **V**, вещества $\mathbf{X_1}$-$\mathbf{X_4}$, $\mathbf{Y_1}$-$\mathbf{Y_4}$ и $\mathbf{Z_1}$-$\mathbf{Z_4}$. Определите вещество **W**. Почему при работе с **X-Z** необходимо не допускать попадания влаги на их поверхность? Ответ подтвердите уравнением реакции.
3. Запишите уравнения реакций, изображённых на схеме (всего **14** уравнений ***реакций***!)
4. Где в быту используется вещество $\mathbf{Y_4}$?
5. В этой задаче не были упомянуты ещё два металла из этой же группы. Попытайтесь вспомнить, в какой цвет окрашивают пламя их соли.

Решения и критерии оценивания олимпиадных заданий

Решение задачи 1 «Химическая мафия». Один из способов!

1. Элемент № 1 описывает различные физико-химические свойства, внимательно изучив которые можно усомниться в том, что он «мирный». Точно в этом убедиться поможет расчет формулы оксида: он утверждал, что мольное соотношение его и кислорода равно 2 : 3, то есть оксид имеет простейшую формулу $Э_2O_3$ (где **Э** – **элемент № 1**), в котором массовое содержание кислорода равно 45,78 %. Составим уравнение:

$$\frac{3 \bullet Ar(O)}{2 \bullet Ar(Э) + 3 \bullet Ar(O)} = 0{,}4578$$

$\frac{3 \bullet 16}{2 \bullet Ar(Э) + 3 \bullet 16} = 0{,}4578$, откуда Ar(Э) = 28,42 г/моль. Самое близкое значение к такой массе у кремния Si (28,09 г/моль), но оксида Si_2O_3 не существует. Таким образом, такого элемента просто нет и **№ 1** соврал.

Элемент № 2 утверждает, что **№ 1** соврал, в чём мы уже убедились, а это означает, что **№ 2** говорит правду и он «**мирный**». Значит, все утверждения в речи **№ 2** истинны. Среди всех элементов, сидящих за столом, простое вещество жёлтого цвета, кислота которого находит широкое применение в промышленности – это только сера (другие простые вещества жёлтого цвета за этим столом – Au и Cs не сгорают до газообразных продуктов и не образуют затем из них кислоты. Значит, **элемент № 2** – это **S**. **№ 2** сказал, что группа элементов, в которую он входит, называется «рождающие руды, образованные металлом **элемента № 1**». Сера входит в группу **<u>халькогенов</u>** (VIA или же 16-ая группа таблицы Менделеева) - от греческих слов «chalkos» -медь и «genos» - рожденный, а это означает, что **элемент № 1 – Cu**.

О команде **элемента № 3** трудно судить, так как его фраза выражает своё согласие, но не является чётким **утверждением**. Можно догадаться, о какой соли **Y** говорит **№ 3**: очевидно, о поваренной – NaCl, так как именно её можно найти почти на каждой кухне, и именно она окрашивает пламя горелки в жёлтый цвет, так как содержит катионы натрия Na^+. Таким образом, так как натрия в игре нет, а есть только Cl, то **если элемент № 3 говорит правду, то он может быть только хлором – Cl.** Это сходится и по описанию простого вещества (Cl_2 – удушливый газ с желто-зелёным окрасом), и по бинарному соединению с медью ($CuCl_2$ – степень окисления Cu действительно +2, а не +3). Однако, рано утверждать, что **№ 3** – это «мирный» хлор, так как это может

быть любой другой элемент, который пытается себя выдать за него. Разберемся, кто такой **№ 3** исходя из речей других элементов.

Исходя из речи **элемента № 4** тоже трудно рассуждать о его команде, так как он тоже не делает утверждений, а лишь выражает своё согласие с элементом **№ 2**, то есть с серой. По его речи можем понять, что **если элемент № 4 говорит правду, то он может быть только железом Fe**. Это следует из ***пирита*** золотистого цвета, в котором мольное соотношение элемента и серы равно 1 : 2, то есть представляет с собой формулу $ЭS_2$ (тут Э – **элемент № 4**). Минерал с такой формулой и такого цвета, содержащий элемент за игровым столом – это FeS_2 («золото дураков»), при сгорании которого образуется SO_2 (газ **A** – продукт сгорания серы) и твёрдое **D** – Fe_2O_3 (**или** Fe_3O_4), как и при сгорании FeS – вещества **C** – продукта прямой реакции железа с серой при нагревании. Однако, как же понять, это какой-то другой из «чёрных» элементов выдаёт себя за железо, или же это правда оно?

Анализируя все речи за столом внимательно, можно заметить, что среди **элементов № 7** и **№ 8** – разные команды! То есть, среди них нет двух «мафии» и двух «мирных», они в противоположной команде! Следует это из того, что **элемент № 7** выдаёт себя за цезий (это очевидно из описываемых химических свойств – из всего списка элементов за столом бурно реагирует с водой только цезий. Это предположение и подтверждается формулой оранжевого оксида Cs_2O, который содержит 94,33 % цезия по массе), а **элемент № 8** утверждает, что **№ 7** врёт, что означает, что **№ 7** и **№ 8** не могут говорить оба правду и не могут оба лгать (так как если **№ 7** лжёт, то **№ 8**, утверждающий, что **№ 7** врёт – говорит правду). Таким образом, среди **№ 7** и **№ 8** одна «мафия», **№ 1** – «мафия» ещё по первым рассуждениям и осталось найти последнего среди **№3-№6** и **№ 9-№10**. Внимательно проанализировав речи этих элементов, можно определить, что **№ 10** – последняя «мафия», так как для него тройка «мафии» - **№9, № 7** и **№ 1,** это означает, что **№ 9** для него – лжец. Но **№ 9** утверждает, что **№4-№6** и **№ 8** точно не соврали, значит, если **№ 9** врёт, то **№4-№6** и **№ 8** наоборот, соврали, чего точно быть не может, так как за столом ровно 3 «мафии», а не 4. Тогда, **№ 10** – точно врёт, то есть он «мафия». Отсюда следует, что **№ 2-№6** и **№ 9** – точно «мирные». Из того, что **№ 9** «мирный» следует, что **№ 8** не соврал, тогда **№ 7** – последняя «мафия».

Таким образом, **тройка мафии за столом - № 1, № 7** и **№ 10.**

По описанным химическим свойствам в речи элемента **№ 5** можно утверждать, что вещество, им образованное, проявляет амфотерные свойства, так как взаимодействует и с раствором кислоты, и с раствором щелочи. Из представленного списка это может быть алюминий или цинк, но понять, какой это элемент именно только из речи **№ 5** представляется возможным, только

если попытаться перебирать формулы смитсонита и сфалерита. В случае с алюминием:

- для смитсонита: $\frac{27}{0{,}5200}$ = 52 г/моль – молярная масса минерала в расчете на один атом металла. В общем виде можно утверждать, что если смитсонит содержит **x** атомов алюминия, то его молярная масса будет 52**x** г/моль. Перебирая значения молярных масс, вычитая из которых **x** атомов алюминия, мы будем получать остатки 25, 50, 75, 100… г/моль. Таким образом, к разумной формуле соединения прийти не удаётся.

- для сфалерита: $\frac{27}{0{,}6701}$ = 40,29 г/моль – молярная масса минерала в расчете на один атом металла. То есть, если сфалерит содержит **x** атомов алюминия, его молярная масса будет 40,29**x** г/моль. Прийти к формуле минерала ещё труднее из-за нецелочисленного значения молярной массы в расчете на 1 атом металла. Тогда, вероятнее всего **№ 5** – это цинк. Проверим:

-для смитсонита: $\frac{65}{0{,}5200}$ = 125 г/моль – молярная масса минерала в расчете на один атом цинка. Вычитая 65, в остатке получим 60 г/моль, что соответствует частице CO_3^{2-}. Тогда, предполагаемая формула минерала – **$ZnCO_3$**. Дальнейший перебор молярных масс не даёт разумных формул.

-для сфалерита: $\frac{65}{0{,}6701} = 97$ г/моль, вычитая откуда атомную массу цинка получаем 97 – 65 = 32 г/моль, что соответствует двум атомам кислорода или одному атому серы. Образование ZnO_2 не характерно для природного минерала, а **ZnS** – вполне возможно. Дальнейший перебор возможных формул соединения также не даёт результатов. Таким образом, **элемент № 5 – Zn**.

Из речи **элемента № 6** можно понять, что **это магний Mg** – из оставшихся элементов простое вещество, хорошо реагирующее с водой при нагревании, и относящееся к щелочноземельным металлам только он.

Элемент № 8 говорит правду, поэтому, металл золотисто-жёлтого цвета, бурно реагирующий с водой – это **Cs**.

Элемент № 10 врёт и утверждает, что не пассивируется в концентрированных растворах кислот. Это означает, что наоборот, вещество, им образованное, пассивируется в концентрированных растворах кислот и не взаимодействует с ними. Из всех оставшихся элементов – Au, Al и Hg такой металл может образовать либо Au, либо Al. Однако, **№ 7** в своей речи врал и говорил о том, что **№ 10** образует металл жёлтого цвета. Значит, это не так, поэтому **№10** не может образовать Au. Тогда, **элемент № 10** – **Al**.

Среди элементов **№ 7** и **№ 9** остались Hg и Au. Элемент **№ 9** утверждает, что может образовывать соединения со многими металлами и жидкий металл при

н.у. Как мы знаем, **№ 9** не врёт и образование соединений металла с другими металлами из оставшихся двух характерно только для ртути – единственного жидкого металла при н.у, такие соединения называются **амальгамами**. Так, **элемент № 7 – Au**.

ИТОГО:

№ 1	**№ 2**	**№ 3**	**№ 4**	**№ 5**	**№ 6**	**№ 7**	**№ 8**	**№ 9**	**№ 10**
Cu	S	Cl	Fe	Zn	Mg	Au	Cs	Hg	Al
м	**мир**	**мир**	**мир**	**мир**	**мир**	**м**	**мир**	**мир**	**м**

«**мир**» - мирные, «**м**» - мафия.

2. Среди веществ **A-E** и трёх минералов «мирными» были упомянуты **A-D** и все три минерала:

A	**B**	**C**	**D**	**X**	**Y**	***пирит***	***смитсонит***	***сфалерит***
SO_2	SO_3	FeS	Fe_2O_3 **ИЛИ** Fe_3O_4	H_2SO_4	NaCl	FeS_2	$ZnCO_3$	ZnS

3. Уравнения реакций:

(5) $S + O_2 \rightarrow SO_2$

(6) $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$

(7) $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

(8) $Fe + S \rightarrow FeS$

(9) $2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO$

(10) $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$

(11) $Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$

(12) $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$

(15) $2Cs + 2H_2O \rightarrow 2CsOH + H_2$

Формулы веществ и уравнения реакций, упомянутые элементами **№ 1, № 7** и **№ 10** записывать **<u>не требуется</u>**, так как они из команды «мафии».

Система оценивания:

1. За каждое верное соответствие между элементом и его номером за игровым столом по *1 баллу*	**10 баллов**
За определение «мафии» по *2 балла* за элемент. Без какого-либо обоснования (просто указаны числа) – **0 баллов!**	**6 баллов**
2. Формулы девяти веществ – по *0,5 балла*	**4,5 балла**
3. Уравнения девяти реакций по *0,5 балла*	**4,5 балла**
ИТОГО:	**25 баллов**

Решение задачи 2 «Продолжение приключений Доктора Таша».

1. Для лампочки группе необходимо было найти именно вольфрам, так как это самый **тугоплавкий** металл.

2. Объём цилиндра (ямы): $V = \pi \cdot 1^2 \cdot 4 = 12{,}56$ м^3, отсюда время: $t = \frac{12{,}56 \cdot 1000}{20 \cdot 60} =$ **10,5** часов.

3. Если примесей в вольфраме 25 %, то сам металл составляет 75 % от образца. Тогда, масса образца составит $\frac{10{,}2}{0{,}75}$ = **13,6 кг.**

4. Для определения неизвестного газа воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, из которого для одного из газов поулчаем, что $M = \frac{m \cdot R \cdot T}{P \cdot V} = 44$ г/моль, что соответствует $\mathbf{CO_2}$ и по логике задачи.

Второй газ образовался в количестве $n = \frac{N}{Na} = \frac{3{,}01 \cdot 10^{23}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 0{,}5$ моль. Зная моль и массу вещества, можем определить и сам газ: $M = \frac{9}{0{,}5} = 18$ г/моль, что соответствует воде $\mathbf{H_2O}$. Уравнения реакций:

$Cu_2(OH)_2CO_3 \rightarrow 2CuO + CO_2 + H_2O$

$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2$

$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$.

5. Масса меди составит 0,001 • 10^6 • 8,96 = 8960 г.

Количество меди n(Cu) = $\frac{8960}{64}$ = 140 моль

По уравнению реакции n($Cu_2(OH)_2CO_3$) = $\frac{1}{2}$n(CuO) = 70 моль, тогда m($Cu_2(OH)_2CO_3$) = 70 • 222 = **15,540 кг**.

6. Уравнения реакций сгорания с тепловыми эффектами на 1 моль вещества:

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$, Q = 803 кДж

$C_2H_6 + \frac{7}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$, Q = 1428,36 кДж

$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O$, Q = 2044,65 кДж

$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$, Q = 1235,3 кДж

Расчет при сгорании 1 г. вещества:

n(CH_4) = $\frac{1}{16}$ = 0,0625 моль, Q = 0,0625 • 803 = 50,19 кДж

n(C_2H_6) = $\frac{1}{30}$ = 0,0333 моль, Q = 0,0333 • 1428,36 = 47,56 кДж

n(C_3H_8) = $\frac{1}{44}$ = 0,0227 моль, Q = 0,0227 • 2044,65 = 46,41 кДж

n(C_2H_5OH) = $\frac{1}{46}$ = 0,0217 моль, Q = 0,0217 • 1235,3 = 26,81 кДж.

Рекомендуется использовать метан CH_4, так как при данной массе при его сгорании выделяется больше тепла.

7. n(C_2H_5OH) = $\frac{4{,}707 \cdot 10^{23}}{6{,}02 \cdot 10^{23}}$ 0,782 моль

m(C_2H_5OH) = 46 • 0,782 = 35,97 г.

C(C_2H_5OH) = $\frac{35{,}97}{3 \cdot 2 \cdot 3}$ = **1,998 г/м^3**

8. 1000 мг/м^3 = 1 г/м^3, то есть концентрация паров этанола превышает ПДК почти в два раза.

Система оценивания:

1. Указание на тугоплавкость *1 балл*	**1 балл**
2. Расчет объёма и времени по *1 баллу*	**2 балла**
3. Масса образца *1 балл*	**1 балл**
4. Определение формул газов по *1 баллу*, без подтверждения расчётом – *0,5 балла*	**2 балла**
Уравнения реакций по *1 баллу*	**3 балла**
5. Расчет массы малахита *2 балла*	**2 балла**
6. Уравнения реакций по *1 баллу*	**4 балла**
Расчет теплот по *1 баллу*	**4 балла**
Указание на метан с пояснением *4 балла*	**4 балла**
7. Определение концентрации *1 балл*	**1 балл**
8. Расчет, во сколько раз концентрация паров превышает ПДК *1 балл*	**1 балл**
ИТОГО:	**25 баллов**

Решение задачи 3 «О памятнике Салавату Юлаеву».

1. При бронзировании чугуна температуру необходимо контролировать для того, чтобы не допустить воспламенения растительного масла.

Определим металл **X**. Известно, что он образует бинарные соединения с углеродом – аустенит и цементит. В цементите доля атомов **X** равна 75,00 %, а это соответствует $\frac{3}{4}$ части, входящих в состав соединения. Тогда, формулу цементита можно представить как $\mathbf{X_3C}$. Воспользуемся тем, что нам известна массовая доля **X** в нём:

$\frac{3 \bullet Mr(X)}{3 \bullet Mr(X)+12} = 0{,}9333$, откуда Mr(**X**) = 55,97 г/моль, что соответствует железу.
Таким образом, **X** – Fe.

Уравнение реакции образования окиси:

$4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$

ИЛИ

$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$.

Из того, что **X** – Fe, следует, что формула цементита – $\mathbf{Fe_3C}$**.** В аустените соотношения атомов железа к атомам углерода составляет 1 : 1, поэтому его формула – **FeC**.

2. Внимательно рассмотрев таблицу, заметим, что помимо массового содержания веществ в граните, нам указана масса кислорода для каждого из этих веществ. Это означает, что в состав всех веществ входит кислород, а бинарные соединения с кислородом – это **оксиды**, что достаточно логично для горных образований. Тогда, имеем массовую долю кислорода для каждого из них:

Вещество	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
ω(O)	$\frac{38,17}{71,56}$	$\frac{6,64}{14,12}$	$\frac{1,18}{4,58}$	$\frac{0,62}{2,16}$	$\frac{2,27}{7,58}$
	0,5334	0,4703	0,2576	0,2870	0,2995

Оксиды можно обозначить общей формулой $\mathbf{Э^{n+}{}_2O_n}$, где **n** – степень окисления элемента **Э**, образующего оксид. Для **A** составим следующее уравнение: $\frac{16 \bullet n}{16 \bullet n + 2 \bullet Э} = 0,5334$

Понимая, что значение **n** принадлежит промежутку [**1; 8**] (так как степень окисления элемента не может быть больше +8), перебором для каждого значения **n** определим соответствующие значения молярной массы элемента **Э**:

n	Mr(Э), г/моль
1	7,00 (**Li?**)
2	14,00 (**N?**)
3	21,00 (-)
4	28,00 (**Si**)
5	35,00 (-)
6	42,00 (-)
7	49,00 (-)
8	56,00 (**Fe?**)

Таким образом, получили 4 варианта: Li_2O, NO, SiO_2, FeO_4. Оксид FeO_4 не существует, NO не подходит из логики задачи: он представляет собой газ, а не твёрдое вещество, которое может содержаться в граните. Оставшиеся варианты Li_2O и SiO_2 вполне логичны, но **A** не содержит металлов IA группы, то есть в его составе не может быть лития, а значит **A - SiO_2**.

Аналогичный способ вывода используем для других веществ. Так, для **B**: $\frac{16 \bullet n}{16 \bullet n + 2 \bullet Э} = 0,4703$

n	Mr(Э), г/моль
1	9,01 (-)

2	18,02 (-)
3	27,03 (**Al**)
4	36,04 (-)
5	45,05 (**Sc?**)
6	54,06 (-)
7	63,07 (-)
8	72,08 (-)

Получаем два варианта: Al_2O_3 и Sc_2O_5, из которых действительно существует только первый. Так, **B** – **Al_2O_3**.

Для **C**:

$$\frac{16 \bullet n}{16 \bullet n + 2 \bullet Э} = 0{,}2576$$

n	Mr(Э), г/моль
1	23,06 (**Na**)
2	46,12 (-)
3	69,18 (-)
4	84,24 (**Kr?**)
5	115,30 (**In?**)
6	138,36 (-)
7	161,42 (-)
8	184,48 (**W?**)

Приходим к четырём вариантам: Na_2O, KrO_2, In_2O_5 и WO_4, из которых логично нам подходит только **Na_2O** – **C.**

Для **D**:

$$\frac{16 \bullet n}{16 \bullet n + 2 \bullet Э} = 0{,}2870$$

n	Mr(Э), г/моль
1	19,87 (-)
2	39,75 (**Ca**)
3	59,62 (-)
4	79,50 (**Br?**)
5	99,37 (-)
6	119,25 (-)
7	139,12 (-)
8	159,00 (-)

BrO_2 представляет собой неустойчивый оксид, который в природе не образуется. Таким образом, вещество **D** – CaO.

Наконец, для **E**:

$$\frac{16 \bullet n}{16 \bullet n + 2 \bullet Э} = 0{,}2995$$

n	Mr(Э), г/моль
1	18,71 (**F?**)
2	37,42 (-)
3	56,13 (**Fe**)
4	74,84 (**As?**)
5	93,56 (-)
6	112,27 (-)
7	131,00 (**Xe?**)
8	149,69 (-)

Имеем варианты: F_2O, Fe_2O_3, AsO_2 и Xe_2O_7, из которых понятно, что

D – Fe_2O_3.

Таким образом,

A	**B**	**C**	**D**	**E**
SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	CaO	Fe_2O_3

3. Определим количество каждого вещества, исходя из их масс:

$n(SiO_2) = \frac{71{,}56}{60} = 1{,}1927$ моль;

$n(Al_2O_3) = \frac{14{,}12}{102} = 0{,}1384$ моль;

$n(Na_2O) = \frac{4{,}58}{102} = 0{,}0739$ моль;

$n(CaO) = \frac{2{,}16}{56} = 0{,}0386$ моль;

$n(Fe_2O_3) = \frac{7{,}58}{160} = 0{,}0474$ моль

Видим, что вещество с наименьшим значением молей в граните – CaO, поэтому выражая мольное соотношение оксидов его значение примем за единицу. Тогда, все остальные значения поделим на 0,0386 и получим:

$n(SiO_2) : n(Al_2O_3) : n(Na_2O) : n(CaO) : n(Fe_2O_3) = \frac{1,1927}{0,0386} : \frac{0,1384}{0,0386} : \frac{0,0739}{0,0386} : \frac{0,0386}{0,0386} : \frac{0,0474}{0,0386}$ = **30,90 : 3,59 : 1,91 : 1 : 1,23**.

4. Обозначим формулу алебастра как **$CaSO_4 \cdot nH_2O$**, где **n** – количество молекул воды в нём. По условию задачи в гипсе содержится в четыре раза больше молекул воды, чем в алебастре, тогда, его формулу гипса можно представить как **$CaSO_4 \cdot 4nH_2O$.** Также известно, что массовое содержание воды в гипсе в 3,37 раза больше, чем в алебастре, тогда можно составить уравнение:

$$3,37 = \frac{\left(\frac{72n}{72n+136}\right)}{\left(\frac{18n}{18n+136}\right)}$$, откуда **n = 0,50**.

Таким образом, ***алебастр*** – $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, ***гипс*** – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Система оценивания:

5. Объяснение, почему следует контролировать температуру *2,5 балла*	**2,5 балла**
Определение металла **X** *2,5 балла*	**2,5 балла**
Уравнение реакции образования окиси (засчитывается один вариант из приведенных двух) *1,5 балла*	**1,5 балла**
Формула ***цементита*** и ***аустенита*** по *2,5 балла*	**5 баллов**
6. Класс соединений – **оксиды** *1,5 балла*	**1,5 балла**
Формулы веществ **A-E** по *1 баллу*	**5 баллов**
7. Определение мольного соотношения веществ *4 балла*	**4 балла**
8. Формулы ***алебастра*** и ***гипса*** по *1,5 балла*	**3 балла**
ИТОГО:	**25 баллов**

Решение задачи 4 «Интересная химия металлов … группы».

1. Внимательно изучив текст задачи, можно понять, что речь идёт о металлах **первой** группы таблицы Менделеева. Это следует из того, что они представляют собой мягкие активные вещества, которые не следует хранить на открытом воздухе, так как они связывают кислород воздуха и пары воды из него, именно из-за этого эти металлы и хранят под слоем керосина. Можно было понять это из цвета пламени, который возникает при внесении солей металлов **X-Z** в горелку: карминово-красным пламенем обладают соли **лития**, жёлтым – **натрия**, а фиолетовым – соли **калия**. Наконец, можно было **внимательно** рассмотреть **схему** превращений и заметить, что она выполнена в очертаниях «**IA**», на что и был намек в первом пункте задачи.

Принимаются следующие ответы: «**первой группы**», «**I A группы**», «**химия щелочных металлов**».

2. Металлы мы установили в **п.1**: **X** – Li, **Y** – Na, **Z** – K. При сгорании на воздухе литий образует оксид Li_2O (**X_1**), который при растворении в воде образует щелочь LiOH (**X_2**). При взаимодействии углекислого газа с оксидом получается карбонат лития Li_2CO_3 (оксид лития – основный оксид, способный реагировать с кислотными) – вещество **X_3**. При взаимодействии с соляной кислотой, как и все карбонаты, Li_2CO_3 образует хлорид LiCl (**X_4**) и выделяет углекислый газ.

При сгорании натрия на воздухе образуется не оксид натрия Na_2O, а вещество несколько состава Na_2O_2 - пероксид натрия. Пероксид натрия при попадании в воду переходит в гидроксид NaOH (**Y_2**). При этом в реакции ещё и выделяется газ **U,** плотностью по воздуху 1,1034. Определим его молярную массу:

Mr(**U**) = 29 • 1,1034 = 31,9986 г/моль, что из логики задачи соответствует только кислороду. То есть, **U** – O_2.
Гидроксид поглощает углекислый газ с образованием карбоната Na_2CO_3 (**Y_3**). Карбонат натрия также образуется при реакции CO_2 с пероксидом Na_2O_2, другим продуктом этой же реакции является кислород. Пероксид натрия прозвали «**неорганическим хлорофиллом**» за такой интересный способ генерации кислорода из углекислого газа. При пропускании избытка раствора CO_2 в раствор Na_2CO_3 образуется кислая соль – $NaHCO_3$ (**Y_4**).

При сжигании калия образуется вещество **Z_1**, состоящее из атомов K и O состава **Z**O_2, то есть **Z_1** – KO_2 – надпероксид (или супероксид) калия. При попадании в воду он выделяет O_2 и образует щелочь KOH (**Z_2**). При реакции углекислого газа с KO_2 получается карбонат калия K_2CO_3 (**Z_3**).

Вещество $\mathbf{Z_4}$ образуется при взаимодействии газа **V** с KO_2. Определим **V**: его плотность в 1,5 раза больше, чем у кислорода O_2, а это значит, что и его молярная масса в 1,5 раза больше, чем у кислорода, то есть равна 32 • 1,5 = 48 г/моль. Известно, что **V –** простое, то есть состоит только из атомов кислорода, поэтому количество его атомов на молекулу газа равно $\frac{48}{16} = 3$, а формула – O_3. Таким образом, можно понять, что $\mathbf{Z_4}$ – KO_3 – озонид калия. При попадании озонида в воду он выделяет кислород и образует в растворе помимо KOH вещество **W**. Было указано, что $\mathbf{Y_1}$ (то есть Na_2O_2) можно считать производным этого вещества, а также то, что **W** имеет такой же качественный состав, что и вода, то есть состоит из атомов водорода и кислорода. Таким образом, приходим к выводу о том, что **W** – H_2O_2 – пероксид водорода.

<u>В итоге:</u>

X	$\mathbf{X_1}$	$\mathbf{X_2}$	$\mathbf{X_3}$	$\mathbf{X_4}$	**Y**	$\mathbf{Y_1}$	$\mathbf{Y_2}$	$\mathbf{Y_3}$	$\mathbf{Y_4}$
Li	Li_2O	LiOH	Li_2CO_3	LiCl	Na	Na_2O_2	NaOH	Na_2CO_3	$NaHCO_3$

Z	$\mathbf{Z_1}$	$\mathbf{Z_2}$	$\mathbf{Z_3}$	$\mathbf{Z_4}$	**V**	**U**	**W**
K	KO_2	KOH	K_2CO_3	KO_3	O_3	O_2	H_2O_2

При работе с щелочными металлами следует не допускать попадания на их поверхность влаги, так как они активно взаимодействуют с ней:

$2\mathbf{Me} + 2H_2O \rightarrow 2\mathbf{Me}OH + H_2$ (**Me** = Li, Na, K)

(при оценивании достаточно одного уравнения реакции с любым из щелочных металлов).

3. Уравнения ***реакций:***

(1) $4Li + O_2 \rightarrow 2Li_2O$;
(2) $Li_2O + H_2O \rightarrow 2LiOH$;
(3) $2LiOH + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3 + H_2O$;
(4) $Li_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2LiCl + CO_2 + H_2O$;
(5) $2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$;
(6) $2Na_2O_2 + 2H_2O \rightarrow 4NaOH + O_2$;
(7) $2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$;
(8) $2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$;
(9) $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3$;
(10) $K + O_2 \rightarrow KO_2$;
(11) $2KO_2 + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2O_2 + O_2$;
(12) $4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$;
(13) $KO_2 + O_3 \rightarrow KO_3 + O_2$;
(14) $4KO_3 + 2H_2O \rightarrow 4KOH + 5O_2$.

4. Гидрокарбонат натрия широко используется в кулинарии как пищевая сода или в качестве разрыхлителя в составе кислого и пресного теста. Помимо этого, $NaHCO_3$ может быть использован в медицине как антацидное средство. Также гидрокарбонат натрия применяется в смеси с карбонатом аммония в качестве сухого наполнителя в огнетушителях.

5. Окраска солей рубидия и цезия:

Цвет пламени при внесении в горелку Rb^+

Цвет пламени при внесении в горелку Cs^+

Принимаются следующие ответы:

«**красное**», «**красно-розовое**», «**розовое**», «**тёмно-красное**», «**тёмно-розовое**» для рубидия и «**синее**», «**тёмно-синее**», «**сине-фиолетовое**», «**фиолетово-синее**», «**тёмно-фиолетовое**» для цезия.

Система оценивания:

1. Ответ с любым разумным объяснением *1 балл*	**1 балл**
2. **<u>Формулы</u>** 18 веществ: **X**, **Y**, **Z**, **U**, **V**, **X_1-X_4**, **Y_2-Y_4**, **Z_2-Z_4**, и **W** по *0,5 балла*	**9 баллов**
Объяснение с уравнением реакции (достаточно одного уравнения с любым из металлов) *1 балл*	**1 балл**
3. Уравнения ***реакций 1, 5*** и ***10*** по *0,5 балла*. Уравнения остальных реакций по *1 баллу*. Если записана верная схема реакции, но неверно расставлены коэффициенты – *0,5 балла* за реакцию (кроме ***1, 5*** и ***10*** – если коэффициенты расставлены неверно в них, *0 баллов* за реакцию)	**12,5 баллов**
4. Любой 1 разумный пример применения *0,5 балла*	**0,5 балла**
5. Цвета пламени солей рубидия и цезия по *0,5 балла*	**1 балл**
ИТОГО:	**25 баллов**