

# Олимпиада по химии “Путь к Олимпу – 2022”

Казань, 13 января 2022 г.

Авторы заданий А.А. Шулятьев, М.Д. Мокрушин, И.А. Седов

9 класс

## Задача №1

В химической лаборатории был приготовлен раствор ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$  в воде. В этом растворе атомов водорода в 1,5 раза больше, чем атомов кислорода. Плотность раствора в 1,24 раза выше плотности воды.

1. Рассчитайте массовую долю ортофосфорной кислоты в полученном растворе.
2. Рассчитайте массу кислоты, которую необходимо растворить в 150 мл воды для получения такого раствора.
3. Рассчитайте концентрацию кислоты в молях на литр в полученном растворе и ее мольную долю.
4. Если массовую долю кислоты увеличить на 10%, то каким станет отношение количеств атомов водорода и кислорода в полученном растворе?

## Задача №2

Кристаллогидраты – кристаллические вещества, содержащие молекулы воды в своем составе. Кристаллогидраты сульфатов двухвалентных металлов исторически принято называть купоросами. При растворении железного купороса в воде получили раствор, содержащий 24,2% сульфата железа по массе.

1. Какова формула железного купороса, если при нагревании он может потерять до 37% своей массы, отщепляя воду?
2. Определите отношение масс воды и купороса, необходимое, чтобы получить упомянутый в условии раствор.

Английская соль или горькая соль также является кристаллогидратом сульфата двухвалентного металла, массовая доля металла в котором составляет 9,86%, а водорода – 5,73%.

3. Определите неизвестный металл и запишите формулу английской соли.
4. Рассчитайте энтальпию образования (в кДж/моль) английской соли из безводной соли и воды, если ее стандартная энтальпия растворения в воде равна +16,11 кДж/моль, а стандартная энтальпия растворения безводной соли равна –84,94 кДж/моль.

## Задача №3

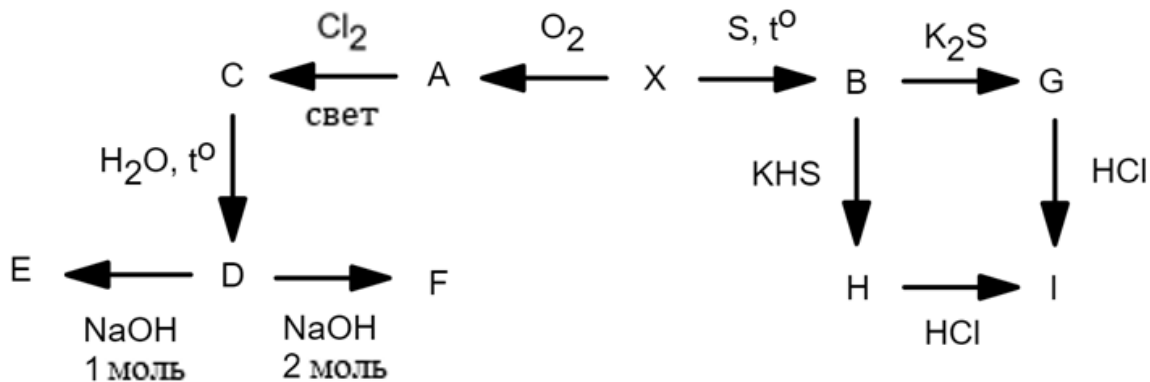
В школьном курсе химии элемент **X** чаще всего упоминается в разделе “органическая химия”. Однако неорганические соединения **X** тоже представляют интерес и находят широкое применение, например, в средствах пожаротушения, моющих средствах, в пищевой промышленности, в качестве поглотителей газов, реагентов для производства стекла.

Элемент **X** образует с другими элементами бинарные соединения, молекулы которых имеют линейное строение. Свойства этих соединений приведены в таблице.

Бинарное соединение	Температура кипения, °С	Плотность, г/л
<b>A</b>	–191,5	1,25 (газ при н.у.)
<b>B</b>	46	1260 (ж.)
<b>D</b>	–78,5 (сублимация)	925 (тв.)

Массовые доли элемента **X** в соединениях **A** и **B** равны 42,86% и 15,79% соответственно.

Ниже приведена схема превращений соединений элемента **X**. Вещество **H** состоит из четырех элементов. Вещество **I** представляет собой масло красного цвета, содержащее 10,90% **X** по массе и легко разлагающееся при небольшом нагревании.



1. Назовите элемент **X**, запишите формулы его соединений **A-I** и уравнения всех превращений.
2. Рассчитайте плотность газовой смеси (н.у.), полученной при сжигании в 29,12 л (н.у.) кислорода 2,28 г вещества **B**.
3. Во сколько раз понизится давление в замкнутом сосуде при постоянной температуре после завершения реакции **A** с хлором, если хлора по массе было взято в два раза меньше, чем **A**?

#### Задача №4

Для определения состава смеси трех твердых простых веществ **A**, **B** и **C** общей массой 7 г были проведены следующие опыты:

##### *Опыт 1*

Твердую смесь полностью растворили в избытке раствора едкого кали, при этом выделился газ с плотностью 0,0893 г/л при н.у. (реакции 1-3). Добавление избытка раствора серной кислоты привело к выделению аморфного осадка, содержащего элемент **A** (реакции 4-6). Осадок отфильтровали, прокалили и получили 1,00 г остатка (реакция 7).

##### *Опыт 2*

Фильтрат после опыта 1 обработали водным раствором аммиака и наблюдали выделение белого аморфного осадка, который при добавлении избытка осадителя уменьшался в объеме (реакции 8 и 9). Не растворившуюся часть осадка отфильтровали и добавили к нему по каплям разбавленную серную кислоту до растворения (реакция 10). При электролизе полученного раствора выделялись только водород и кислород (реакция 11).

##### *Опыт 3*

Фильтрат после опыта 2 нейтрализовали серной кислотой (реакция 12). После продолжительного электролиза полученного раствора на инертном катоде выделилось вещество **C** (реакция 13). При помещении в раствор сульфата железа (II) оно способно вытеснить 4,60 г металлического железа (реакция 14).

1. Определите вещества **A**, **B** и **C**.
2. Напишите уравнения реакций 1–14, описанных в условии задачи.
3. Рассчитайте массовые доли простых веществ **A**, **B** и **C** в исходной смеси.
4. Рассчитайте общий объем газа (в литрах), выделившегося в реакциях 1–3 при н.у.

#### Задача №5

Смесь озона и неизвестного газа пропустили через подкисленный раствор иодида калия. Раствор окрасился в коричневый цвет, а плотность газовой смеси уменьшилась на 9% без изменения мольного соотношения компонентов. Полученную смесь пропустили через раствор едкого кали, после чего плотность газа уменьшилась еще на 22%.

1. Определите качественный и количественный (в мольных долях) состав исходной смеси. Как он изменяется после пропускания через каждый из растворов?
2. Запишите уравнения всех реакций, описанных в условии задачи.
3. Смесь озона с некоторым другим газом имеет плотность на 27% меньше, чем рассмотренная нами, при той же самой мольной доле озона. Какой газ может в нее входить?

## 10 класс

### Задача №1

В неорганической химии, в отличие от органической, редко встречаются соединения, содержащие цепочки из атомов одного элемента. Однако такие все же известны для многих элементов.

При взаимодействии воды с избытком фтора образуется кислота **A** и газообразный фторид кислорода  $\text{OF}_2$ .

1. Напишите реакцию взаимодействия фтора с водой.
2. Полученный фторид кислорода при пропускании через горячую воду образует кислоту **A** и еще один продукт **B**. Запишите уравнение реакции.

Если через смесь газообразных фтора и кислорода пропускать электрические разряды, то можно получить не только  $\text{OF}_2$ , но и другие соединения с таким же качественным составом.

3. Определите состав соединения **C**, если при взаимодействии 1 моля этого соединения с водой выделяется в 1,5 раза больше **B**, чем при взаимодействии 1 моля  $\text{OF}_2$ .
4. Запишите структурную формулу **C**.

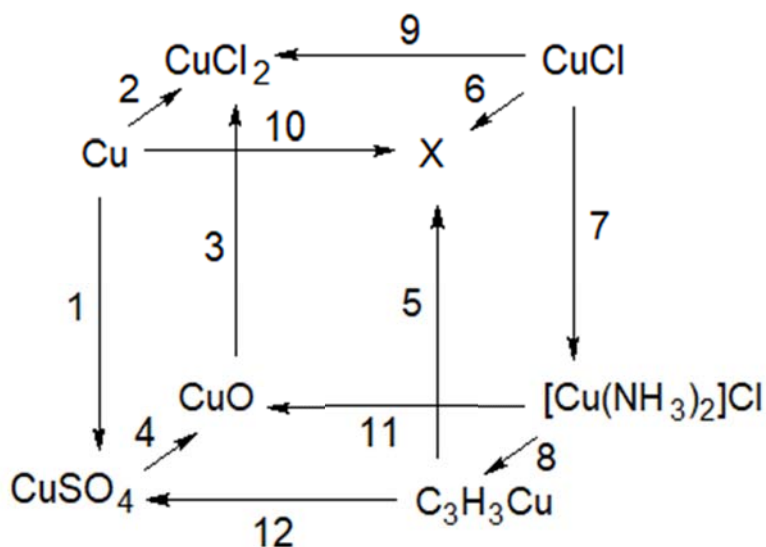
Простое вещество **X** при взаимодействии с натрием образует соль, называемую “**оксид натрия**”. Взаимодействие **оксида натрия** с избытком **X** приводит к образованию другой соли **Y**, масса которой в 3,46 раз больше, чем **оксида натрия**.

5. Определите вещества **X** и **Y**, запишите структурную формулу **Y**. Запишите уравнения реакций.
6. Изобразите структурные формулы еще двух соединений того же качественного состава, что и **Y**.
7. Что образуется при взаимодействии **Y** с соляной кислотой? Напишите уравнение реакции.

### Задача №2

Медь – один из первых известных человечеству металлов. Сплавы на основе меди до сих пор широко используются в промышленности, в частности, в электронике.

В следующей цепочке превращений цифрами 1–12 зашифрованы реакции, протекающие под действием различных соединений и/или внешних условий. Вещество **X** – еще одно соединение меди, разлагающееся при нагревании с выделением газа бурого цвета.



1. Напишите уравнения реакций 1-12.
2. При добавлении к раствору, получившемуся по реакции 1, раствора чайной соды можно получить соединения **Y**<sub>1</sub> и **Y**<sub>2</sub> с массовыми долями меди 57,48% и 55,31% соответственно. Назовите их тривиальные названия и напишите реакции их образования.
3. При нагревании **Y**<sub>1</sub> было получено одно из веществ, указанных на схеме, при этом потеря массы твердой фазы составила 28%. Напишите уравнение реакции разложения **Y**<sub>1</sub>.

### Задача №3

Для определения состава смеси трех твердых простых веществ **A**, **B** и **C** общей массой 7 г были проведены следующие опыты:

### Опыт 1

Твердую смесь полностью растворили в избытке раствора едкого кали, при этом выделился газ с плотностью 0,0893 г/л при н.у. (реакции 1-3). Добавление избытка раствора серной кислоты привело к выделению аморфного осадка, содержащего элемент А (реакции 4-6). Осадок отфильтровали, прокалили и получили 1,00 г остатка (реакция 7).

### Опыт 2

Фильтрат после опыта 1 обработали водным раствором аммиака и наблюдали выделение белого аморфного осадка, который при добавлении избытка осадителя уменьшался в объеме (реакции 8 и 9). Не растворившуюся часть осадка отфильтровали и добавили к нему по каплям разбавленную серную кислоту до растворения (реакция 10). При электролизе полученного раствора выделялись только водород и кислород (реакция 11).

### Опыт 3

Фильтрат после опыта 2 нейтрализовали серной кислотой (реакция 12). После продолжительного электролиза полученного раствора на инертном катоде выделилось вещество С (реакция 13). При помещении в раствор сульфата железа (II) оно способно вытеснить 4,60 г металлического железа (реакция 14).

5. Определите вещества А, В и С.
6. Напишите уравнения реакций 1–14, описанных в условии задачи.
7. Рассчитайте массовые доли простых веществ А, В и С в исходной смеси.
8. Рассчитайте общий объем газа (в литрах), выделившегося в реакциях 1–3 при н.у.

### Задача №4

В неорганической химии чаще всего используют брутто-формулы веществ, которые не отражают строение молекул. Однако объяснение многих свойств невозможно без структурных формул.

1. Изобразите структурную формулу серной кислоты и продуктов ее диссоциации в водном растворе. Какую пространственную фигуру образуют атомы кислорода?
2. Изобразите структурные формулы кислот  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$  и  $\text{H}_3\text{PO}_2$ . Какова основность этих кислот, если атом фосфора в них пятивалентен?

Среди неорганических веществ встречаются и изомеры, имеющие один и тот же качественный и количественный состав, но обладающие различным строением.

3. Изобразите структурные формулы изомеров с брутто-формулой  $\text{S}_2\text{F}_2$ . Известно, что валентность серы может быть равна двум, четырем или шести.

При взаимодействии некоторой соли натрия с  $\text{SOCl}_2$  образуется оксид серы А. На его сжигание было затрачено 28 л (н.у.) кислорода, при этом было получено 29,9 л (н.у.) другого оксида серы В.

4. Установите состав обоих оксидов и изобразите их структурные формулы. Являются ли они изомерами?
5. Запишите уравнение получения оксида А.

### Задача №5

Закон Гесса, гласящий, что тепловой эффект химической реакции зависит только от природы исходных веществ и продуктов реакции и не зависит от пути её протекания. позволяет комбинировать уравнения реакций путем простого сложения, вычитания и умножения на число, чтобы рассчитать изменение энтальпии в интересующем нас процессе. При этом изменение энтальпии в сумме (разности) двух реакций равно сумме (разности) изменения энтальпий в отдельных реакциях.

Соединения бора могут подвергаться следующим превращениям:

Номер реакции	Уравнение реакции	Изменение энтальпии, кДж/моль
1	$\text{B}_2\text{H}_6(\text{газ}) + 6\text{Cl}_2(\text{газ}) \rightarrow 2\text{BCl}_3(\text{газ}) + 6\text{HCl}(\text{газ})$	-1326
2	$\text{BCl}_3(\text{газ}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3(\text{тв}) + 3\text{HCl}(\text{газ})$	?
3	$\text{B}_2\text{H}_6(\text{газ}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow 2\text{H}_3\text{BO}_3(\text{тв}) + 6\text{H}_2(\text{газ})$	-493,4
4	$1/2\text{H}_2(\text{газ}) + 1/2\text{Cl}_2(\text{газ}) \rightarrow \text{HCl}(\text{газ})$	-92,3

1. Рассчитайте изменение энтальпии в реакции 2.
2. Рассчитайте тепловой эффект сгорания 1 г водорода в хлоре (в кДж).
3. Какие из приведенных реакций являются реакциями гидролиза?

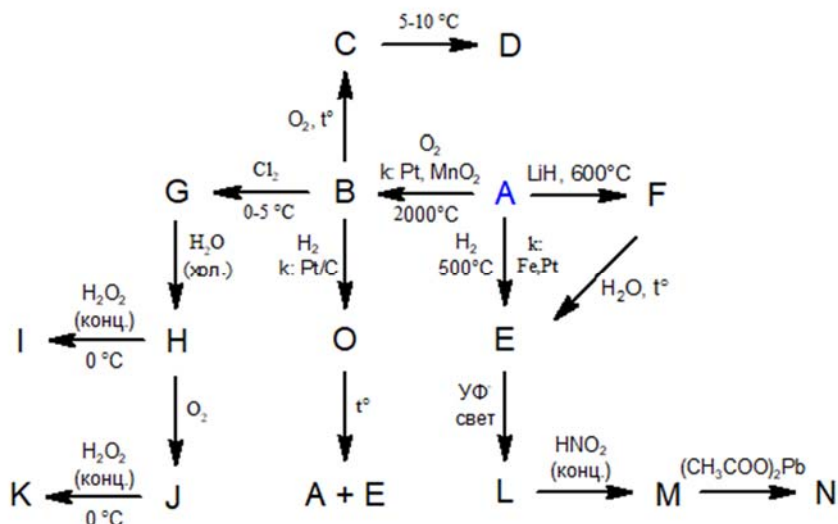
# 11 класс

## Задача №1

В соединениях  $X_2Y_2Z_2$ ,  $XYZ_2$  и  $X_4Y_2Z_4$  массовая доля элемента  $Z$  равна 51,61%, 68,09% и 66,67% соответственно.

1. Определите элементы  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Некоторые соединения элемента  $Y$  зашифрованы в следующей цепочке превращений:



Известно, что соединение  $H$  имеет формулу  $XYZ_2$ .

2. Расшифруйте формулы веществ  $A-O$  и напишите уравнения всех реакций. Учтите, что:

все вещества содержат в своем составе элемент  $Y$ ;

соединения  $F$ ,  $L$ ,  $M$  и  $N$  являются бинарными;

$I$  и  $J$  – изомеры;

соединение  $O$  проявляет и кислотные, и основные свойства.

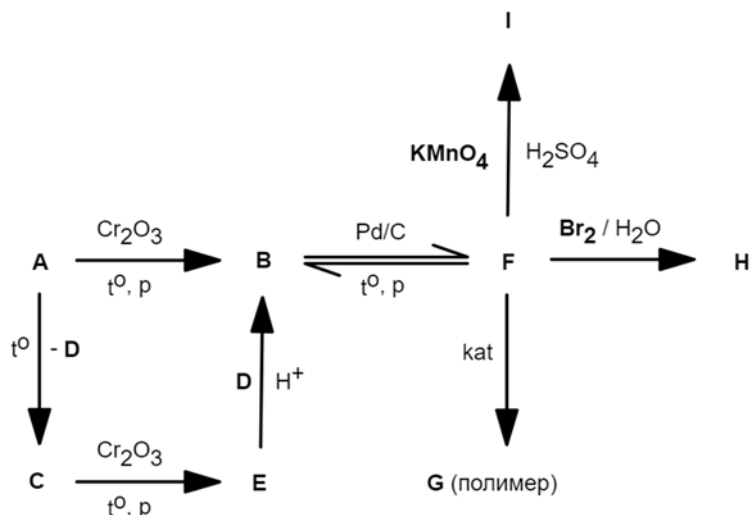
3. Изобразите структурные формулы соединений  $I$ ,  $M$  и  $O$ .

4. В смеси каких кислот присутствует некоторое количество соединения  $G$ ? Запишите уравнение реакции его образования.

5. Где применялось вещество  $N$ ?

## Задача №2

Алканы под действием катализаторов при высоких температурах и давлениях способны подвергаться так называемому риформингу, превращаясь в ароматические углеводороды. Перед вами – схема превращений алкана  $A$ . Известно, что вещество  $F$  в промышленности широко используется для производства полимеров. Процесс превращения  $B$  в  $F$  протекает на катализаторе с выделением водорода. Реакция  $F$  с бромной водой приводит к органическому продукту  $H$  массой в 2,5 раза больше, чем  $F$ .



1. Расшифруйте структурные формулы всех веществ ( $A-I$ ).

2. Как называются процессы превращения а) **A** в **C**, б) **B** в **F**, в) **F** в **B**, г) **E** в **B** (именная реакция).

### Задача №3

В лаборатории нашли банку с жидкостью, на которой было написано только “кислота 100%”. Для ее анализа воспользовались титриметрическим методом. На реакцию с раствором, содержащим 0,77 г **X** было затрачено 21,8 мл раствора, содержащего 2,37 г NaOH на 100 мл раствора.

1. Ответьте без учета результатов титрования, могла ли находиться в банке а) соляная; б) азотная; в) серная; г) ортофосфорная кислота?
2. Определите формулу кислоты **X** и напишите уравнение реакции, ответ подтвердите расчетом.
3. Почему точку эквивалентности при титровании этой кислоты определяют по переходу окраски фенолфталеина, а не метилового оранжевого?
4. Какие газы выделяются на электродах при электролизе раствора этой кислоты?

### Задача №4

Для определения состава смеси трех твердых простых веществ **A**, **B** и **C** общей массой 7 г были проведены следующие опыты:

#### *Опыт 1*

Твердую смесь полностью растворили в избытке раствора едкого кали, при этом выделился газ с плотностью 0,0893 г/л при н.у. (реакции 1-3). Добавление избытка раствора серной кислоты привело к выделению аморфного осадка, содержащего элемент **A** (реакции 4-6). Осадок отфильтровали, прокалили и получили 1,00 г остатка (реакция 7).

#### *Опыт 2*

Фильтрат после опыта 1 обработали водным раствором аммиака и наблюдали выделение белого аморфного осадка, который при добавлении избытка осадителя уменьшался в объеме (реакции 8 и 9). Не растворившуюся часть осадка отфильтровали и добавили к нему по каплям разбавленную серную кислоту до растворения (реакция 10). При электролизе полученного раствора выделялись только водород и кислород (реакция 11).

#### *Опыт 3*

Фильтрат после опыта 2 нейтрализовали серной кислотой (реакция 12). После продолжительного электролиза полученного раствора на инертном катоде выделилось вещество **C** (реакция 13). При помещении в раствор сульфата железа (II) оно способно вытеснить 4,60 г металлического железа (реакция 14).

9. Определите вещества **A**, **B** и **C**.
10. Напишите уравнения реакций 1–14, описанных в условии задачи.
11. Рассчитайте массовые доли простых веществ **A**, **B** и **C** в исходной смеси.
12. Рассчитайте общий объем газа (в литрах), выделившегося в реакциях 1–3 при н.у.

### Задача №5

Синтез-газ представляет собой смесь монооксида углерода и водорода. Он применяется в промышленности для получения широкого спектра органических веществ. Соотношение компонентов синтез-газа может колебаться в широком диапазоне в зависимости от способа его получения и вида конверсии.

Для получения простейшего представителя класса спиртов (**A**) в сосуд объемом 10 л при 227 °С была помещена смесь CO и H<sub>2</sub> в мольном соотношении 2:5 и небольшое количество твердого катализатора. В начальный момент времени давление составило 29,1 атм. Константа равновесия процесса образования спирта, выраженная через концентрации в моль/л, равна  $6,09 \cdot 10^{-3}$ .

1. Запишите уравнение реакции.
2. Рассчитайте состав равновесной смеси в мольных долях.
3. Как изменится выход **A**, если в сосуд добавить 1 моль аргона? Ответ обоснуйте.

При идентичных начальных условиях в присутствии другого катализатора протекает другая реакция с образованием простейшего представителя класса насыщенных углеводородов **B** и еще одного вещества **C**. В момент образования равновесной смеси общее давление по сравнению с первоначальным уменьшилось в 1,36 раз.

4. Напишите уравнение реакции.
5. Рассчитайте константу равновесия реакции.

## 9 класс

### Решение задачи №1

1. Вклад в соотношение между атомами водорода и кислорода вносят и фосфорная кислота ( $H_3PO_4$ ) и вода ( $H_2O$ ), а значит данное соотношение атомов можно привести к соотношению молекулярных количеств кислоты и воды:

$$\begin{cases} N(H) = 1,5N(O) \\ N(H) = 3N(H_3PO_4) + 2N(H_2O) \rightarrow 3N_K + 2N_B = 6N_K + 1,5N_B \rightarrow 6N_K = N_B \\ N(O) = 4N(H_3PO_4) + N(H_2O) \end{cases}$$

Массовая доля фосфорной кислоты в водном растворе:

$$w(H_3PO_4) = \frac{m_K}{m_K + m_B}$$

Связь массы вещества и количества молекул для фосфорной кислоты и воды:

$$\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \rightarrow m = \frac{N \cdot M}{N_A}$$

Выражение для расчета массовой доли фосфорной кислоты в растворе:

$$\begin{cases} w(H_3PO_4) = \frac{\frac{N_K M_K}{N_A}}{\frac{N_K M_K}{N_A} + \frac{N_B M_B}{N_A}} \rightarrow \\ 6N_K = N_B \end{cases}$$
$$w(H_3PO_4) = \frac{N_K M_K}{N_K M_K + N_B M_B} = \frac{N_K M_K}{N_K M_K + 6N_K M_B} = \frac{M_K}{M_K + 6M_B}$$

Подстановка значений молекулярных масс фосфорной кислоты и воды:

$$w(H_3PO_4) = \frac{M_K}{M_K + 6M_B} = \frac{98}{98 + 6 \cdot 18} = 0,4757 \text{ или } 47,57\%$$

2. Расчет массы кислоты, необходимой для растворения в 150 мл воды, с целью получения такого раствора:

$$w(H_3PO_4) = \frac{m_K}{m_K + m_B} \rightarrow 0,4757 = \frac{m_K}{m_K + 150 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}}$$
$$m_K = \frac{150}{\frac{1}{0,4757} - 1} = 136,1 \text{ г}$$

3. Молярная концентрация фосфорной кислоты в растворе напрямую связана с массовой долей:

$$C_M(H_3PO_4) = \frac{n_K}{V_{p-pa}} = \frac{m_K \cdot \rho_{p-pa} \cdot 1000}{M_K \cdot m_{p-pa}} = \frac{w(\%) \cdot \rho_{p-pa} \cdot 1000}{100 \cdot M_K} = \frac{w(\%) \cdot \rho_{p-pa} \cdot 10}{M_K}$$

Плотность раствора в 1,24 раза выше плотности воды при 4°C, т.е. плотность раствора равна 1,24 г/мл:

$$C_M(H_3PO_4) = \frac{47,57 \cdot 1,24 \cdot 10}{98} = 6,02 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

Мольная доля кислоты в растворе так же связана с массовой долей напрямую:

$$\varphi_K = \frac{n_K}{n_K + n_B} = \frac{\frac{m_K}{M_K}}{\frac{m_K}{M_K} + \frac{m_B}{M_B}} = \frac{1}{1 + \frac{m_B \cdot M_K}{M_B \cdot m_K}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{w(H_3PO_4)} - 1\right) \cdot \frac{M_K}{M_B}}$$

Подстановка значений молекулярных масс компонентов и массовой доли кислоты в растворе:

$$\varphi_K = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0,4757} - 1\right) \cdot \frac{98}{18}} = 0,1428 \text{ или } 14,28\%$$

4. Для вычисления нового соотношения атомов водорода и кислорода, необходимо найти соотношение молекулярных количеств фосфорной кислоты и воды, исходя из увеличения массовой доли на 10%:

$$w(H_3PO_4) = \frac{N_K M_K}{N_K M_K + N_B M_B} = 0,4757 + 0,1 = 0,5757$$

После подстановки молекулярных масс компонентов можно выразить соотношение количества кислоты и воды:

$$\frac{98N_K}{98N_K + 18N_B} = 0,5757 \rightarrow 170,23N_K = 98N_K + 18N_B \rightarrow 4N_K = N_B$$

Теперь необходимо рассчитать соотношение атомов водорода и кислорода в растворе, исходя из операций пункта №1, но в обратном направлении:

$$\begin{cases} N(H) = n \cdot N(O) \\ N(H) = 3N(H_3PO_4) + 2N(H_2O) \\ N(O) = 4N(H_3PO_4) + N(H_2O) \end{cases} \rightarrow n = \frac{3N_K + 2N_B}{4N_K + N_B}$$

С учетом молекулярного соотношения фосфорной кислоты и воды:

$$\begin{cases} 4N_K = N_B \\ n = \frac{3N_K + 2N_B}{4N_K + N_B} \end{cases} \rightarrow n = \frac{3N_K + 8N_K}{4N_K + 4N_K} = \frac{11}{8} = 1,375$$

Таким образом, атомов водорода в новом растворе в 1,375 раз больше, чем атомов кислорода.

### **Система оценивания:**

1	Расчет молекулярного соотношения кислоты и воды – 5 баллов Вывод массы через количество частиц – 2 балла Расчет массового процента фосфорной кислоты – 2 балла	9 баллов
2	Расчет массы фосфорной кислоты – 3 балла	3 балла
3	Связь молярной концентрации и массовой доли – 0,5 балла Связь мольной и массовой доли – 0,5 балла Расчет молярной концентрации и мольной доли фосфорной кислоты по 1 баллу, в сумме 2 балла	3 балла
4	Расчет молекулярного соотношения кислоты и воды – 2 балла Вывод связь между атомами кислорода и водорода в растворе – 2 балла Расчет соотношения между атомами кислорода и водорода – 1 балл	5 баллов
Итого 20 баллов		



## Решение задачи №2

1. Определение формулы железного купороса необходимо вести через потерю массы при отщеплении воды при нагревании, учитывая то, что в формуле кристаллогидрата ( $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) числами обозначается мольное соотношение:



Максимальная потеря массы в 37% описывается отщеплением всех молекул воды, а значит, если первоначально взять 1 моль железного купороса:

$$\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O})} = \frac{n \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O})} = 0,37$$

Подставим известные значения молярных масс и рассчитаем количество молекул воды в кристаллогидрате:

$$n = \frac{0,37 \cdot M(\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,37 \cdot (18n + 152)}{18} \rightarrow n = 4,975 \approx 5$$

В состав кристаллогидрата сульфата железа (II) могут входить до 7 молекул воды, но в условии этой задачи –  $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

2. Расчет массового соотношения кристаллогидрата и воды для получения раствора сульфата железа (II) с массовым процентом 24,2%:

$$w(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{m(\text{FeSO}_4) + m(\text{H}_2\text{O})} = 0,242$$

Массу сульфата железа (II) можно выразить через массу кристаллогидрата:

$$n(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n(\text{FeSO}_4) \rightarrow \frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4)}$$
$$m(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}$$

Тогда выражение для массовой доли сульфата железа (II) в полученном растворе преобразуется:

$$\frac{\frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}}{\frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} + m(\text{H}_2\text{O})} = 0,242$$

После подстановки известных значений молекулярных масс сульфата железа (II) и его кристаллогидрата будет определено массовое соотношение кристаллогидрата и воды для получения раствора сульфата железа (II) с массовой долей 0,242:

$$\frac{\frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot 152}{242}}{\frac{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot 152}{242} + m(\text{H}_2\text{O})} = 0,242 \rightarrow 2,595m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$$
$$= 0,628m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{O})$$
$$1,967m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) \rightarrow \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} \approx 2$$

3. Определение формулы кристаллогидрата («английская соль») стоит вести через стандартные понятия массовой доли металла и водорода в составе. Общая формула «английской соли» –  $\text{MeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ :

$$\begin{cases} w(Me) = \frac{A_r(Me)}{A_r(Me) + A_r(S) + 4 \cdot A_r(O) + n \cdot M(H_2O)} = 0,0986 \\ w(H) = \frac{2 \cdot n \cdot A_r(H)}{A_r(Me) + A_r(S) + 4 \cdot A_r(O) + n \cdot M(H_2O)} = 0,0573 \end{cases}$$

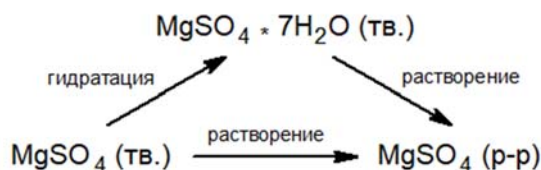
После подстановки известных атомных и молекулярных масс получается система из двух уравнений с двумя неизвестными, что можно решить и определить металл, входящий в состав кристаллогидрата, а также количество молекул воды:

$$\begin{cases} \frac{A_r(Me)}{A_r(Me) + 96 + 18n} = 0,0986 \\ \frac{2n}{A_r(Me) + 96 + 18n} = 0,0573 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 9,142A_r(Me) - 18n - 96 = 0 \\ A_r(Me) - 16,904n + 96 = 0 \end{cases}$$

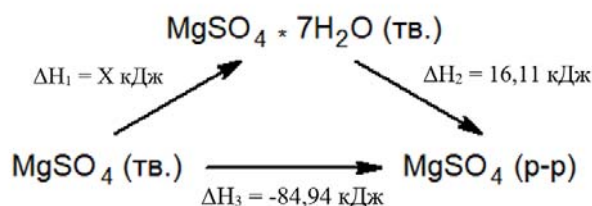
Решение системы уравнений дает значение атомной массы металла и количество молекул воды в структурной единице кристаллогидрата «английской соли»:

$$\begin{cases} A_r(Me) \approx 24 \\ n \approx 7 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} Me \equiv Mg \\ n = 7 \end{cases} \rightarrow MgSO_4 \cdot 7H_2O$$

4. Для расчета энтальпии образования «английской соли» необходимо уточнить два факта, чтобы точно сопоставить числовые данные и процесс ее образования. Образование кристаллогидрата из безводной соли можно описать выражением «неполная гидратация», то есть при полном растворении безводной соли в избытке воды образуется типичный водный раствор сульфата магния, а при частичном растворении – кристаллогидрат, который далее в избытке растворителя так же образует водный раствор:



Тогда стоит переписать цикл с указанием стандартных энтальпий каждого процесса в нем:



В таком цикле сумма энтальпий всех процессов равна нулю. С учетом направления движения – если движение по стрелкам не прерывается, то такие тепловые эффекты записываются со знаком «+», если же прерывается, то со знаком «-».

Тогда найдем энтальпию образования английской соли:

$$\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_2 = -84,94 - 16,11 = -101,05 \text{ кДж.}$$

### Система оценивания:

1	Указание формулы – 1 балл Расчет мольного соотношения соли и воды – 4 балла	5 балла
2	Связь между массой соли и кристаллогидрата этой соли – 1 балл Расчет массового соотношения – 2 балла	3 балла
3	Составление системы уравнений по определению массовой доли – 2 балла Расчет атомной массы металла и количества молекул воды в составе кристаллогидрата по 2 балла Формула кристаллогидрата – 1 балл	7 баллов
4	Расчет энтальпии образования кристаллогидрата – 5 баллов	5 баллов
		Итого 20 баллов

### Решение задачи №3

1. Заметим, что простое вещество, образованное элементом **X** может взаимодействовать и с кислородом, и с серой, при чем оксид **A** проявляет восстановительные свойства, так как взаимодействует далее с хлором на свету.

В таблице для оксида **A** дана плотность в газообразном состоянии при н.у., чем можно воспользоваться для расчета молярной массы:

$$\rho_{\text{газ}} = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M}{n \cdot V_m} = \frac{M}{V_m} \rightarrow M = \rho_{\text{газ}} \cdot V_m = 1,25 \cdot 22,4 = 28 \text{ г/моль}$$

Так как **A** – оксид, то по величине молярной массы можно понять, что в состав входит только один атом кислорода:

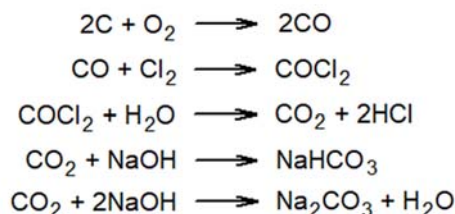
$$A_r(X) = 28 - 16 = 12 \text{ а. е. м}$$

Такая атомная масса может соответствовать только углероду, а значит оксид **A** – угарный газ – CO, элемент **X** – углерод.

Обратим внимание на левую часть цепочки и определим брутто-формулы соединений **C-F**:

- взаимодействие угарного газа – CO – с хлором на свету приводит к образованию фосгена COCl<sub>2</sub> (соединение **C**), оксид углерода (II) выступает как восстановитель, а хлор – окислитель;
- фосген подвергается гидролизу в водных условиях при нагревании с образованием соляной и угольной кислот, но из-за высокой температуры угольная кислота будет разлагаться и образовывать углекислый газ (соединение **D**), что подтверждается температурой сублимации из таблицы -78,5°C;
- углекислый газ может растворяться щелочных растворах с образованием гидрокарбонатов и карбонатов щелочных металлов, таким образом, реакция с одним эквивалентом гидроксида натрия приводит к образованию гидрокарбоната натрия (соединение **E**), а с двумя эквивалентами – карбоната натрия (соединение **F**).

Тогда уравнения образования соединений **A, C-F**:

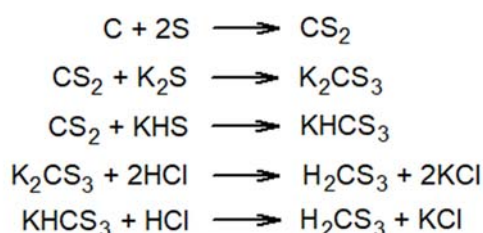


В правой части цепочки зашифрованы брутто-формулы соединений **B, G-I**:

- соединение **B** образовано из углерода и серы, устойчиво в жидком и газообразном состояниях – сероуглерод –  $\text{CS}_2$  (соединение **B**);
- соединения **G** и **H** имеют в составе три и четыре вида атомов соответственно, очевидно, что в состав соединения **G** входят калий, углерод и сера, а в состав **H** – калий, водород, углерод и сера, реакции образования этих соединений напоминают процессы образования карбонатов и гидрокарбонатов щелочных металлов, а значит образуются вещества  $\text{K}_2\text{CS}_3$  (соединение **G**) и  $\text{KHCS}_3$  (соединение **H**);
- образование соединения **I** происходит при действии кислоты на тиокарбонат и гидротиокарбонат калия, что похоже на образование угольной кислоты из карбонатов и гидрокарбонатов, тогда предположим, что соединение **I** –  $\text{H}_2\text{CS}_3$  – тиоугольная кислота, масло красного цвета. Проверим предположение по расчету массового процента серы в этом соединении:

$$w(\text{C}, \%) = \frac{A_r(\text{C})}{2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{C}) + 3 \cdot A_r(\text{S})} \cdot 100\% = \frac{12 \cdot 100\%}{2 + 12 + 3 \cdot 32} = 10,909\%$$

Соединения правой части расшифрованы, тогда уравнения их образования:



Брутто-формулы соединений **A-I**:

<b>A</b>	CO	<b>D</b>	CO <sub>2</sub>	<b>G</b>	K <sub>2</sub> CS <sub>3</sub>
<b>B</b>	CS <sub>2</sub>	<b>E</b>	NaHCO <sub>3</sub>	<b>H</b>	KHCS <sub>3</sub>
<b>C</b>	COCl <sub>2</sub>	<b>F</b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<b>I</b>	H <sub>2</sub> CS <sub>3</sub>

2. Сжигание сероуглерода  $\text{CS}_2$  (соединение **B**) в кислороде приводит к образованию двух оксидов, один из которых углекислый газ –  $\text{CO}_2$  (соединение **D**), а второй –  $\text{SO}_2$  (соединение **J**):



По данным условия необходимо рассчитать мольное соотношение сероуглерода и кислорода, чтобы определить состав конечной газообразной смеси после сжигания:

$$n(\text{CS}_2) = \frac{m(\text{CS}_2)}{M(\text{CS}_2)} = \frac{2,28}{76} = 0,03 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{29,12}{22,2} = 1,3 \text{ моль}$$

По количеству вещества сероуглерода и кислорода видно, что в конечной газовой смеси присутствует 0,03 моль углекислого газа, 0,06 моль оксида серы (IV) и 1,21 моль кислорода, который изначально был взят в избытке.

Молярная масса газовой смеси зависит от молярных масс каждого компонента и его мольной или объемной доли:

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{0,03}{0,03 + 0,06 + 1,21} = 0,0231$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{1,21}{0,03 + 0,06 + 1,21} = 0,9308$$

$$\varphi(\text{SO}_2) = \frac{0,06}{0,03 + 0,06 + 1,21} = 0,0461$$

$$M_{\text{смеси}} = \varphi(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) + \varphi(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) + \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 33,75 \text{ г/моль}$$

Тогда плотность этой газовой смеси:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{m_{\text{см}}}{V_{\text{см}}} = \frac{n_{\text{см}} M_{\text{см}}}{n_{\text{см}} V_m} = \frac{M_{\text{см}}}{V_m} = \frac{33,7}{22,4} = 1,504 \text{ г/л}$$

3. Превращение оксида углерода (II) в фосген описывается уравнением:



Рассчитаем мольное соотношение реагентов, если хлора взято по массе в два раза меньше, чем оксида углерода (II):

$$\frac{m(\text{CO})}{m(\text{Cl}_2)} = 2 \rightarrow \frac{n(\text{CO})}{n(\text{Cl}_2)} = \frac{2 \cdot 71}{28} = \frac{71}{14}$$

Таким образом, в данных условиях на 14 моль хлора приходится 71 моль оксида углерода (II).

Зависимость давления от количества вещества при постоянных объеме и температуре:

$$\frac{p_2 V}{p_1 V} = \frac{n_2 RT}{n_1 RT} \rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Чтобы узнать во сколько раз упало давление, необходимо определить во сколько раз уменьшилось суммарное количество газообразных веществ:

	Реагенты		Продукты	Суммарное количество
	CO	Cl <sub>2</sub>	COCl <sub>2</sub>	
<b>n<sub>о</sub></b>	71	14	0	<b>85</b>
<b>Δn</b>	-14	-14	+14	
<b>[n]</b>	57	0	14	<b>71</b>

Начальное суммарное количество газов – 85 моль, конечное – 71 моль, то есть количество газов уменьшилось в 1,197 раз. Значит давление так же уменьшилось в 1,197 раз.

**Система оценивания:**

1	Расчет атомной массы элемента X и молярной массы соединения A – 0,5 балла Установление брутто-формулы соединений A-I по 0,5 баллов за каждое, в сумме 4,5 балла Написание реакций, используемых в цепочке превращений по 0,5 баллов за каждую, в сумме 5 баллов	10 баллов
2	Расчет количества (в моль) сероуглерода и кислорода – 1 балл Указание о наличии избытка кислорода и расчет мольных долей соединений в итоговой смеси – 2 балла Расчет молярной массы итоговой смеси – 1 балл Расчет плотность итоговой смеси при н.у. – 1 балл	5 баллов
3	Расчет мольного соотношения монооксида углерода и хлора – 1 балл Указание на зависимость давления от количества вещества – 2 балл Расчет изменения количества вещества и давления в ходе реакции – 2 балла	5 баллов
<b>Итого 20 баллов</b>		

**Решение задачи №4**

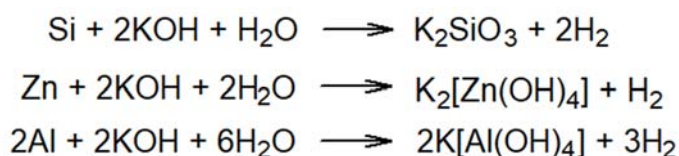
1. Все три твердых простых вещества A, B и C растворяются без остатка в растворе гидроксида калия (едкий кали) с выделением газа. По плотности газа при н.у. определим его формулу:

$$\rho = \frac{M}{V_m} \rightarrow M = 0,0893 \cdot 22,4 = 2 \text{ г/моль}$$

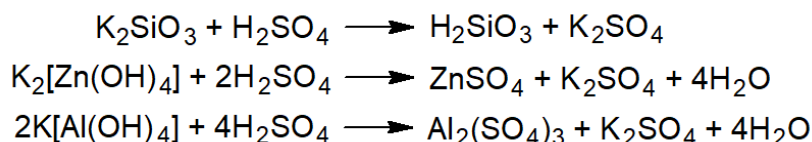
Такая молярная масса может соответствовать только молекуле водорода, то есть выделяющийся газ – H<sub>2</sub>.

Из школьного курса химии известно, что при растворении в щелочи алюминия, цинка или кремния будет выделяться водород, а значит эти простые вещества здесь и зашифрованы. Соотнесем буквенные обозначения и простые вещества, исходя из описания опытов 1, 2 и 3.

Из опыта 1 известно, что одно из простых веществ при растворении в щелочи, а затем при подкислении, образует аморфный осадок, который, предположительно, отщепляет воду при нагревании с образованием твердого остатка. Такое описание говорит только о том, что **вещество A – кремний**, тогда уравнения реакций 1-3:



При добавлении избытка серной кислоты в осадок будет выпадать кремниевая кислота, а гидроксокомплексы алюминия и цинка образуют соответствующие средние сульфаты (реакции 4-6):

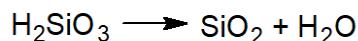


Из опыта 2 известно, что в избытке аммиака полученный осадок уменьшается в объеме, что говорит о содержании гидроксида цинка и алюминия в нем, так как гидроксид цинка растворяется в избытке аммиака, а гидроксид алюминия – нет.

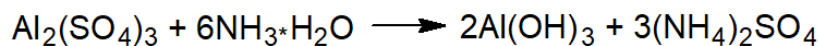
Из опыта 2 и 3 известно, что вещество C способно выделяться на катоде при электролизе, а B – нет. Соответственно, **вещество B – алюминий**, а **вещество C – цинк**.

2. Реакции 1-6 уже написаны в пункте 1.

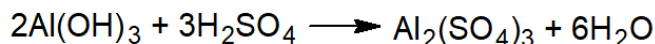
Прокаливание кремниевой кислоты проходит с отщеплением воды и образованием диоксида кремния (реакция 7):



Тогда превращения, происходящие при добавлении избытка аммиака (реакции 8-9):



Процесс растворения гидроксида алюминия в эквивалентном количестве серной кислоты (реакция 10):



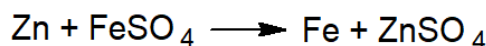
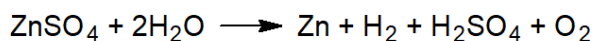
При электролизе раствора сульфата алюминия на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. Ни катион  $\text{Al}^{3+}$ , ни анион  $\text{SO}_4^{2-}$  не разряжаются на электродах, а значит проходит электролиз воды, а не соли (реакция 11):



При нейтрализации серной кислотой фильтрата из опыта 2, содержащего аммиачный комплекс цинка, образуется сульфат цинка (реакция 12):



Электролиз раствора сульфата цинка и взаимодействие полученного цинка (вещества С) с сульфатом железа (II) описываются реакциями 13 и 14:



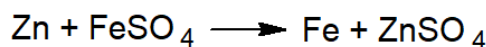
3. Количество кремния можно найти из массы диоксида кремния, полученного при прокаливании кремниевой кислоты:

$$m(\text{SiO}_2) = 1,00 \text{ г} \rightarrow n(\text{Si}) = n(\text{SiO}_2) = \frac{1,00}{60} = 0,0167 \text{ моль}$$

Расчет массы кремния:

$$m(\text{Si}) = 0,0167 \cdot 28 = 0,468 \text{ г}$$

Массу цинка определяем по реакции 14, учитывая, что образуется 4,60 г железа:



$$n(\text{Zn}) = n(\text{Fe}) = \frac{4,60}{56} = 0,082 \text{ моль} \rightarrow m(\text{Zn}) = 0,082 \cdot 65 = 5,33 \text{ г}$$

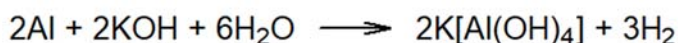
Масса алюминия рассчитывается из общей массы всех трех простых веществ:

$$m(\text{Al}) = 7 - 5,33 - 0,468 = 1,202 \text{ г}$$

Массовые доли простых веществ в начальной смеси приведены в таблице:

Обозначение веществ	Элементы	Масса, г	Массовый процент, %
A	Si	0,468	6,69
B	Al	1,202	17,17
C	Zn	5,33	76,14

4. Общий объем водорода при нормальных условиях, выделившийся в реакциях 1-3, рассчитаем через количества каждого простого вещества по реакциям:



$$n(\text{H}_2) = 2n(\text{Si}) + n(\text{Zn}) + 1,5n(\text{Al}) = 0,182 \text{ моль} \rightarrow V(\text{H}_2) = 0,182 \cdot 22,4 = 4,08 \text{ л}$$

#### Система оценивания:

1	Установление элементов A, B и C по 2 балла каждый, в сумме 6 баллов	6 баллов
2	14 уравнений реакций, описанных в трех опытах по 0,5 баллов, в сумме 7 баллов	7 баллов
3	Расчет количества и масс вещества A, B и C по 1,5 балла, в сумме 4,5 балла Расчет массовых процентов A, B и C в начальной смеси – 0,5 балла	5 баллов
4	Расчет количества (в моль) выделившегося водорода в реакциях 1-3 – 1 балл Расчет объема водорода при н.у. – 1 балл	2 балла
Итого 20 баллов		

#### *Решение задачи №5*

1. При пропускании смеси озона с некоторым неизвестным газом через подкисленный раствор иодида калия уже очевидно, что озон как окислитель будет вступать в реакцию:



Появляющаяся окраска раствора обусловлена выделением иода, а выделившийся в эквивалентном количестве кислород, имеющий меньшую молярную массу, чем озон, обуславливает уменьшение плотности на 9%. Выделение кислорода в эквивалентном количестве подтверждает неизменность мольного соотношения компонентов первой и второй газовых смесей.

Пропускание полученной смеси кислорода и неизвестного газа через раствор гидроксида калия (едкий кали) сильно уменьшает плотность, что говорит о поглощении одного из компонентов газовой смеси. Поглощаемый компонент – неизвестный газ, так как кислород в данных условиях не вступает ни в какие реакции.

Тогда конечная плотность соответствует плотности чистого кислорода. Проведем расчет плотности кислорода (при н.у.):

$$\rho(\text{O}_2) = \frac{M(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{32}{22,4} = 1,429 \text{ г/л}$$

Плотность второй газовой смеси можно рассчитать по процентному уменьшению:

$$\frac{\rho_2 - \rho(\text{O}_2)}{\rho_2} = 0,22 \rightarrow \rho_2 = \frac{1,429}{1 - 0,22} = 1,832 \text{ г/л}$$

Расчет плотности первой смеси необходимо провести аналогично:

$$\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} = 0,09 \rightarrow \rho_1 = \frac{1,832}{1 - 0,09} = 2,013 \text{ г/л}$$

Рассчитаем молярные массы первой и второй газовых смесей, исходя из известных значений плотности:

$$M_1 = \rho_1 \cdot V_m = 2,013 \cdot 22,4 = 45 \text{ г/моль}$$



$$M_2 = \rho_2 \cdot V_m = 1,832 \cdot 22,4 = 41 \text{ г/моль}$$

Молярные массы смесей рассчитываются с учетом молярных долей и молярных масс каждого компонента по формуле:

$$M_{\text{см}} = \varphi_1 M_{\text{комп,1}} + \varphi_2 M_{\text{комп,2}}$$

Учтем то, что в первой газовой смеси уже известен один компонент – озон  $O_3$  (48 г/моль), а во второй газовой смеси – кислород  $O_2$  (32 г/моль). Тогда молярная масса неизвестного газа, обладающего кислотными свойствами для осуществления взаимодействия с гидроксидом калия, должна заключаться в пределах от 41 до 45 г/моль. Также этот неизвестный газ не должен проявлять восстановительные свойства, так как он находится в смеси с сильными окислителями.

Таким газом может быть только  $CO_2$  – углекислый газ. Таким образом, известен качественный состав всех смесей:

Смесь	Качественный состав
№1	$O_3 + CO_2$
№2	$O_2 + CO_2$
№3	$O_2$

Рассчитаем количественное содержание каждого компонента газовых смесей в молярных долях с использованием молярных масс каждой смеси. Уже известно, что смесь 3 на 100% состоит из кислорода, а в смеси 1 и 2 количественное соотношение компонентов постоянное.

Тогда молярные доли озона и углекислого газа в смеси 1:

$$\begin{cases} M_1 = \varphi(O_3)M(O_3) + \varphi(CO_2)M(CO_2) \\ \varphi(O_3) + \varphi(CO_2) = 1 \end{cases}$$

Подставим известные значения молярных масс и выразим молярную долю озона через молярную долю углекислого газа:

$$(1 - \varphi(CO_2)) \cdot 48 + \varphi(CO_2) \cdot 44 = 45 \rightarrow \varphi(CO_2) = \frac{48 - 45}{48 - 44} = 0,75$$

$$\varphi(O_3) = 1 - \varphi(CO_2) = 0,25$$

Количественный состав смеси 2 такой же, что позволяет заполнить итоговую таблицу по всем газовым смесям для наблюдения за тем, как изменяется количественный состав при осуществлении всех химических превращений:

Смесь	Качественный состав	Количественный состав (объемные проценты)	
№1	$O_3 + CO_2$	25% $O_3$	75% $CO_2$
№2	$O_2 + CO_2$	25% $O_2$	75% $CO_2$
№3	$O_2$	100% $O_2$	

2. Взаимодействие озона с подкисленным раствором иодида калия описывается следующим уравнением реакции:



Поглощение углекислого газа раствором гидроксида калия может проходить по двум уравнениям реакции. В условиях недостатка щелочи будет образовываться гидрокарбонат калия, а при избытке – карбонат калия:



3. По процентному уменьшению плотности определим молярную массу новой газовой смеси, содержащей озон:

$$\frac{\rho_1 - \rho_n}{\rho_1} = 0,27 \rightarrow \rho_n = 2,013 - 0,27 \cdot 2,013 = 1,469 \text{ г/л}$$

$$M = \rho \cdot V_m = 1,469 \cdot 22,4 = 33 \text{ г/моль}$$

Для осуществления такого уменьшения молярной массы смеси необходимо заменить легкий компонент смеси №1 – углекислый газ  $\text{CO}_2$ , так как у него молярная масса меньше, чем у озона  $\text{O}_3$ . Объемная доля озона остается равной 0,25, а у второго газа – 0,75. Найдем молярную массу второго газа:

$$M = \varphi(X)M(X) + \varphi(\text{O}_3)M(\text{O}_3) = 33$$

$$M(X) = \frac{33 - \varphi(\text{O}_3)M(\text{O}_3)}{\varphi(X)} = \frac{33 - 0,25 \cdot 48}{0,75} = 28 \text{ г/моль}$$

Такой молярной массе соответствуют несколько газов – монооксид углерода  $\text{CO}$ , азот  $\text{N}_2$  и этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$ . В смеси с озоном может существовать только азот, так как монооксид углерода и этилен будут окисляться до углекислого газа.

Состав новой смеси (представлены мольные проценты): 75% азота  $\text{N}_2$  и 25% озона  $\text{O}_3$ .

**Система оценивания:**

1	Определение состава смеси 3 – 1 балл Расчет плотностей смесей 1 и 2 и плотности кислорода – 3 балла Расчет молярных масс смесей 1 и 2 по 0,5 балла, в сумме 1 балл Объяснение факта о неизменности количественного соотношения – 1 балл Установление качественного состава смеси №1 и №2 по 2 балла, в сумме 4 балла Установление количественного состава смесей №1-№3 – 2 балла	12 баллов
2	Уравнение взаимодействия озона с иодидом калия – 2 балла Два способа взаимодействия углекислого газа с раствором гидроксида калия по 0,5 балла, в сумме 1 балл	3 балла
3	Расчет новой молярной массы смеси №1 – 1 балл Установление молярной массы нового компонента смеси №1 – 2 балла Установление формулы нового компонента смеси №1 – 2 балла	5 баллов
		Итого 20 баллов

## 10 класс

### Решение задачи №1

1. Взаимодействие фтора с водой происходит с образованием фторида кислорода  $\text{OF}_2$  и слабой кислоты  $\text{HF}$  (соединение **A**) по следующей реакции:



2. Гидролиз фторида кислорода  $\text{OF}_2$  в водных условиях приводит к получению фтороводородной кислоты  $\text{HF}$  (соединение **A**) и кислорода  $\text{O}_2$  (соединение **B**):



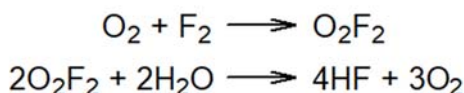
3. Электрохимическое получение фторидов кислорода позволяет получать не только  $\text{OF}_2$ , но и другие с общей формулой  $\text{O}_n\text{F}_2$ . Кислород образует цепочечную структуру, а атомы фтора являются концевыми атомами в цепочке. Уравнение гидролиза фторидов кислорода в общем виде будет записываться:



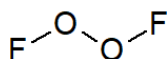
Если при гидролизе некоторого фторида кислорода выделилось в 1,5 раза больше кислорода, чем при гидролизе  $\text{OF}_2$ , учитывая, что начальные количества фторидов взяты постоянные, то отношение коэффициентов перед кислородом:

$$\frac{n+1}{2} = 1,5 \rightarrow n = 2$$

Во фториде кислорода, полученном взаимодействием фтора и кислорода, два атома кислорода, а значит его формула –  $\text{O}_2\text{F}_2$ . Уравнение реакции его образования и гидролиза:

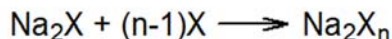


4. Структурная формула дифторида дикислорода:



5. По названию соли – «**иксид натрия**» – можно сказать, что атом **X** в этих соединениях находится в отрицательной степени окисления. Вспомним похожие названия: нитрид, оксид, сульфид, фторид, иодид. При взаимодействии иксида натрия с избытком простого вещества **X** логично предположить образование полианиона, тогда соль **Y** – полииксид натрия.

Большинство предложенных нами соединений можно не учитывать, так как они не обладают способностью образовывать такие полианионы, как в условии задачи. Тогда, по аналогии с фторидом кислорода, предположим, что в структуре «**иксида натрия**» два атома натрия и один атом **X** –  $\text{Na}_2\text{X}$ , тогда структура полииксида натрия (соединения **Y**) –  $\text{Na}_2\text{X}_n$ :



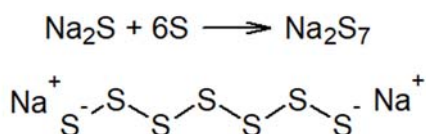
Воспользовавшись соотношением масс продукта и реагента, можно выразить зависимость атомной массы неизвестного элемента от количества атомов **X** в полианионе. Учтем, что на 1 моль «**иксида натрия**» образуется 1 моль соединения **Y**:

$$\begin{aligned} \frac{m(\text{Na}_2\text{X}_n)}{m(\text{Na}_2\text{X})} = 3,46 &\rightarrow \frac{n(\text{Na}_2\text{X}_n)M(\text{Na}_2\text{X}_n)}{n(\text{Na}_2\text{X})M(\text{Na}_2\text{X})} = \frac{M(\text{Na}_2\text{X}_n)}{M(\text{Na}_2\text{X})} = 3,46 \\ \frac{2 \cdot 23 + n \cdot A_r(X)}{2 \cdot 23 + A_r(X)} = 3,46 &\rightarrow A_r(X) = \frac{32,705}{0,289n - 1} \end{aligned}$$

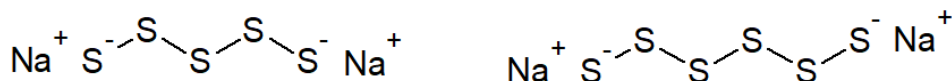
Количество атомов **X** в составе **Y** может быть только целым числом, тогда рассчитаем возможные варианты атомов **X** при подборе их количества:

Количество атомов, <b>n</b>	Атомная масса <b>X</b>	Элемент <b>X</b>	Формула
1	Использование от 1 до 3 атомов <b>X</b> при расчете нелогично, так как знаменатель обращается в отрицательное число		
2			
3			
4	209,64	Po	нет полианионов
5	73,5	-	-
6	44,56	≈ Sc	нет полианионов
7	<b>31,97</b>	<b>S</b>	<b>Na<sub>2</sub>S<sub>7</sub></b>
8	24,93	≈ Mg	нет полианионов
9	20,43	≈ Ne	нет полианионов

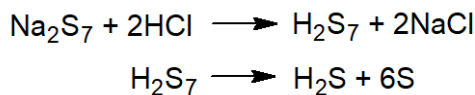
Доказано, что элемент **X** – сера S, «иксид **натрия**» – сульфид натрия Na<sub>2</sub>S, соединение **Y** – полисульфид натрия Na<sub>2</sub>S<sub>7</sub>. Реакция получения и структурная формула полисульфида натрия:



6. Такой же качественный состав как у Na<sub>2</sub>S<sub>7</sub> имеют, например, Na<sub>2</sub>S<sub>5</sub> и Na<sub>2</sub>S<sub>6</sub>. Их структурные формулы:



7. При взаимодействии с соляной кислотой первоначально будет проходить реакция ионного обмена с образованием хлорида натрия и гептасульфана, который в водной среде неустойчив и будет разлагаться на сероводород и серу:



#### Система оценивания:

1	Написание уравнения реакции фтора и воды – 1 балл Определение кислоты <b>A</b> – 1 балл	2 балла
2	Уравнение гидролиза дифторида кислорода – 1 балл	1 балл
3	Общее уравнение гидролиза дифторидов кислорода – 2 балла Расчет количества атомов кислорода и установление брутто-формулы дифторида дикислорода – 1 балл Уравнение образования дифторида дикислорода и его гидролиз в присутствии воды по 1 баллу за каждое, в сумме 2 балла	5 баллов
4	Структурная формула дифторида дикислорода – 1 балл	1 балл
5	Составление общего вида реакции образования соединения <b>Y</b> – 1 балл Вывод зависимости атомной массы элемента <b>X</b> от количества атомов <b>X</b> в составе соединения <b>Y</b> – 2 балла Определение количества атомов <b>X</b> в составе соединения <b>Y</b> – 1 балл Установление элемента <b>X</b> и реакция образования соединения <b>Y</b> из сульфида натрия по 1 баллу, суммарно 2 балла Структурная формула соединения <b>Y</b> – 1 балл	7 баллов
6	Структурные формулы двух веществ по 1,5 балла, в сумме 3 балла	3 балла
7	Уравнение реакции с образованием гептасульфана – 0,5 балла Уравнение реакции разложения гептасульфана – 0,5 балла	1 балл
Итого 20 баллов		

Решение задачи №2

1. Начало решения можно вести, исходя из известных продуктов и реагентов. Запишем уравнения реакций, одного из возможных решений:

Номер реакции	Уравнение реакции	Условия протекания
1	$\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	Серная кислота – концентрированная, т.к. медь не растворяется в разбавленной кислоте
2	$\text{Cu} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2$	В соляной кислоте в отсутствии и присутствии кислорода происходит образования хлоридных комплексов меди $[\text{CuCl}_2]^-$ и $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ , но не хлорида
3	$\text{CuO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Разбавленная соляная кислота
4	$2\text{CuSO}_4 \rightarrow 2\text{CuO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$	Высокотемпературное разложение
7	$\text{CuCl} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$	Отсутствие кислорода воздуха
8	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + \text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}^- \text{Cu}^+ + \text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$	
9	$2\text{CuCl} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{CuCl}_2$	Повышенная температура и отсутствие влаги во избежание гидролиза
11	$2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3 + 2\text{CuO} + 2\text{NH}_4\text{Cl}$	Концентрированный пероксид водорода
12	$2\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}^- \text{Cu}^+ + 3\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{конц.}) \rightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{H}_2\text{O}$	Концентрированная серная кислота

Предложения о формуле **X** стоит начать с указания на его разложении при нагревании: образование бурого газа ( $\text{NO}_2$ ) может быть признаком разложения нитрата. Тогда предположим, что соединение **X** – нитрат меди (II) –  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , допишем уравнения реакций и подтвердим предположение:

Номер реакции	Уравнение реакции	Условия протекания
5	$3\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}^- \text{Cu}^+ + 8\text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 3\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{CH} + 4\text{H}_2\text{O}$	Концентрированная азотная кислота
6	$\text{CuCl} + 3\text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}_2 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$	
10	$\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	

Уравнениями реакций 5, 6 и 10 предположение о том, что соединение **X** может являться нитратом меди (II), подтверждено.

2. Чайная сода (так же имеет и второе название – питьевая) – гидрокарбонат натрия –  $\text{NaHCO}_3$ . При его добавлении к раствору, содержащему сульфат меди (II), происходят процессы образования основных карбонатов меди (II), так как карбонаты меди сильно подвержены гидролизу.

Самый известный основной карбонат меди (II) – малахит –  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ . По массовому проценту меди сделаем проверку:

$$w(\text{O}, \%) = \frac{2A_r(\text{Cu}) \cdot 100\%}{2A_r(\text{Cu}) + 2A_r(\text{H}) + A_r(\text{C}) + 5A_r(\text{O})} = 57,48\%$$

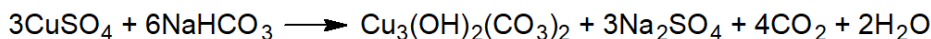
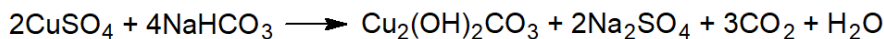
По массовому проценту меди очевидно, что соединение  $\text{Y}_1$  – малахит -  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ .

Можно предположить, что второе соединение – это карбонат меди (II), но массовый процент меди в нем 51,43%. Так же не подходят гидроксид меди (II), оксид меди (II) и медный купорос (пентагидрат сульфата меди (II)) с массовыми процентами меди 65,13%, 79,89% и 25,45%. Тогда предположим, что второе соединение так же основной карбонат меди, но другого состава.

Подбирая соотношения или обратив внимание на наличие тривиального название, можно предположить, что второй основной карбонат меди (II) и соединение  $\text{Y}_2$  – азурит –  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ . Подтвердим предположение массовым процентом меди:

$$w(O, \%) = \frac{3A_r(Cu) \cdot 100\%}{3A_r(Cu) + 2A_r(H) + 2A_r(C) + 8A_r(O)} = 55,31\%$$

Процессы образования малахита и азурита из раствора сульфата меди (II) при добавлении гидрокарбоната натрия:



3. Разложение малахита в формулировке о потере массы можно использовать для открытия его структуры и атомных соотношений. Напишем реакцию разложения основного карбоната, исходя из сходства с разложением гидроксидов и карбонатов тяжелых металлов:



Взяв 1 моль основного карбоната, определим потерю массы в этом процессе, которая приходится на образование газообразных углекислого газа и воды:

$$n(Cu_2(OH)_2CO_3) = 1 \text{ моль} \rightarrow m(Cu_2(OH)_2CO_3) = 222 \text{ г}$$

$$n(CO_2) = 1 \text{ моль} \rightarrow m(CO_2) = 44 \text{ г}$$

$$n(H_2O) = 1 \text{ моль} \rightarrow m(H_2O) = 18 \text{ г}$$

$$\Delta m = \frac{44 + 18}{222} \cdot 100\% = 27,93\%$$

#### Система оценивания:

1	Обоснованное предложение состава соединения X – 2 балла Уравнения реакций 1-12 по 1 баллу, в сумме 12 баллов	14 баллов
2	Объяснение образования основных карбонатов – 1 балл Установление буртго-формулы соединений Y <sub>1</sub> и Y <sub>2</sub> по 1 баллу, в сумме 2 балла Уравнения реакций образования соединений Y <sub>1</sub> и Y <sub>2</sub> по 1 баллу, в сумме 2 балла	5 баллов
3	Реакция разложения малахита – 1 балл	1 балл
		Итого 20 баллов

#### Решение задачи №3

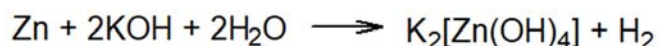
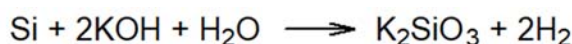
5. Все три твердых простых вещества А, В и С растворяются без остатка в растворе гидроксида калия (едкий кали) с выделением газа. По плотности газа при н.у. определим его формулу:

$$\rho = \frac{M}{V_m} \rightarrow M = 0,0893 \cdot 22,4 = 2 \text{ г/моль}$$

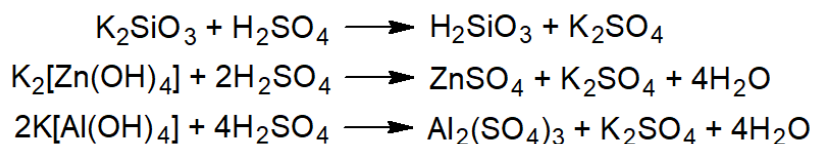
Такая молярная масса может соответствовать только молекуле водорода, то есть выделяющийся газ – H<sub>2</sub>.

Из школьного курса химии известно, что при растворении в щелочи алюминия, цинка или кремния будет выделяться водород, а значит эти простые вещества здесь и зашифрованы. Соотнесем буквенные обозначения и простые вещества, исходя из описания опытов 1, 2 и 3.

Из опыта 1 известно, что одно из простых веществ при растворении в щелочи, а затем при подкислении, образует аморфный осадок, который, предположительно, отщепляет воду при нагревании с образованием твердого остатка. Такое описание говорит только о том, что **вещество А – кремний**, тогда уравнения реакций 1-3:



При добавлении избытка серной кислоты в осадок будет выпадать кремниевая кислота, а гидроксокомплексы алюминия и цинка образуют соответствующие средние сульфаты (реакции 4-6):

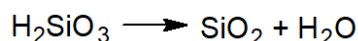


Из опыта 2 известно, что в избытке аммиака полученный осадок уменьшается в объеме, что говорит о содержании гидроксида цинка и алюминия в нем, так как гидроксид цинка растворяется в избытке аммиака, а гидроксид алюминия – нет.

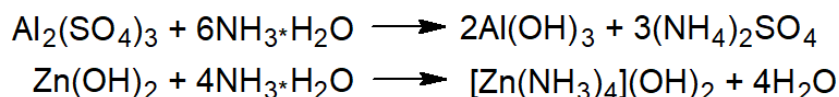
Из опыта 2 и 3 известно, что вещество С способно выделяться на катоде при электролизе, а В – нет. Соответственно, **вещество В – алюминий**, а **вещество С – цинк**.

6. Реакции 1-6 уже написаны в пункте 1.

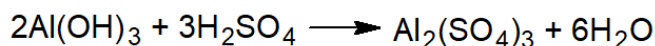
Прокаливание кремниевой кислоты проходит с отщеплением воды и образованием диоксида кремния (реакция 7):



Тогда превращения, происходящие при добавлении избытка аммиака (реакции 8-9):



Процесс растворения гидроксида алюминия в эквивалентном количестве серной кислоты (реакция 10):



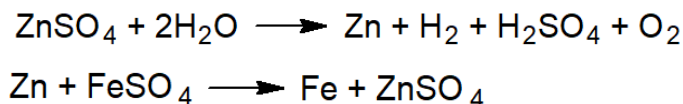
При электролизе раствора сульфата алюминия на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. Ни катион  $Al^{3+}$ , ни анион  $SO_4^{2-}$  не разряжаются на электродах, а значит проходит электролиз воды, а не соли (реакция 11):



При нейтрализации серной кислотой фильтрата из опыта 2, содержащего аммиачный комплекс цинка, образуется сульфат цинка (реакция 12):



Электролиз раствора сульфата цинка и взаимодействие полученного цинка (вещества С) с сульфатом железа (II) описываются реакциями 13 и 14:



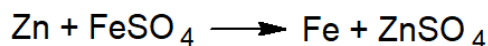
7. Количество кремния можно найти из массы диоксида кремния, полученного при прокаливании кремниевой кислоты:

$$m(SiO_2) = 1,00 \text{ г} \rightarrow n(Si) = n(SiO_2) = \frac{1,00}{60} = 0,0167 \text{ моль}$$

Расчет массы кремния:

$$m(Si) = 0,0167 \cdot 28 = 0,468 \text{ г}$$

Массу цинка определяем по реакции 14, учитывая, что образуется 4,60 г железа:



$$n(\text{Zn}) = n(\text{Fe}) = \frac{4,60}{56} = 0,082 \text{ моль} \rightarrow m(\text{Zn}) = 0,082 \cdot 65 = 5,33 \text{ г}$$

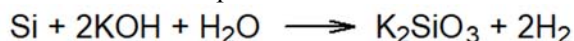
Масса алюминия рассчитывается из общей массы всех трех простых веществ:

$$m(\text{Al}) = 7 - 5,33 - 0,468 = 1,202 \text{ г}$$

Массовые доли простых веществ в начальной смеси приведены в таблице:

Обозначение веществ	Элементы	Масса, г	Массовый процент, %
A	Si	0,468	6,69
B	Al	1,202	17,17
C	Zn	5,33	76,14

8. Общий объем водорода при нормальных условиях, выделившийся в реакциях 1-3, рассчитаем через количества каждого простого вещества по реакциям:



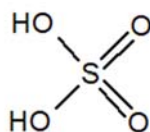
$$n(\text{H}_2) = 2n(\text{Si}) + n(\text{Zn}) + 1,5n(\text{Al}) = 0,182 \text{ моль} \rightarrow V(\text{H}_2) = 0,182 \cdot 22,4 = 4,08 \text{ л}$$

#### Система оценивания:

1	Установление элементов A, B и C по 2 балла каждый, в сумме 6 баллов	6 баллов
2	14 уравнений реакций, описанных в трех опытах по 0,5 баллов, в сумме 7 баллов	7 баллов
3	Расчет количества и масс вещества A, B и C по 1,5 балла, в сумме 4,5 балла Расчет массовых процентов A, B и C в начальной смеси – 0,5 балла	5 баллов
4	Расчет количества (в моль) выделившегося водорода в реакциях 1-3 – 1 балл Расчет объема водорода при н.у. – 1 балл	2 балла
Итого 20 баллов		

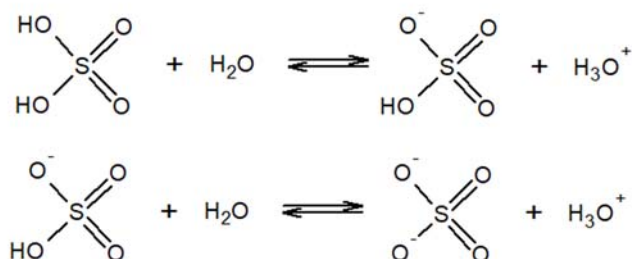
#### Решение задачи №4

1. Серная кислота –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Структурная формула отражает порядок связей в молекуле, а значит нужно определим валентность всех атомов в составе: водород – валентность I, кислород – валентность II, а сера – валентность VI.



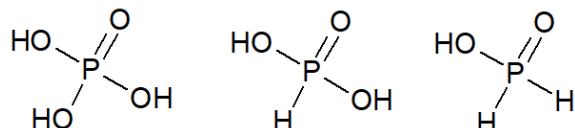
Функциональные группы, отвечающие за кислотность (способность быть донором протона) – гидроксильные группы X-OH. В структуре серной кислоты две гидроксильные группы, а значит ее основность равна двум, что соответствует способности диссоциировать с образованием двух протоном (ионов гидроксония) по двум ступеням:





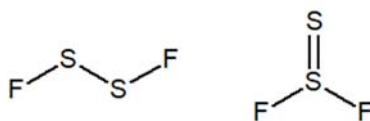
Атомы кислорода в структуре серной кислоты и ее анионов находятся в вершинах тетраэдра.

2. Кислоты  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$  и  $\text{H}_3\text{PO}_2$  – фосфорная, фосфористая и фосфорноватистая – имеют в своем составе атомы водорода и кислорода, с такими же валентностями как и в серной кислоте, а атом фосфора в трех случаях имеет валентность равную V. Изобразим структурные формулы кислот:

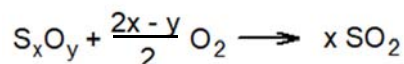


По структурным формулам видно, что основность фосфорной кислоты равна трем (три гидроксильные группы в составе), фосфористой равна двум (две гидроксильные группы в составе), а фосфорноватистой – одному (одна гидроксильная группа в составе).

3. Дифторид дисеры –  $\text{S}_2\text{F}_2$  – может существовать в виде двух изомеров, в одном из которых валентность серы равна двум, а в другом – двум и четырем (валентность серы равная шести здесь неосуществима):



4. При сжигании соединений, содержащих в своем составе серу, на воздухе в отсутствие катализаторов в большинстве случаев образуется газообразный оксид серы (IV) – оксид серы В. Тогда в общем виде уравнение сгорания оксида серы А можно записать в следующем виде:



Зная количество кислорода и оксида серы (IV), необходимо рассчитать их количество, чтобы оценить атомное соотношение серы и кислорода в оксиде А:

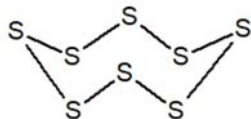
$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{28}{22,4} = 1,25 \text{ моль}$$

$$n(\text{SO}_2) = \frac{V(\text{SO}_2)}{V_m} = \frac{29,9}{22,4} = 1,334 \text{ моль}$$

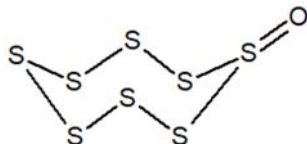
Через соотношения количеств кислорода и оксида серы (IV) можно выразить соотношение коэффициентов перед ними в уравнениях, а значит и соотношение атомов серы и кислорода в оксиде А:

$$\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{O}_2)} = \frac{x}{\frac{2x-y}{2}} = \frac{1,334}{1,25} = 1,0664 \rightarrow 1,875x = 2x - y \rightarrow \frac{y}{x} = \frac{1}{8} = \frac{N(\text{O})}{N(\text{S})}$$

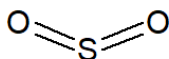
Сера как простое вещество состоит из многоатомных молекул S<sub>8</sub>, а значит можно предположить, что структура простого вещества остается и в оксиде **A**, тогда его формула – S<sub>8</sub>O. Молекулы S<sub>8</sub> часто называют «коронами» из-за их циклического и углообразного объемного строения:



Предположим, что в оксиде **A** это свойство не изменяется, тогда где включен атом кислорода? Включение кислорода в цикл приведет к сильному уменьшению устойчивости соединения, а вне цикла существование кислорода возможно только при условии, что один из атомов серы изменит валентность с II до IV:

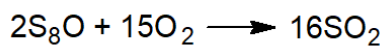


Структурная формула диоксида серы (оксид **B**):



Тогда оксид **A** – S<sub>8</sub>O, а оксид **B** – SO<sub>2</sub>. Они не являются изомерами, так как имеют разные брутто-формулы.

5. Уравнение получения оксида SO<sub>2</sub> из S<sub>8</sub>O при сжигании в кислороде:



**Система оценивания:**

1	Структурная формула серной кислоты – 1 балл Уравнения диссоциации серной кислоты в водном растворе (по двум ступеням) – 2 балла Указание геометрии сульфат-иона – 2 балла	5 баллов
2	Структурная формула фосфорной кислоты и определение ее основности – 1 балл Структурная формула фосфористой кислоты и определение ее основности – 2 балла Структурная формула фосфорноватистой кислоты и определение ее основности – 2 балла	5 баллов
3	Структурные формулы дифторида дисеры по 1,5 балла, в сумме 3 балла	3 балла
4	Указание про образование диоксида серы в результате сжигания – 1 балл Расчет мольного соотношения кислорода и диоксида серы – 1 балл Расчет атомного соотношения серы и кислорода в оксиде <b>A</b> – 2 балла Структурная формула оксида <b>A</b> – 1 балл Структурная формула оксида <b>B</b> – 1 балл Ответ на вопрос о изомерии между оксидами <b>A</b> и <b>B</b> – 1 балл	7 баллов
		Итого 20 баллов

### Решение задачи №5

1. Изменение энтальпии реакции 2 может быть рассчитана только следующей комбинацией уравнений:

- в реакции 2 хлорид бора находится в реагентах, а значит реакцию 1 необходимо перевернуть, при чем умножив на  $\frac{1}{2}$  для сокращения коэффициентов;
- в реакции 2 борная кислота находится в продуктах, а значит реакцию 3 оставляем в первоначальном виде и умножаем на  $\frac{1}{2}$  для сокращения коэффициентов;
- при таком суммировании реакции 1 и 3 необходимо сократить молекулы водорода и хлора с помощью реакции 4, которую необходимо умножить на 6.

Номер реакции	Химическая реакция	Коэффициент домножения реакции
1	$B_2H_6(газ) + 6Cl_2(газ) \rightarrow 2BCl_3(газ) + 6HCl(газ)$	- 0,5
3	$B_2H_6(газ) + 6H_2O(ж) \rightarrow 2H_3BO_3(тв) + 6H_2(газ)$	0,5
4	$1/2H_2(газ) + 1/2Cl_2(газ) \rightarrow HCl(газ)$	6

Тогда суммарное уравнение соответствует реакции 2:  $BCl_3(газ) + 3H_2O(ж) \rightarrow H_3BO_3(тв) + 3HCl(газ)$ . Для расчета энтальпии этого процесса необходимо энтальпии комбинационных процессов умножить на соответствующие уже определенные коэффициенты и суммировать:

$$\Delta H(2) = -0,5\Delta H_3 + 0,5\Delta H_3 + 6\Delta H_4$$

$$\Delta H(2) = -0,5 \cdot (-1326) + 0,5 \cdot (-493,4) + 6 \cdot (-92,3) = -137,5 \text{ кДж/моль}$$

2. Тепловой эффект численно равен изменению энтальпии процесса, но с обратным знаком:  $\Delta Q = -\Delta H$ . Тогда при сгорании 0,5 моль водорода выделяется 92,3 кДж теплоты.

Тепловой эффект прямо пропорционален количеству вещества: во сколько раз больше вещества вступает в реакцию или образуется, во столько же раз больше теплоты выделяется в ходе этого процесса.

По условию задачи в реакции участвует 1 г водорода, что соответствует 0,5 моль, как и указано в уравнении реакции. Значит тепловой эффект будет равен **92,3 кДж**.

3. Гидролиз – взаимодействие некоторого вещества с водой. В условии задачи реакции 2 и 3 – взаимодействия с водой.

### Система оценивания:

1	Подбор коэффициентов домножения для комбинации реакций – 6 баллов Расчет изменения энтальпии реакции 2 – 4 балла	10 баллов
2	Указание связи между тепловым эффектом и изменением энтальпии реакции – 3 балл Расчет теплового эффекта при взаимодействии 1 г водорода – 3 балл	6 баллов
3	Обоснованное нахождение процессов гидролиза в условии – 4 балла	4 балла
		Итого 20 баллов

## 11 класс

### Решение задачи №1

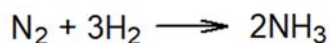
1. По массовым процентам  $Z$  в трех неизвестных соединениях  $X_2Y_2Z_2$ ,  $XYZ_2$  (соединение **H**) и  $X_4Y_2Z_4$ , составим систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} w(Z) = \frac{2A_r(Z)}{2A_r(X) + 2A_r(Y) + 2A_r(Z)} = 0,5161 \\ w(Z) = \frac{2A_r(Z)}{A_r(X) + A_r(Y) + 2A_r(Z)} = 0,6809 \\ w(Z) = \frac{4A_r(Z)}{4A_r(X) + 2A_r(Y) + 4A_r(Z)} = 0,6667 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A_r(Z) = 16,26A_r(X) \\ A_r(Y) = 14,24A_r(X) \\ A_r(Z) = 1,142A_r(Y) \end{cases}$$

Под выраженные соотношения и брутто-формулы неизвестных соединений подходят исключительно **X** – водород, **Y** – азот, **Z** – кислород. Тогда формулы веществ:  $H_2N_2O_2$  – гипозотистая кислота,  $HNO_2$  – азотистая кислота (соединение **H**) и  $H_4N_2O_4$  – нитрокислотная кислота.

2. По расшифрованным формулам в пункте №1 очевидно, что цепочка превращений связана с соединениями азота.

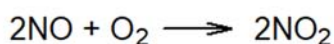
По использованию катализаторов и высоких температур можно сказать, что соединение **A** – азот  $N_2$ , тогда в реакции окисления кислородом образуется оксид азота (II)  $NO$  (соединение **B**), а в реакции с водородом образуется аммиак  $NH_3$  (соединение **E**). Уравнения реакций:



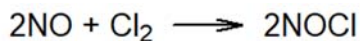
Аммиак получен при помощи гидролиза в водной среде соединения **F**, которое образуется при взаимодействии гидроксида лития и азота, что говорит об образовании нитрида лития  $Li_3N$  (соединение **F**):



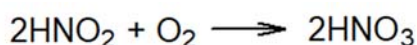
Окисление оксида азота (II) приводит к образованию диоксида азота или «бурого газа»  $NO_2$  (соединение **C**), который при понижении температуры димеризуется с образованием  $N_2O_4$  (соединение **D**):



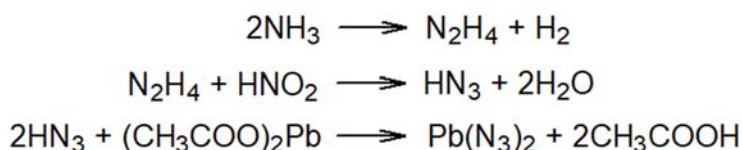
Взаимодействие оксида азота (II) с хлором приводит к образованию соединения **G**, которое в водной среде при пониженной температуре гидролизуется до азотистой кислоты  $HNO_2$  (соединение **H**). Значит **G** – хлорид нитрозила  $NOCl$ :



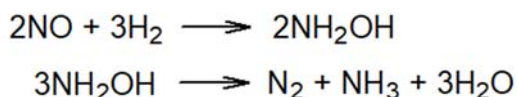
Окисление азотистой кислоты кислородом воздуха приводит к образованию азотной кислоты  $HNO_3$  (соединение **J**). Обе эти кислоты при взаимодействии с концентрированным пероксидом водорода при низкой температуре окисляются до пероксикислот:  $HOONO$  – пероксиазотистая кислота (соединение **I**),  $HOONO_2$  – пероксиазотная кислота (соединение **K**). Реакции образования азотной и пероксикислот:



Из аммиака при воздействии ультрафиолета в отсутствие воздуха образуется соединение **L**, которое в дальнейшем приводит к соединению **N**, содержащему свинец в составе и проявляющему детонационные свойства. Тогда если соединение **N** – азид свинца  $Pb(N_3)_2$ , известный детонатор, то соединение **M** обязано быть азидоводородной кислотой  $HN_3$ , а соединение **L** – гидразин  $N_2H_4$ , из которого по реакции азотистой кислотой получают азидоводородную кислоту в лабораторных условиях:



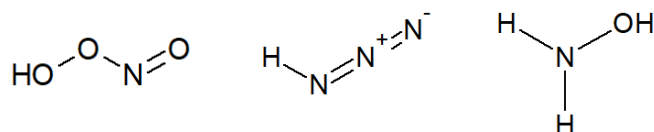
При частичном восстановлении водородом оксида азота (II) образуется гидроксилламин  $NH_2OH$  (соединение **O**), обладающий и кислотными, и основными свойствами. Гидроксилламин же при нагревании выше температуры кипения воды неустойчив и разлагается с образованием азота, аммиака и воды:



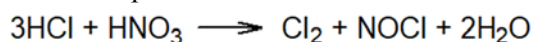
Все используемые вещества в цепочке превращений:

<b>A</b>	$N_2$	<b>D</b>	$N_2O_4$	<b>G</b>	$NOCl$	<b>J</b>	$HNO_3$	<b>M</b>	$HN_3$
<b>B</b>	$NO$	<b>E</b>	$NH_3$	<b>H</b>	$HNO_2$	<b>K</b>	$HOONO_2$	<b>N</b>	$Pb(N_3)_2$
<b>C</b>	$NO_2$	<b>F</b>	$Li_3N$	<b>I</b>	$HOONO$	<b>L</b>	$N_2H_4$	<b>O</b>	$NH_2OH$

3. Структурные формулы  $HOONO_2$ ,  $HN_3$  и  $NH_2OH$ :



4. Хлорид нитрозила –  $NOCl$  – образуется как реакционная частица в смеси соляной и азотной концентрированных кислот. «Царская водка» - смесь концентрированных соляной и азотной кислот, взятых в объемном отношении 3:1. Процесс, за счет чего эта смесь обладает сильными окислительными свойствами, описывается уравнением реакции:



5. Вещество **N** – азид свинца  $Pb(N_3)_2$  применялся в качестве детонатора (при разложении выделяется газообразный азот).

**Система оценивания:**

1	Составление системы уравнений, исходя из понятия массовой доли – 1 балл Установление элементов <b>X</b> , <b>Y</b> и <b>Z</b> - 1 балл	2 балла
2	Установление брутто-формул <b>A</b> , <b>B</b> , <b>C</b> и <b>E</b> по 0,25 балла, в сумме – 1 балл Установление брутто-формул <b>D</b> , <b>F-O</b> по 0,5 балла, в сумме – 5,5 баллов Реакции получения соединения <b>B</b> , <b>C</b> , <b>E</b> и <b>F</b> – по 0,25 балла, в сумме – 1 балл Остальные 12 реакций по 0,625 балла, в сумме 7,5 баллов	15 баллов
3	Структурные формулы <b>I</b> , <b>M</b> и <b>O</b> в сумме 1 балл	1 балл
4	Уравнение реакции образования соединения <b>G</b> и предложение состава смеси кислот – 1 балл Тривиальное название смеси кислот – 0,5 балл	1,5 балла
5	Применение вещества <b>N</b> – 0,5 балла	0,5 балла
<b>Итого 20 баллов</b>		

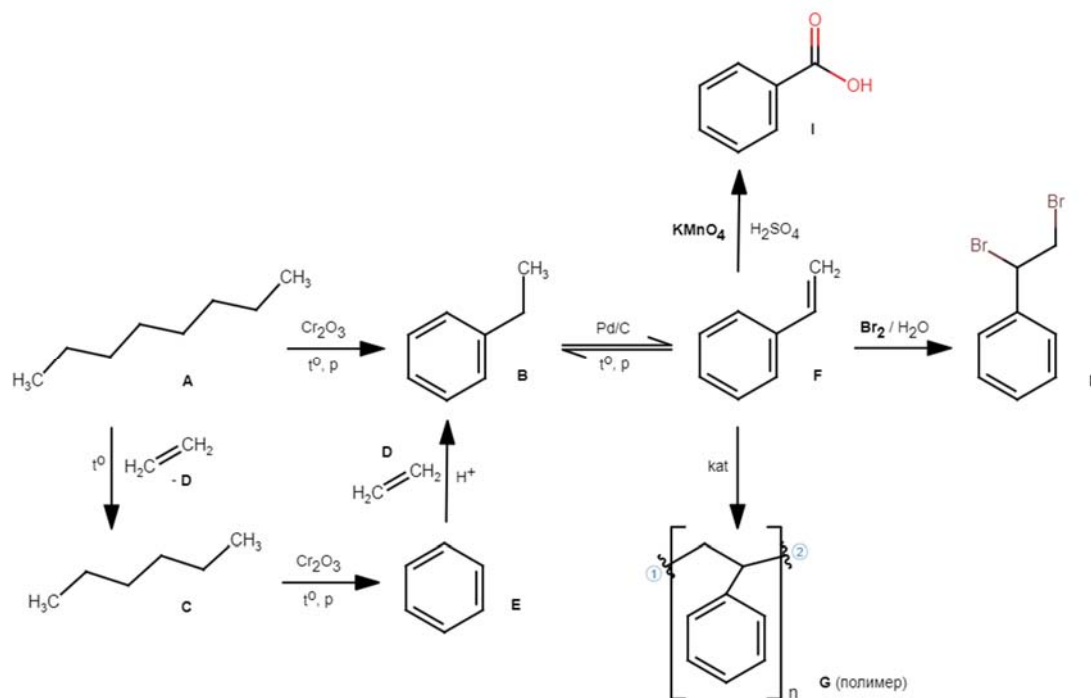
## Решение задачи №2

1. Из условия ясно, что соединение **A** – алкан, а соединение **B** – соединение, принадлежащее к классу ароматических углеводородов. Также видно, что соединение **F** содержит ароматическое кольцо и кратную связь. По описанию из условия можно предположить, что **F** – это стирол. Подтвердим догадку расчетом:

$M(C_8H_8) = 104 \text{ г/моль}$ ,  $M(C_8H_8Br_2) = 264 \text{ г/моль}$ ; Отношение молярных масс составляет  $2,54 \approx 2,5$ . Следовательно, **F** – стирол.

Реакция	Комментарии
<b>A</b> → <b>B</b>	Реакция дегидроциклизации октана приводит к образованию этилбензола с примесью изомеров (орто-ксилол).
<b>A</b> → <b>C</b>	Это термический крекинг, в результате крекинга часто из-за β-распада происходит выделение этилена, вещество <b>D</b> – это этилен.
<b>C</b> → <b>E</b>	Реакция дегидроциклизации гексана протекает с образованием бензола
<b>E</b> → <b>B</b>	По механизму электрофильного замещения можно внедрить в ароматическую систему низкомолекулярные соединения с кратными связями, чаще этот процесс применяется для синтеза кумола.
<b>B</b> → <b>F</b>	Реакция дегидрирования этилбензола – промышленный процесс получения стирола
<b>F</b> → <b>G</b>	Реакция полимеризации стирола приводит к образованию полистирола
<b>F</b> → <b>H</b>	Окисление стирола в жестких условиях дает бензойную кислоту
<b>F</b> → <b>I</b>	При взаимодействии стирола с бромной водой происходит присоединение брома

Расшифрованная схема превращений:



2. Превращение **A** в **C** – крекинг; **B** в **F** – дегидрирование; **F** в **B** – гидрирование; **E** в **B** – алкилирование по Фриделю-Крафтсу.

### Система оценивания:

1	Расчет: Обоснование, что <b>F</b> - стирол (по массе) – 1 балл.	1 балл
2	Правильно расшифрованные структуры A-I, кроме D (8 структур) – по 2 балла за структуру, за D – 1 балл	17 баллов
3	Верно указано название реакции <b>A</b> → <b>C</b> , <b>B</b> в <b>F</b> , <b>F</b> в <b>B</b> , <b>E</b> в <b>B</b> – по 0,5 баллов за название	2 балла
Итого 20 баллов		

### Решение задачи №3

1. Без учета результатов титрования про кислоту X известно только то, что она может находиться в безводном виде в жидком агрегатном состоянии при стандартных условиях (25°C и 1 атм). Соляная кислота HCl не подходит под условие, так как хлороводород при стандартных условиях является газом. Азотная кислота HNO<sub>3</sub> и серная кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> изготавливаются в 96-98% массовом содержании в растворе, но можно повысить их концентрацию до 100%. Ортофосфорная кислота H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в 100% виде представляет собой бесцветные кристаллы. Таким образом, подходят только серная и азотная кислоты.
2. Для установления формулы кислоты X воспользуемся данными титриметрического анализа с учетом того, что кислота может быть одно-, двух- или трех основной (более высокая основность будет рассмотрена, если ни одно из предположений не окажется верным). Проведем расчет молярной концентрации гидроксида натрия:

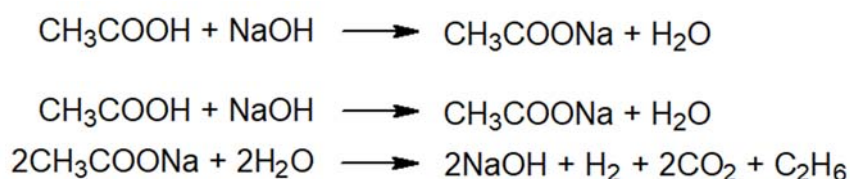
$$V(\text{NaOH}) = 100 \text{ мл} = 0,1 \text{ л}$$
$$n(\text{NaOH}) = \frac{2,37}{40} = 0,05925 \text{ моль}$$
$$C_M = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,05925}{0,1} = 0,5925 \text{ М}$$

Тогда количество и молярная концентрация кислоты X в 0,13 л будет зависеть от основности: количество одноосновной кислоты будет совпадать с количеством гидроксида натрия, затраченного на титрование, количество двухосновной кислоты будет в два раза меньше, а количество трехосновной кислоты – в три раза, соответственно. Тогда, исходя из равенства прореагировавших количеств гидроксида натрия и кислоты, можно вычислить молярную массу кислоты с учетом ее основности (N):

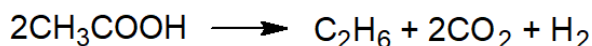
$$n(\text{к-ты}) = n(\text{NaOH}) \cdot \frac{1}{N} \rightarrow \frac{m(\text{к-ты})}{M(\text{к-ты})} = \frac{C(\text{NaOH})V(\text{NaOH})}{N}$$
$$M(\text{к-ты}) = \frac{m(\text{к-ты})}{C(\text{NaOH})V(\text{NaOH})} \cdot N$$

Основность кислоты (N)	Молярная масса кислоты M, г/моль
1	59,6
2	119,2
3	178,8

Часто в лаборатории можно встретить 100% уксусную кислоту CH<sub>3</sub>COOH, которая так же называется «ледяная». Ее молярная масса 60 г/моль, что подходит под расчетные данные и предположенную основность. Уравнение реакции уксусной кислоты и гидроксида натрия:



3. Конец титрования в случае уксусной кислоты и гидроксида натрия будет определяться по фенолфталеину, так как в процессе титрования в колбе изначально кислая среда (из-за наличия только уксусной кислоты), а с появлением ацетата натрия pH среды увеличивается и в конце, когда в колбе находится только ацетат натрия, среда раствора становится щелочной (pH = 10 – 11). Закончить титрование нужно именно в это диапазоне, а значит метиловый оранжевый не подойдет (используя его, кислоты не будет дотитрована, так как окраска индикатора изменится на половине пути титрования), только фенолфталеин точно покажет момент окончания реакции.
4. При электролизе раствора уксусной кислоты на катоде будет выделяться водород, а на аноде – бутан, и углекислый газ (как в электролизе по Кольбе):



**Система оценивания:**

1	Верный выбор двух кислот, которые могли находиться в банке по 2 балла, в сумме 4 балла	4 балла
2	Определение концентрации раствора гидроксида натрия – 3 балла Учет основности кислоты в расчете молярной массы – 3 балла Определение формулы кислоты X – 3 балла	9 баллов
3	Указание на изменение pH раствора в процессе титрования – 1 балл Выбор фенолфталеина в качестве индикатора – 3 балла	4 балла
4	Уравнение электролиза раствора кислоты X – 3 балла	3 балла
		Итого 20 баллов

**Решение задачи №4**

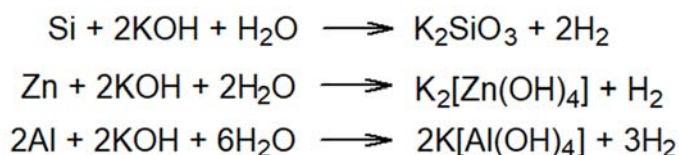
9. Все три твердых простых вещества А, В и С растворяются без остатка в растворе гидроксида калия (едкий кали) с выделением газа. По плотности газа при н.у. определим его формулу:

$$\rho = \frac{M}{V_m} \rightarrow M = 0,0893 \cdot 22,4 = 2 \text{ г/моль}$$

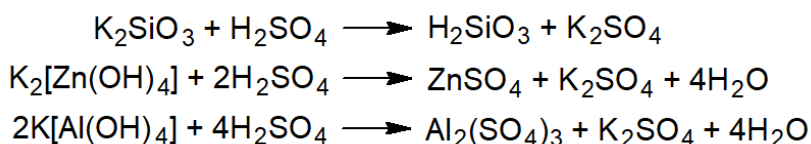
Такая молярная масса может соответствовать только молекуле водорода, то есть выделяющийся газ – H<sub>2</sub>.

Из школьного курса химии известно, что при растворении в щелочи алюминия, цинка или кремния будет выделяться водород, а значит эти простые вещества здесь и зашифрованы. Соотнесем буквенные обозначения и простые вещества, исходя из описания опытов 1, 2 и 3.

Из опыта 1 известно, что одно из простых веществ при растворении в щелочи, а затем при подкислении, образует аморфный осадок, который, предположительно, отщепляет воду при нагревании с образованием твердого остатка. Такое описание говорит только о том, что **вещество А – кремний**, тогда уравнения реакций 1-3:



При добавлении избытка серной кислоты в осадок будет выпадать кремниевая кислота, а гидроксокомплексы алюминия и цинка образуют соответствующие средние сульфаты (реакции 4-6):

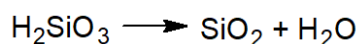


Из опыта 2 известно, что в избытке аммиака полученный осадок уменьшается в объеме, что говорит о содержании гидроксида цинка и алюминия в нем, так как гидроксид цинка растворяется в избытке аммиака, а гидроксид алюминия – нет.

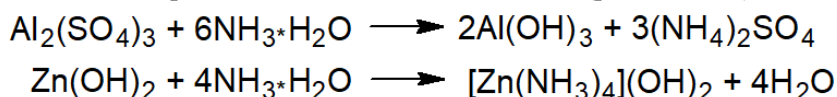
Из опыта 2 и 3 известно, что вещество С способно выделяться на катоде при электролизе, а В – нет. Соответственно, **вещество В – алюминий**, а **вещество С – цинк**.

10. Реакции 1-6 уже написаны в пункте 1.

Прокаливание кремниевой кислоты проходит с отщеплением воды и образованием диоксида кремния (реакция 7):

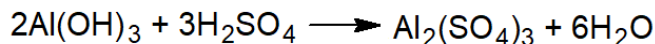


Тогда превращения, происходящие при добавлении избытка аммиака (реакции 8-9):





Процесс растворения гидроксида алюминия в эквивалентном количестве серной кислоты (реакция 10):



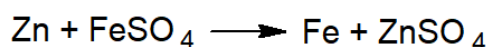
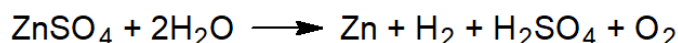
При электролизе раствора сульфата алюминия на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. Ни катион  $\text{Al}^{3+}$ , ни анион  $\text{SO}_4^{2-}$  не разряжаются на электродах, а значит проходит электролиз воды, а не соли (реакция 11):



При нейтрализации серной кислотой фильтрата из опыта 2, содержащего аммиачный комплекс цинка, образуется сульфат цинка (реакция 12):



Электролиз раствора сульфата цинка и взаимодействие полученного цинка (вещества С) с сульфатом железа (II) описываются реакциями 13 и 14:



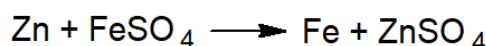
11. Количество кремния можно найти из массы диоксида кремния, полученного при прокаливании кремниевой кислоты:

$$m(\text{SiO}_2) = 1,00 \text{ г} \rightarrow n(\text{Si}) = n(\text{SiO}_2) = \frac{1,00}{60} = 0,0167 \text{ моль}$$

Расчет массы кремния:

$$m(\text{Si}) = 0,0167 \cdot 28 = 0,468 \text{ г}$$

Массу цинка определяем по реакции 14, учитывая, что образуется 4,60 г железа:



$$n(\text{Zn}) = n(\text{Fe}) = \frac{4,60}{56} = 0,082 \text{ моль} \rightarrow m(\text{Zn}) = 0,082 \cdot 65 = 5,33 \text{ г}$$

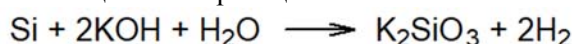
Масса алюминия рассчитывается их общей массы всех трех простых веществ:

$$m(\text{Al}) = 7 - 5,33 - 0,468 = 1,202 \text{ г}$$

Массовые доли простых веществ в начальной смеси приведены в таблице:

Обозначение веществ	Элементы	Масса, г	Массовый процент, %
A	Si	0,468	6,69
B	Al	1,202	17,17
C	Zn	5,33	76,14

12. Общий объем водорода при нормальных условиях, выделившийся в реакциях 1-3, рассчитаем через количества каждого простого вещества по реакциям:



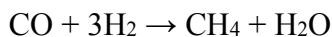
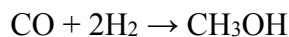
$$n(\text{H}_2) = 2n(\text{Si}) + n(\text{Zn}) + 1,5n(\text{Al}) = 0,182 \text{ моль} \rightarrow V(\text{H}_2) = 0,182 \cdot 22,4 = 4,08 \text{ л}$$

**Система оценивания:**

1	Установление элементов А, В и С по 2 балла каждый, в сумме 6 баллов	6 баллов
2	14 уравнений реакций, описанных в трех опытах по 0,5 баллов, в сумме 7 баллов	7 баллов
3	Расчет количества и масс вещества А, В и С по 1,5 балла, в сумме 4,5 балла Расчет массовых процентов А, В и С в начальной смеси – 0,5 балла	5 баллов
4	Расчет количества (в моль) выделившегося водорода в реакциях 1-3 – 1 балл Расчет объема водорода при н.у. – 1 балл	2 балла
Итого 20 баллов		

**Решение задачи №5**

1. Уравнения двух процессов:



2. Запишем выражение для константы равновесия первого процесса:

$$K_{c_1} = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^2} = \frac{n(\text{CH}_3\text{OH}) * V^2}{n(\text{CO})n(\text{H}_2)^2}$$

Также, используя данные из условия, при помощи уравнения состояния идеального газа можно рассчитать количества вещества каждого из реагентов:

$$pV = nRT$$

$$n(\text{смеси}) = \frac{PV}{RT}$$

$$n(\text{смеси}) = \frac{2948558 \text{ Па} * 0,01 \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}} * 500 \text{ К}} = 7 \text{ моль.}$$

Так как объем постоянный, то изначальные количества вещества CO и H<sub>2</sub> равны соответственно 2 и 5 моль.

Для нахождения равновесного состава смеси можно воспользоваться схемой «было-прореагировало-стало»:

Реагенты	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH
Было	2	5	0
Прореагировало	X	2X	X
Стало	2 – X	5 – 2X	X

Составим уравнение относительно X, используя значение K<sub>c1</sub>:

$$K_{c_1}/V^2 = \frac{x}{(2-x)(5-2x)^2} = 6,09 * 10^{-3} / 10^2 = 6,09 * 10^{-5};$$

$$16420,36x = (2 - x)(5 - 2x)^2$$

$$4x^3 - 28x^2 + 16485,36x - 50 = 0$$

Воспользуемся тем, что членом 4x<sup>3</sup> можно пренебречь (так как X – небольшое число, что видно по множителю при X), тогда X = 0,003 (второй корень не имеет смысла). Теперь можно рассчитать равновесный состав смеси после первой реакции: n(CH<sub>3</sub>OH) = 0,003 моль, n(CO) = 1,997 моль, n(H<sub>2</sub>) = 4,994 моль.

В мольных долях состав первой смеси:  $\chi(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,043\%$ ,  $\chi(\text{CO}) = 28,55\%$ ,  $\chi(\text{H}_2) = 71,40\%$ .

3. Если в реакционной смеси находится 1 моль инертного газа, тогда общее количество вещества становится равным 8 моль. Тогда в равновесии в смеси находится (8 – 2X) моль газов:

Реагенты	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH	Ar
Было	2	5	0	1
Прореагировало	X	2X	X	0
Стало	2 – X	5 – 2X	X	1

При этом из-за того, что объем остается постоянным введение инертного газа не повлияет на значение константы равновесия, поэтому  $X = 0,003$ . Тогда можно найти мольные доли:

$$\chi(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{X}{8 - 2X} * 100 = \frac{0,003}{8 - 2 * 0,003} * 100 = 0,038 \%$$

$$\chi(\text{CO}) = \frac{2 - X}{8 - 2X} * 100 = \frac{2 - 0,003}{8 - 2 * 0,003} * 100 = 24,98 \%$$

$$\chi(\text{H}_2) = \frac{5 - 2X}{8 - 2X} * 100 = \frac{5 - 2 * 0,003}{8 - 2 * 0,003} * 100 = 62,47 \%$$

Таким образом, добавление инертного газа к системе не изменяет константу равновесия, но уменьшает мольные и объемные доли всех компонентов в системе в состоянии равновесия за счет разбавления. На выход продукта добавление аргона не влияет, так как состав равновесной смеси описывается константой равновесия, в которой не учитывается содержание инертного газа.

4. Для расчетов по второму уравнению легче использовать константу равновесия, выраженную через давления:

$$K_{p_2} = \frac{p(\text{CH}_4)p(\text{H}_2\text{O})}{p(\text{CO})p(\text{H}_2)^3}$$

Также сразу можно вычислить конечное давление смеси:  $p_{(к)} = 29,1 \text{ атм} / 1,36 = 21,4 \text{ атм}$ .

Для нахождения равновесного состава второй смеси можно также использовать схему «было-прореагировало-стало», так как из-за того, что реакция протекает в одном сосуде, объем не изменяется и отношение давлений такое же как отношение количеств веществ (2 : 5):

Реагенты	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Было	8,3	20,8	0	0
Прореагировало	X	3X	X	X
Стало	8,3 - X	20,8 - 3X	X	X

Составим уравнение относительно X, зная, что конечное давление 21,4 атм равно сумме давлений каждого компонента, входящего в состав конечной смеси:

$$(8,3 - x) + (20,8 - 3x) + x + x = 21,4$$

$$x = 3,85 \text{ атм}$$

Подставим известные парциальные давления каждого компонента равновесной смеси в константу равновесия и рассчитаем ее значение:

$$K_{p_2} = \frac{3,85 * 3,85}{(8,3 - 3,85)(20,8 - 3 * 3,85)^3} = 4,2 * 10^{-3}$$

Так как нам известна температура, то мы можем рассчитать еще концентрационную константу равновесия, используя следующую формулу:

$$K_{p_2} = K_{c_2} * (RT)^{-2} \quad K_{c_2} = 7,3 * 10^5$$

#### Система оценивания:

1	По 1 баллу за каждое уравнение реакции с коэффициентами	2 балла
2	Расчет начальных количеств веществ реагентов – 1 балл; Запись выражения для концентрационной константы равновесия первой реакции – 1,5 балла;	7,5 баллов

	Составление уравнения через константу равновесия – 2 балла; Решение уравнения и нахождение мольных долей – 3 балла	
3	За рассуждение о независимости константы равновесия от количества вещества добавленного инертного газа и верный ответ про выход реакции – 5 баллов;	5 баллов
4	Запись выражения для константы равновесия второй реакции – 1,5 балла; Составление уравнения для нахождения константы равновесия второй реакции – 2 балла; Решение уравнения и правильный численный ответ – 2 балла	5,5 баллов
		Итого 20 баллов