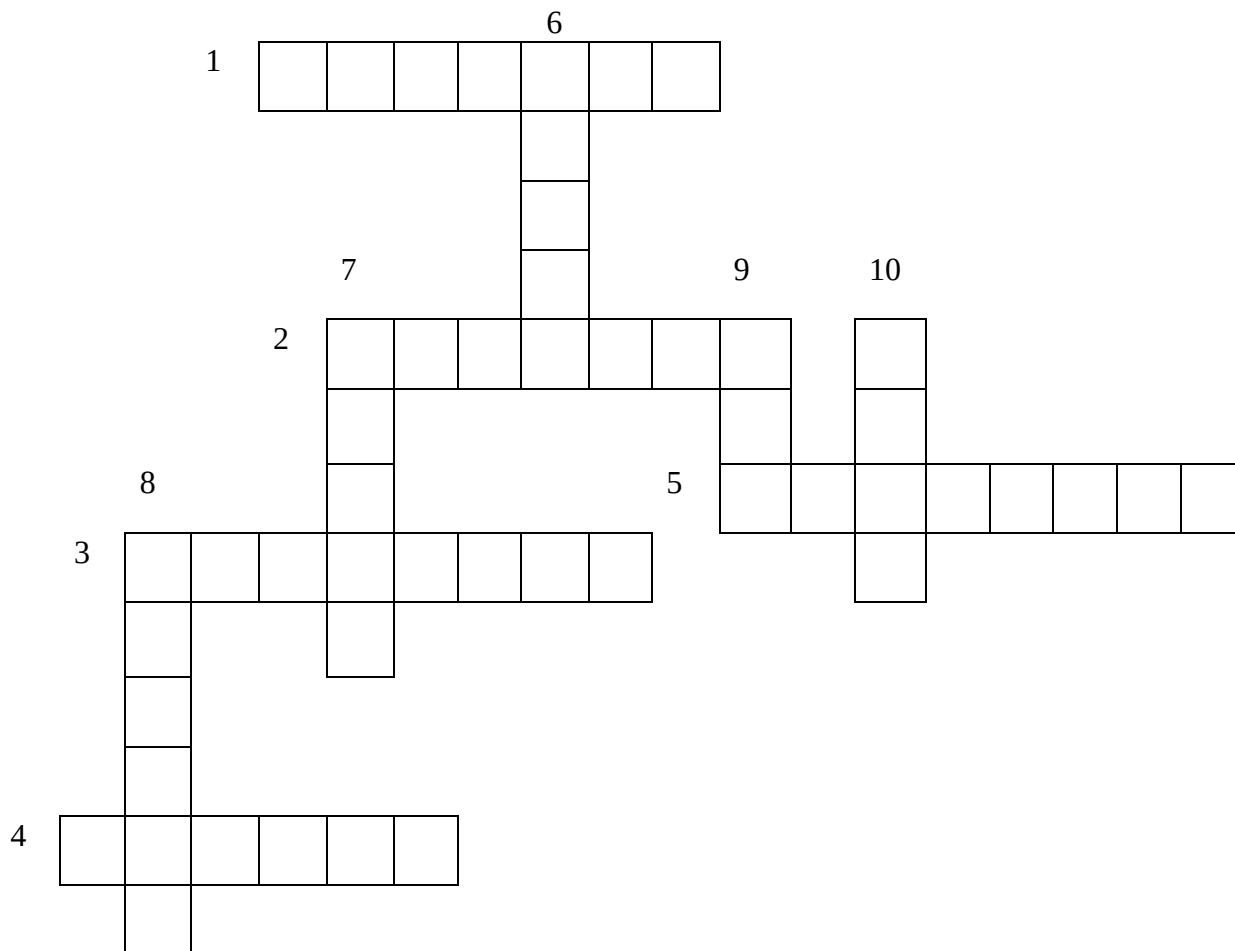


Задача 1. Химический кроссворд

В этой задаче вам необходимо расшифровать кроссворд.



1. Самый распространенный элемент во Вселенной.
2. Ионы этого металла окрашивают пламя спиртовки в кирпично-красный.
3. Сосуд цилиндрической формы, который используется для проведения реакций в малом объеме.
4. Металл, который чаще всего используется для изготовления ювелирных изделий.
5. Стабильный изотоп водорода с атомной массой, равной 2.
6. Ядовитый металл, который при комнатной температуре находится в жидком состоянии.
7. Стекланный сосуд с длинным горлышком, используемый для проведения химических реакций.
8. Элементарная частица, имеющая положительный заряд.
9. Этот элемент с древнегреческого переводится как "фиалкоподобный" из-за цвета его паров.
10. Этот выпускник МФТИ получил Нобелевскую премию в 2010 году за получение графена.

Задача 2. Зубной порошок



Зубные порошки относятся к древнейшим средствам личной гигиены полости рта. В древнеегипетском папирусе Эберса упоминается рецепт, применявшийся ещё с 3500 г. до н.э.: для очистки зубов от остатков пищи и налёта использовали пепел внутренностей быка, мирру, растертую яичную скорлупу и пемзу. Гиппократ рекомендовал приготавливать зубной порошок путем смешивания золы после

сжигания одного зайца и трех мышей, древние римляне пользовались толчеными панцирями крабов и раковинами устриц. В России при Петре I действовал особый указ, обязывающий бояр чистить зубы мелом.

Зубной порошок по-прежнему применяется, стоматологи рекомендуют использовать его не чаще, чем 2–3 раз в неделю. Интересно, что за прошедшие века ключевой компонент зубного порошка практически не изменился – его основой обычно является белое мелкодисперсное вещество А. В более дорогие продукты дополнительно добавляют эфирные масла, синтетические ароматизаторы и подсластители, активированный уголь, поверхностно-активные вещества и другие компоненты.

Юный химик решил проанализировать образец зубного порошка. Ему удалось выяснить, что он практически не растворяется в воде, но растворяется в уксусе с бурным выделением пузырьков бесцветного газа, не имеющего запаха.

1. Определите химическую формулу вещества А, если известно, что содержание металла в нём составляет 40,00 %.

Укажите формулу вещества в ответе.

2. Какой процент чистого вещества А содержится в зубном порошке, если для полного растворения 5,00 г порошка требуется 64 мл раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) с массовой долей 9 %? Для расчётов примите плотность раствора уксусной кислоты равной 1,01 г/мл и что порошок состоит только из вещества А и нерастворимых в уксусной кислоте примесей.

В ответе укажите число в процентах с точностью до сотых.

3. Определите массовую долю растворённого вещества после реакции, проведённой в пункте 2.

В ответ укажите число в процентах с точностью до сотых.

4. В состав некоторых марок зубных порошков в качестве добавки к веществу А включают карбонат магния. С какой максимальной массой зубного порошка, содержащей А ($\omega = 95,00\%$) и карбонат магния ($\omega = 5,00\%$) может вступить во взаимодействие такой же объём такого же раствора уксусной кислоты, как из пункта 2?

В ответ укажите число в г, с точностью до сотых.

Задача 3. Об одном «красочном» элементе



Элемент **X** известен яркой и разнообразной окраской своих соединений. Одно из самых широкодоступных — соль **A** ($\omega(\text{X}) = 35,4 \%$) оранжевого цвета, оранжевый водный раствор которой при добавлении щёлочи становится жёлтым (*реакция 1*) за счёт образования **B**.

A — достаточно сильный окислитель, особенно в кислой среде, поэтому в лаборатории часто используют **A** в смеси с концентрированной серной кислотой («**X**-овая смесь») для очень тщательного мытья посуды от органических загрязнений, что может быть особенно важно для синтезов наночастиц, крайне чувствительных к малейшим загрязнениям. Взаимодействие **A** с концентрированной серной кислотой можно описать *реакцией 2*, приводящей к образованию оксида **C** ($\omega(\text{X}) = 52,0 \%$) тёмно-красного цвета, однако из растворов с меньшей концентрацией серной кислоты можно получить и другие соединения, например **D** ($\omega(\text{X}) = 39,6 \%$; $\omega(\text{O}) = 40,6 \%$) и **E**, в котором массовые доли кислорода и **X** практически совпадают.

Окислительные свойства **A** можно продемонстрировать на примере нескольких реакций:

- взаимодействие с калиевой солью **F** ($\omega(\text{K}) = 23,6 \%$) в присутствии серной кислоты приводит сначала к образованию тёмно-коричневого раствора, из которого при добавлении избытка **A** выпадают фиолетовые кристаллы простого вещества **G** (*реакция 3*);
- взаимодействие с щавелевой кислотой $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ в присутствии серной кислоты при нагревании приводит к выделению газа **H**, плотность которого по воздуху составляет 1,52 (*реакция 4*);
- взаимодействие с аммонийной солью **I** ($\omega(\text{N}) = 41,2 \%$) в нейтральной среде приводит к выпадению двух осадков — бледно-зелёного **J** и бледно-жёлтого **K** (*реакция 5*), а в присутствии гидроксида калия — только осадка **K** (*реакция 6*, при этом также образуется зелёный раствор соединения **L**);
- при нагревании твёрдого **A** он разлагается с образованием **B**, оксида **M** ($\omega(\text{X}) = 68,4 \%$) и выделением кислорода (*реакция 7*).

1. Определите вещества **A** – **M**.

В ответ запишите только их формулы.

2. Запишите суммы минимальных целочисленных коэффициентов в уравненных реакциях 3, 4, 7 (считайте, что все образующиеся соли — средние).

3. Близкий аналог соединения **A** часто используют для проведения красивого демонстрационного опыта «вулканчик». *Запишите в ответ молярную массу самого лёгкого из газов, образующихся в данной реакции, выраженную в г/моль и округлённую до целых.*

Задача 4. Отцы-основатели

В 2021 году перед новым корпусом МФТИ установили памятник отцам основателям Физтеха, нобелевским лауреатам — Льву Дмитриевичу Ландау, Петру Леонидовичу Капице и Николаю Николаевичу Семёнову. Первокурсник Миша заинтересовался сплавом, из которого изготовлены скульптуры. Он изучил информацию о сплаве, химии элементов в его составе — и, разработав план, отправился в лабораторию для экспериментальной проверки. Миша смог достать образец соответствующего памятнику коричневого-оранжевого сплава четырех металлов (памятник не пострадал!) и взвесил — его масса составила 2,28 г.

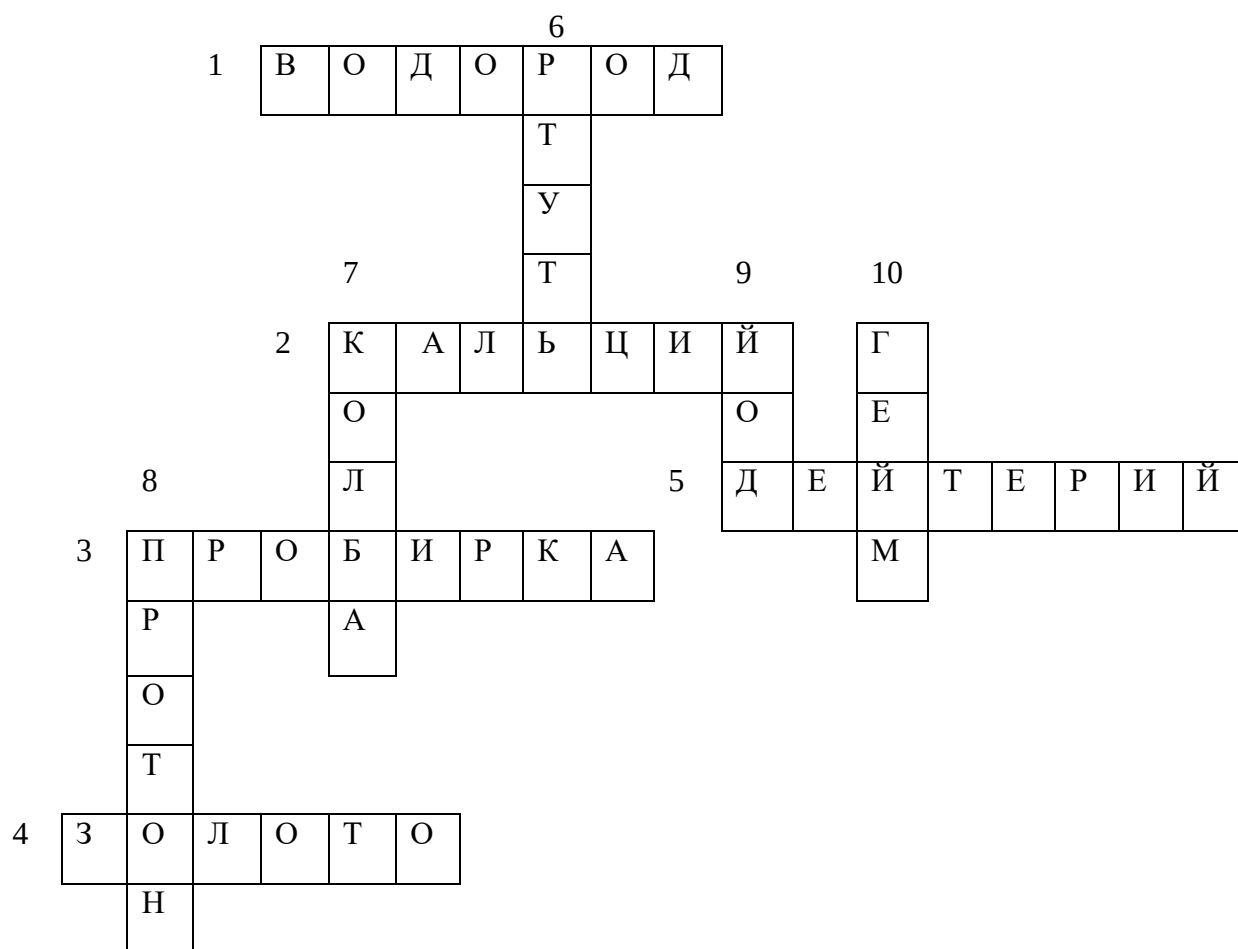
Опыт 1. Юный физтех поместил образец в пробирку с холодной концентрированной серной кислотой — реакция протекала медленно, но вскоре, как он и ожидал, раствор приобрел голубую окраску. Выдержав раствор до прекращения выделения газа, Миша отфильтровал нерастворившийся осадок и упарил фильтрат — в результате со стенок выпаривательной чашки ему удалось соскрести 3,64 г белого порошка. Оставив его на несколько часов, Миша с удовлетворением отметил, что вещество приобрело синий цвет, а его масса составила 5,70 г.

Опыт 2. К нерастворившемуся остатку юный химик прилил раствор концентрированного едкого натра — началось интенсивное выделение легкого газа без цвета и запаха, а пробирка нагрелась. Всего Миша смог собрать в перевернутый цилиндр 740 мл (н.у.) газа. Далее, отфильтровав осадок, он стал прикапывать к фильтрату раствор соляной кислоты — сначала ничего не происходило, потом наблюдалось образование белого студенисто-гелеобразного осадка, который в избытке кислоты растворился. Миша знал, что в щелочи должны были раствориться 2 металла сплава — они обладают диагональным сходством свойств, поэтому различить их непросто. Миша с нетерпением ждал начала курса аналитической химии, где расскажут о качественных реакциях на ионы этих металлов.

Опыт 3. Качественную реакцию на ионы оставшегося металла юный химик помнил из школьного курса. Он поместил остаток массой 0,36 г. в раствор соляной кислоты и нагрел стакан на электроплитке до полного растворения осадок. Миша добавил к пробе раствор красной кровяной соли и обрадовался, увидев изменение окраски с желтоватой на тёмно-синюю. Определите массовые доли металлов, содержащихся в сплаве, округлите до целых. Учтите, что все реакции прошли полностью.

Определите массовые доли металлов, содержащихся в сплаве, *округлите до целых*. Учтите, что все реакции прошли полностью.

Задача 1. Химический кроссворд



Система оценивания:

1. . Ответы по 1 баллу

10 баллов

ИТОГО 10 баллов

Задача 2. Зубной порошок

1. Уксус содержит уксусную кислоту, это кислота средней силы. Выделение газа в процессе растворения означает, что уксусная кислота замещает слабую кислоту из ее соли, значит, возможные газы: CO_2 , SO_2 , H_2S . С учетом отсутствия запаха подходит только CO_2 . Следовательно, А — карбонат металла.

Рассчитаем его формулу. Представим А формулой $\text{Me}_2(\text{CO}_3)_n$, где М — металл, а n - его валентность. Тогда получаем уравнение:

$$\omega(\text{Me}) = \frac{(\text{M}(\text{Me}) \cdot 2)}{\text{M}(\text{Me}) \cdot 2 + n(12 + 16 \cdot 3)}$$

Примем $\text{M}(\text{Me}) = x$ г/моль:

$$0,4 = \frac{2x}{2x + n(12 + 16 \cdot 3)}$$

Варьируя n:

$$n = 1 \Rightarrow 0,4 = \frac{2x}{2x + 1 \cdot (12 + 16 \cdot 3)} = \frac{2x}{2x + 60} \Rightarrow$$

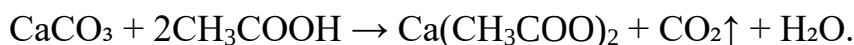
$x = 20$ г/моль — не подходит.

$$n = 2 \Rightarrow 0,4 = \frac{2x}{2x + 2 \cdot (12 + 16 \cdot 3)} = \frac{2x}{2x + 120} = \frac{x}{x + 60} \Rightarrow$$

$x = 40$ г/моль — Ca

Итак, А = CaCO_3 .

2. Уравнение реакции растворения:



На 1 моль CaCO_3 требуется 2 моль уксусной кислоты:

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{2}$$

Масса раствора уксусной кислоты:

$$m(\text{р-ра}) = \rho \times V = 1,01 \text{ г/мл} \times 64 \text{ мл} = 64,64 \text{ г}.$$

Масса чистой уксусной кислоты:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{р-ра}) \times \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 64,64 \times \frac{9}{100} = 5,8176 \text{ г}.$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 12 + 3 \times 1 + 12 + 16 + 16 = 60 \text{ г/моль}.$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{5,8176}{60} \approx 0,09696 \text{ моль}.$$

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{2} = \frac{0,09696}{2} \approx 0,04848 \text{ моль}.$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 3 \times 16 = 100 \text{ г/моль}.$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \times M(\text{CaCO}_3) = 0,04848 \times 100 \approx 4,848 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{чистого вещества}) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{порошка})} \times 100 \% = \left(\frac{4,848}{5}\right) \times 100 \approx 96,96 \%.$$

3. По уравнению реакции $n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = n(\text{CO}_2) = 0,04848$ моль.

Тогда, массовая доля растворённого вещества ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$):

$$\omega(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = \frac{158 \times 0,04848}{1,01 \times 64 + 5,00 - 0,04848 \times 44} \approx 11,35 \%.$$

4. Карбонат магния растворяется в уксусной кислоте аналогично карбонату кальция:



Всего в реакцию вступит 0.09696 моль уксусной кислоты, а это значит, что суммарное число моль карбонатов 0.04848. Пусть максимальная масса равна m . Тогда масса карбоната кальция в смеси будет равна $0.95m$, а карбоната магния – $0.05m$. Тогда, получим уравнение:

$$\left(\frac{0.95m}{40 + 12 + 48}\right) + \left(\frac{0.05m}{24 + 12 + 48}\right) = 0,04848,$$

откуда $m \approx 4,80$ г.

Система оценивания:

1. За верный расчёт	2 балла
2. За верный расчёт	2 балла
3. За верный расчёт	3 балла
4. За верный расчёт	3 балла

ИТОГО 10 баллов

Задача 3. Об одном «красочном» элементе

1. Под данный в условии задачи набор цветов соединений подходит явно не один элемент, но отдельные цветовые переходы (оранжевый в жёлтый при добавлении щёлочи, выпадение красного оксида в сильноокислой среде) являются достаточно характерными для Cr. Однако, определить элемент довольно легко можно и без этого, воспользовавшись двумя массовыми долями для оксидов: так, в оксиде **С** массовая доля **Х** равна 52,0 %, откуда для брутто-формулы X_2O_n получаем уравнение:

$$\frac{2 \cdot M(X)}{2 \cdot M(X) + 16 \cdot n} = 0,52.$$

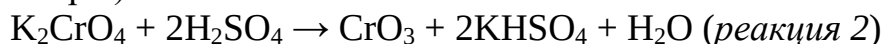
Перебирая n , получим следующие возможные значения для $M(X)$:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$M(X)$	8,7	17,3	26,0	34,6	43,4	52,0	60,7	69,4
X	—	—	—	—	—	Cr	—	Ga (не подх. С.О.)

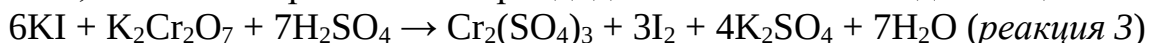
Единственным подходящим вариантом является Cr при $n = 6$, что соответствует оксиду CrO_3 и окраскам описанных соединений Cr(VI). Дополнительно убедиться в этом можно по массовой доле **X** в оксиде **М**, образующемся при разложении **А**, которая соответствует Cr_2O_3 . Таким образом, **А** – $K_2Cr_2O_7$ (что можно проверить по массовой доле **X** в нём), **В** – K_2CrO_4 , образующийся при подщелачивании раствора дихромата:



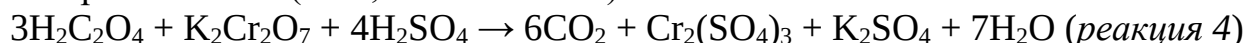
При подкислении раствора, содержащего хромат-ионы, происходит их протонирование с образованием гидрохромат-ионов и последующая конденсация до дихромат-ионов $Cr_2O_7^{2-}$, затем – трихромат-ионов (**Д** – $K_2Cr_3O_{10}$) и тетрахромат-ионов (**Е** – $K_2Cr_4O_{13}$), а в концентрированной серной кислоте – триоксида хрома **С** (второй продукт – гидросульфат калия из-за сильноокислого pH):



Фиолетовое простое вещество **Г** – йод, что подтверждается массовой доле калия в **Е**, соответствующей KI. Коричневая окраска раствора, образующегося вначале, связана с образованием триодид-ионов I_3^- из I^- и выделяющегося I_2 .

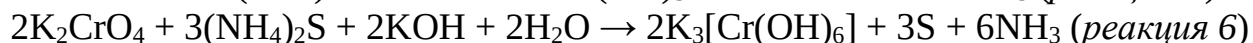


Щавелевая кислота, формально содержащая углерод в степени окисления +3, может быть окислена только до углекислого газа **Н**, что подтверждается его молярной массой ($29 \cdot 1,52 = 44$ г/моль).

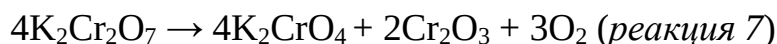


При протекании ОВР в нейтральной среде одним из осадков должен являться бледно-зелёный $Cr(OH)_3$ (**Ж**), а второй, бледно-жёлтый, по всей видимости является продуктом окисления аниона аммонийной соли. Из массовой доли

азота в ней можно получить, что **I** – $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, тогда **K** – S. При взаимодействии этих солей в щелочной среде хром остаётся в растворе в виде гидроксидного комплекса **L** ($\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$, или в более щелочных pH – $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$)



В последней реакции нам уже известны все продукты, остаётся её записать и уравнивать:



A – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, **B** – K_2CrO_4 , **C** – CrO_3 , **D** – $\text{K}_2\text{Cr}_3\text{O}_{10}$, **E** – $\text{K}_2\text{Cr}_4\text{O}_{13}$, **F** – KI, **G** – I_2 , **H** – CO_2 , **I** – $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, **J** – $\text{Cr}(\text{OH})_3$, **K** – S (вариант – S_8), **L** – $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$ (вариант – $\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$), **M** – Cr_2O_3

2. Реакция 3 – 29

реакция 4 – 23

реакция 7 – 13

3. Демонстрационный опыт «вулканчик» основан на термическом разложении дихромата аммония, протекающем как внутримолекулярная ОВР с выделением молекулярного азота и воды ($M_r = 18$):



Стоит отметить, что этот опыт запрещён для демонстрации в большинстве стран из-за высокой токсичности и канцерогенности соединений $\text{Cr}(\text{VI})$, в частности, пыли дихромата аммония, неизбежно образующейся при горении «вулкана».

Система оценивания:

1. За каждое вещество 1 балл	13 баллов
2. За каждую верную сумму 1 балл	3 балла
3. За верное значение	4 балла

ИТОГО 20 баллов

Задача 4. Отцы-основатели

Очевидно, что первый металл — медь. Об этом свидетельствует характерный цвет сплава, окраска пентагидрата и применение в качестве проводника.

3 опыт — качественная реакция на наличие ионов Fe^{2+} в растворе.

Подсказка лаборанта намекает нам, что в растворе либо Al и Be, либо Li и Mg. Второй вариант не подходит, тк бурной реакции с щелочью не наблюдалось бы.

Следовательно, загаданные элементы Cu, Fe, Al, Be.

Расчет массовой доли:

Cu: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 5,70\text{г} \Rightarrow$

$m(\text{Cu}) = \omega(\text{Cu в CuSO}_4) \cdot m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,256 \cdot 5,70 = 1,4592\text{ г.}$

$\omega(\text{Cu в сплаве}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{сплав})} = 64\%$

Fe: Железо пассивируется в холодной концентрированной серной кислоте и не реагирует с разбавленным раствором щелочи, следовательно, масса осадка из опыта 3 - это и есть масса железа.

$\omega(\text{Fe}) = 16\%$

Al и Be:

$2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2$

$\text{Be} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + \text{H}_2$

$m(\text{Al} + \text{Be}) = 2,28 - 1,46 - 0,36 = 0,46\text{ г}$

$n(\text{H}_2) = \frac{0,74}{22,4} = 0,033\text{ моль}$

Пусть $x = n(\text{Al})$, $y = n(\text{Be})$

Тогда $27x + 9y = 0,46$

$1,5x + y = 0,033$

$x = 0,0121$, $y = 0,0149$

Отсюда $m(\text{Al}) = 0,0121 \cdot 27 = 0,3267\text{ г}$, $m(\text{Be}) = 0,1341\text{ г}$, массовые доли равны соответственно 14 % и 6 %.

Система оценивания:

Каждое значение массовой доли по 2,5 балла

10 баллов

ИТОГО

10 баллов