

LXXVIII Московская олимпиада школьников по химии
Заключительный этап теоретический тур 20.02.2022 г.
9 класс

Для решения предлагается выбрать 5 задач из 6.

Ответы во всех задачах необходимо подтверждать расчетами и рассуждениями.

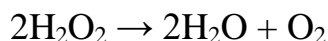
Задача №1

Темные с фиолетово-красным оттенком кристаллы **А** массой 57,54 г нагрели (*реакция 1*), при этом потеря массы составила 21,00 г. При добавлении разбавленного раствора гидроксида калия к раствору, содержащему такую же массу **А**, образуется вещество **Б**, и выделяется бесцветный газ **В** (*реакция 2*), окраска раствора при этом не меняется. Подкисленные серной кислотой растворы веществ **А** и **Б** обесцвечиваются пероксидом водорода, что сопровождается выделением газа **Г** (*реакции 3 и 4*). Из продуктов термического разложения вещества **Б** (*реакция 5*), полученного из 57,54 г **А**, выделили нерастворимое в воде вещество **Д** массой 18,27 г и внесли его на продолжительное время в 1 л 4 % раствора пероксида водорода (плотность 1,013 г/см³). Масса первоначально полученной при этом смеси изменилась на 19,04 г (*реакция 6*). Если внести такую же массу вещества **Д** в 5 л 4 % раствора пероксида водорода, то изменение массы смеси составит 95,2 г.

Определите вещества **А-Д**, напишите уравнения реакций № 1-6, приведите необходимые расчеты и рассуждения. Атомные массы элементов необходимо округлять до целых чисел.

Решение:

- 1) Так как масса смеси, полученной при смешении раствора пероксида водорода и нерастворившегося вещества, меняется, то, видимо, выделяется газ, и масса этой смеси уменьшается. Газ, скорее всего, является кислородом. Проверим это. Разложение пероксида водорода протекает в соответствии с реакцией:



Количество вещества кислорода, выделяющегося в первом случае, равно:

$$n(\text{O}_2) = 19,04 \text{ г} : 32 \text{ г/моль} = 0,595 \text{ моль}$$

Масса и количество вещества пероксида водорода, содержащегося в 1 л растворе:

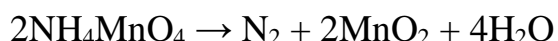
$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 1000 \text{ мл} \cdot 1,013 \text{ г/мл} \cdot 0,04 \approx 40,52 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = 40,52 \text{ г} : 34 \text{ г/моль} \approx 1,19 \text{ моль}$$

Количество вещества кислорода в два раза меньше количества пероксида водорода, следовательно, наша догадка, что происходит разложение пероксида водорода с выделением кислорода верна. Заметим также, что перекись разложилась полностью.

Массы выделяющегося газа отличаются в 5 раз ($95,2 : 19,04 = 5 : 1$) для двух разных объёмов раствора перекиси, также отличающихся в 5 раз. Это наводит на мысль о том, что количество кислорода не зависит от количества внесённого нерастворимого вещества, т.е. оно является катализатором.

- 2) Так как пероксид водорода разлагается в присутствии в том числе диоксида марганца, и с учетом других данных (темный цвет **A**, выделение газа **Г** при взаимодействии пероксида водорода с подкисленными растворами **A** и **Б**, разложение **A** и **Б** при нагревании), то можно сделать вывод, что в задаче идёт речь о веществах, содержащих перманганат-анион. Тогда газ **Г** – это кислород.
- 3) Если выделяется бесцветный газ **В** при добавлении к **A** едкого кали, то разумно предположить, что этим газом является аммиак, тогда **A** – это перманганат аммония NH_4MnO_4 . Проверим это с помощью расчета. При нагревании перманганата аммония образуются азот, диоксид марганца и вода:



Количества веществ перманганата аммония и диоксида марганца равны:

$$n(\text{NH}_4\text{MnO}_4) = 57,54 \text{ г} : 137 \text{ г/моль} = 0,42 \text{ моль}$$

$$n(\text{MnO}_2) = n(\text{NH}_4\text{MnO}_4) = 0,42 \text{ моль}$$

Тогда масса диоксида марганца равна:

$$m(\text{MnO}_2) = 0,42 \text{ моль} \cdot 87 \text{ г/моль} = 36,54 \text{ г}$$

Разница масс перманганата аммония и диоксида марганца равна:

$$m(\text{NH}_4\text{MnO}_4) - m(\text{MnO}_2) = 57,54 \text{ г} - 36,54 \text{ г} = 21,00 \text{ г}$$

Это соответствует условию задачи, значит, наше предположение, что **A** – перманганат аммония верно. Тогда **Б** – перманганат калия.

- 4) Реакции, упоминаемые в тексте задачи:

- 1) $2\text{NH}_4\text{MnO}_4 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{MnO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{NH}_4\text{MnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $2\text{NH}_4\text{MnO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 5\text{O}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$
- 4) $2\text{KMnO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{O}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$
- 5) $2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2$
- 6) $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

5) Зашифрованные вещества:

А	Б	В	Г	Д
NH_4MnO_4	KMnO_4	NH_3	O_2	MnO_2

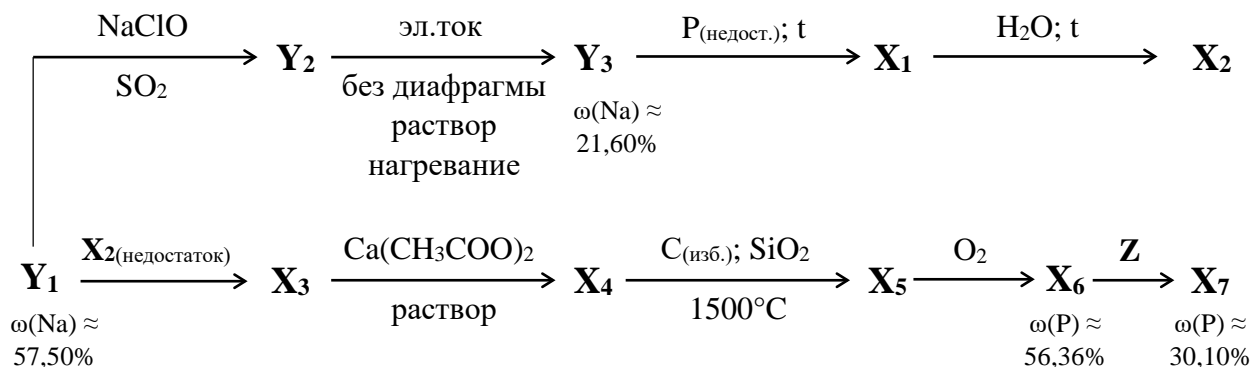
Критерии оценивания:

- догадка о том, что в реакции 6 выделяется кислород – 2 балла
- подтверждающий это расчет – 2 балла
- догадка о катализе – 2 балла
- расчет, подтверждающий, что А – перманганат аммония – 2 балла
- вещества А, Б, В, Г, Д – по 1 баллу, суммарно – 5 баллов
- реакции 1,2,5,6 – по 1,5 балла, суммарно – 6 баллов
- реакции 3,4 – по 0,5 балла, суммарно – 1 балл

Итого за задачу – 20 баллов

Задача №2.

Определите все зашифрованные вещества, напишите их формулы (для записи веществ молекулярного строения необходимо использовать молекулярные формулы), а также напишите уравнения реакций, соответствующих цепочке превращений:



Изобразите структуру симметричной молекулы неустойчивого вещества X_7 . В молекуле X_7 есть шести- и четырехчленные циклы атомов.

Дополнительно известно, что:

1) Вещества $X_1 - X_7$ содержат фосфор.

2) Вещества $Y_1 - Y_3$ содержат натрий.

3) При проведении электролиза без диафрагмы продукты электролиза могут реагировать между собой в растворе.

4) Токсичное вещество Z содержится в небольших количествах в высших слоях атмосферы, имеет большое значение для жизни на Земле.

Атомные массы элементов необходимо округлять до целых чисел, для хлора атомную массу необходимо принять равной 35,5.

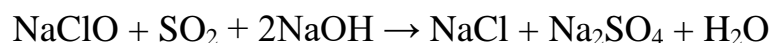
Решение:

1) Начнем с идентификации вещества Y_1 . Пусть в формулярной единице этого вещества содержится один атом натрия, тогда молярная масса Y_1 равна:

$$M(Y_1) = 23 \text{ г/моль} : 0,5750 = 40 \text{ г/моль.}$$

Тогда, возможно, Y_1 – это гидроксид натрия NaOH.

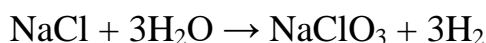
2) Гидроксид натрия создает щелочную среду при протекании превращения $Y_1 \rightarrow Y_2$:



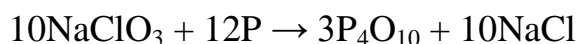
3) Вещество Y_2 – это хлорид натрия, при проведении электролиза водного горячего раствора без диафрагмы образуется хлорат натрия NaClO_3 (Y_3), что можно проверить расчетом массовой доли натрия:

$$\omega(\text{Na}) = 23 : (23 + 35,5 + 48) \cdot 100\% \approx 21,60\%$$

Уравнение реакции превращения $Y_2 \rightarrow Y_3$:



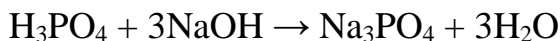
4) С недостатком фосфора хлорат натрия реагирует с образованием оксида фосфора (V):



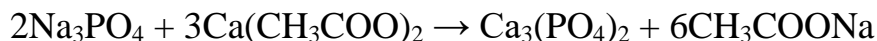
Оксид фосфора (V) – это вещество X_1 , которое реагирует с горячей водой, превращаясь в ортофосфорную кислоту (X_2):



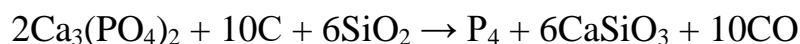
Ортофосфорная кислота реагирует с гидроксидом натрия (Y_1) с образованием ортофосфата натрия Na_3PO_4 (X_3), т.к. кислота берется в недостатке:



Ортофосфат натрия вступает в реакцию ионного обмена с растворимым ацетатом кальция, при этом выпадает осадок ортофосфата кальция (X_4):



Из ортофосфата кальция получают фосфор при взаимодействии с углем и диоксидом кремния:



- 5) При взаимодействии фосфора с кислородом могут образовываться либо оксид фосфора (III), либо смешанные оксиды $P_4O_7 - P_4O_9$, либо оксид фосфора (V). Найдем соотношение атомов фосфора и кислорода в веществе X_6 . Пусть масса X_6 равна 100 г, тогда:

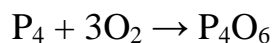
$$m(P) = 100 \text{ г} \cdot 0,5636 = 56,36 \text{ г}$$

$$m(O) = 100 \text{ г} - 56,36 \text{ г} = 43,64 \text{ г}$$

$$n(P) = 56,36 \text{ г} : 31 \text{ г/моль} \approx 1,82 \text{ моль}$$

$$n(O) = 43,64 \text{ г} : 16 \text{ г/моль} \approx 2,73 \text{ моль}$$

Соотношение количества атомов фосфора и кислорода равно $1,82 : 2,73 = 1 : 1,5 = 4 : 6$, следовательно, X_6 – оксид фосфора (III) P_4O_6 . Он образуется в ходе реакции:



- 6) Проведем аналогичный расчет для нахождения формулы вещества X_7 . Пусть масса X_7 равна 100 г, тогда:

$$m(P) = 100 \text{ г} \cdot 0,3010 = 30,10 \text{ г}$$

$$m(O) = 100 \text{ г} - 30,10 \text{ г} = 69,90 \text{ г}$$

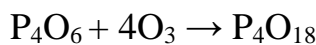
$$n(P) = 30,10 \text{ г} : 31 \text{ г/моль} \approx 0,97 \text{ моль}$$

$$n(O) = 69,90 \text{ г} : 16 \text{ г/моль} \approx 4,37 \text{ моль}$$

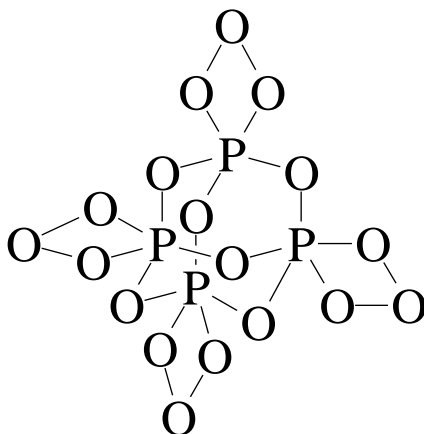
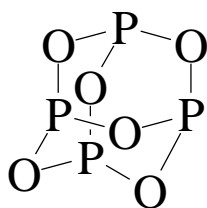
Соотношение количества атомов фосфора и кислорода равно $0,97 : 4,37 = 1 : 4,5 = 2 : 9 = 4 : 18$, следовательно, $X_7 - P_4O_{18}$.

- 7) Вещество P_4O_{18} является неустойчивым, значит, оно должно образовываться при воздействии на P_4O_6 активного вещества (Z). При этом в ходе

реакции количество атомов кислорода приходящихся на один атом фосфора сильно увеличивается. Также про **Z** известно, что оно токсично, держится в небольших количествах в атмосфере и имеет большую роль для жизни на Земле. Все это говорит о том, что веществом **Z** является озон O_3 . Реакция образования P_4O_{18} :



- 8) Молекула P_4O_{18} является неустойчивой, значит в ней есть какой-то неустойчивый фрагмент, например, несколько кислородов, соединенных между собой. Вещество P_4O_{18} образуется из P_4O_6 , в молекуле которого у каждого атома фосфора есть возможность образовать ещё две связи. Структуры P_4O_6 (для сравнения) и P_4O_{18} приведены ниже:

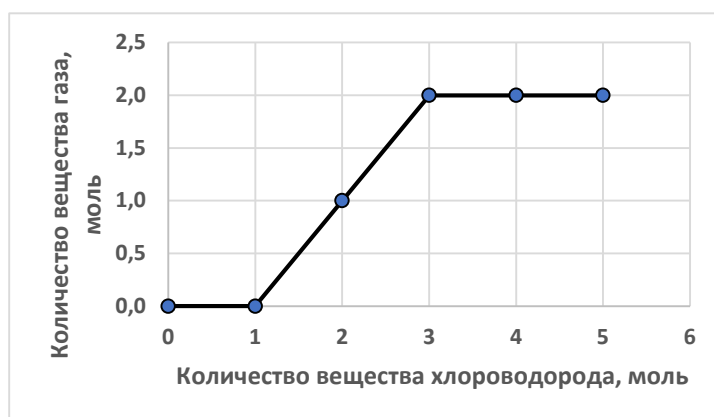
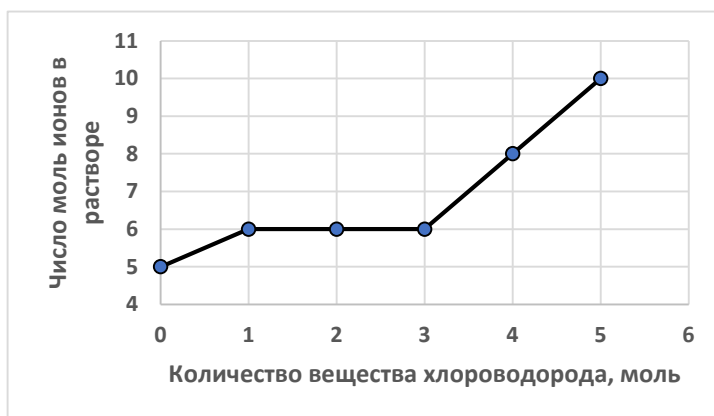


Критерии оценивания:

- вывод формулы $Y_1 (NaOH)$ – 1 балл, без вывода – 0 баллов
- вывод формулы $Y_3 (NaClO_3)$ – 1 балл, без вывода – 0 баллов
- реакции (9 штук) – по 1 баллу, суммарно 9 баллов
- вывод формулы $X_6 (P_4O_6)$ – 0,5 балл, без вывода – 0 баллов
- вывод формулы $X_7 (P_4O_{18})$ – 0,5 балл, без вывода – 0 баллов
- формулы веществ $X_1 (P_4O_{10})$, $X_2 (H_3PO_4)$, $X_3 (Na_3PO_4)$, $X_4 (Ca_3(PO_4)_2)$, $X_5 (P_4)$
- $Y_2 (NaCl)$, $Z (O_3)$ – по 1 баллу, суммарно – 7 баллов
- структура P_4O_{18} – 1 балл
- если участник использует простейшие формулы для веществ молекулярного строения, а не молекулярные, то следует ставить ему за это половину баллов. За реакции с использованием простейших формул в этом случае не снижать.

Задача №3.

Навеску вещества **A** (один моль) растворили в воде. Через полученный раствор постепенно пропускали газообразный хлороводород. При этом из раствора интенсивно выделялся бесцветный газ **Г** тяжелее воздуха. Графики зависимости количеств веществ выделившегося газа и общего числа ионов в растворе от количества вещества пропущенного в раствор хлороводорода приведены. Дополнительно известно, что при добавлении к такому же объёму раствора вещества **A** небольшого избытка хлорида кальция выпадает 100 г белого безводного осадка **Б**, растворимого в сильных кислотах. Если же добавить небольшой избыток известковой воды, то выпадет 200 г такого же осадка. Раствор вещества **A** окрашивает пламя в желтый цвет и может быть использован как моющее средство, а растворенная навеска вещества **A** имеет массу 226 г. В состав вещества **A** входят три типа ионов.



Раствор вещества **A** окрашивает пламя в желтый цвет и может быть использован как моющее средство, а растворенная навеска вещества **A** имеет массу 226 г. В состав вещества **A** входят три типа ионов.

- 1) Определите формулы веществ **A**, **Б**, **Г**, ответ обоснуйте.
- 2) Объясните ход графиков при добавлении 3 – 5 моль хлороводорода.
- 3) Напишите уравнения протекающих реакций.
- 4) Как называется минерал, основным компонентом которого является вещество **A**?

Атомные массы элементов необходимо округлять до целых чисел.

Решение:

- 1) Так как раствор вещества **A** окрашивает пламя в желтый цвет, то **A** содержит натрий.
- 2) Интенсивное выделение газа при добавлении хлороводорода (сильной кислоты) может навести на мысль о том, что в состав **A** входят либо карбонат-анионы, либо гидрокарбонат-анионы. Об этом же свидетельствует выпадение осадка, способного растворять в кислотах, при добавлении растворов, содержащих катионы кальция. Тогда **Б** – карбонат кальция CaCO_3 , а **Г** – углекислый газ CO_2 . Также в пользу содержания карбонат-

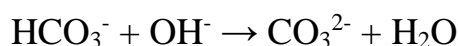
или гидрокарбонат-анионов говорит упоминание о моющем действии раствора вещества А.

- 3) Чтобы сделать вывод о составе А рассмотрим процессы взаимодействия карбоната натрия и гидрокарбоната натрия с соляной кислотой, когда каждого из реагентов берется по 1 моль, причем будем анализировать полные ионные виды, т.к. один из графиков показывает общее количество ионов:

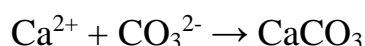
Реакция	Изменение числа ионов в растворе при добавлении HCl	Количество вещества выделяющегося CO ₂
$\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow$ $\rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	0 моль	1 моль
$2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow$ $\rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$	+1 моль	0 моль

Изменение числа моль ионов в растворе рассматривается относительно исходного раствора, т.е. без учета ионов, образующихся при диссоциации хлороводорода!

Если при добавлении первого моль хлороводорода газ не выделяется, а количество ионов увеличивается на 1 моль, то, значит в растворе, вещества А содержится 1 моль карбонат-анионов CO₃²⁻, которые превращаются в 1 моль гидрокарбонат-анионов HCO₃⁻. Если бы больше гидрокарбонат-анионов HCO₃⁻ в растворе не было, то углекислого газа выделялось бы тоже 1 моль. Но, т.к. его выделяется 2 моль, то можно сделать вывод, что изначально в растворе А кроме 1 моль карбонат-анионов CO₃²⁻ содержится 1 моль гидрокарбонат-анионов HCO₃⁻. Тогда на 1 моль карбонат-анионов CO₃²⁻ и на 1 моль гидрокарбонат-анионов HCO₃⁻ содержится 3 моль катионов натрия, чтобы раствор был электронейтральным, и в нем содержалось суммарно 5 моль ионов (см. первый график). В пользу этой идеи говорят данные о том, что в растворе содержится три типа ионов. Также подтверждает эти выводы массы выпадающего карбона кальция в двух случаях: в первом случае выпадает 1 моль карбоната кальция (100 г), а во втором в два раза больше, т.к. при добавлении известковой воды сначала происходит отрыв катионов водорода от 1 моль гидрокарбонат-анионов:



Это приводит к увеличению количества вещества карбонат-анионов CO₃²⁻ до 2 моль, а, следовательно, и увеличению массы карбоната кальция в два раза (до 200 г):



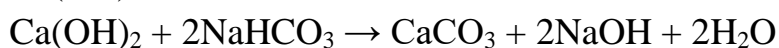
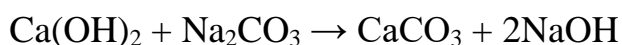
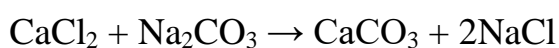
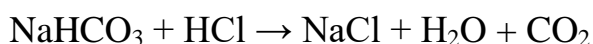
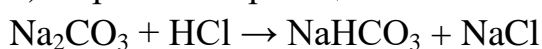
Получается, что в 1 моль вещества **A** содержится 3 моль катионов натрия, 1 моль гидрокарбонат-анионов и 1 моль карбонат-анионов. Возможно, формула вещества **A** это $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3$. Проверим это, рассчитав молярные массы. Молярная масса $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3$ составляет 190 г/моль. Молярную массу **A** можно рассчитать по данным о массе навески и количестве вещества:

$$M(\text{A}) = m(\text{A}) : n(\text{A}) = 226 \text{ г} : 1 \text{ моль} = 226 \text{ г/моль}$$

Несложно заметить, что разница значений молярных масс **A** и $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3$ составляет 36 г/моль, что соответствует двум молекулам воды. Следовательно, вещество **A** имеет формулу $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

4) Ход графиков при добавлении 3-5 моль хлороводорода объясняется следующим образом. Количество ионов увеличивается на 2 моль на 1 моль добавленного хлороводорода, т.к. ионы в растворе образуются только за счет диссоциации хлороводорода. Количество выделившегося углекислого газа не меняется, т.к. при добавлении 3 моль хлороводорода все карбонат- и гидрокарбонат-анионы полностью реагируют с катионами водорода.

5) Уравнения реакций:



6) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ является основным компонентом минерала «трона» или «египетская соль», который встречается в природе в виде кристаллических корок или пластинчатых кристаллов с дефектами.

Критерии оценивания:

- вывод о содержании в веществе **A** катионов натрия – 1 балл
- вывод о наличии карбонат- или гидрокарбонат-анионов – 1 балл
- идентификация **B** и **Г** – по 2 баллу – суммарно 4 балла
- вывод формулы кристаллогидрата – 3 балла
- ход графиков после пропускания 3 моль хлороводорода – 2 балла
- уравнения реакций – по 1,5 балла – суммарно 7,5 баллов
- любое верное название минерала – 1,5 балла

Задача №4.

Огромные достижения синтетической органической химии в период с 1830-х гг. поддерживали предположения, что подобная обширная химия может базироваться и на элементе **X**. Бинарные вещества **A₁-A₃**, образованные **X**, имеют одинаковый качественный состав, бурно реагируют с кислородом. Наиболее термически устойчивым является газ **A₁**, который получают обработкой бинарного соединения **B₁** ($\omega(\mathbf{X}) = 36,84\%$) водным раствором серной кислоты (*реакция 1*).

Для получения газа **A₂**, сначала газ **A₁** обрабатывают йодоводородом в присутствии каталитических количеств йодида алюминия, при этом основным продуктом реакции являются жидкость **Ж** ($\omega(\mathbf{X}) = 17,72\%$) и легкий газ **Л** (*реакция 2*). Затем вещество **Ж** обрабатывают амальгамой натрия (*реакция 3*) и получают газ **A₂**.

Для получения жидкости **A₃** бинарное соединение **B₂** ($\omega(\mathbf{X}) = 22,83\%$) обрабатывают избытком гидрида натрия (*реакция 4*).

Разложением **A₁** (*реакция 5*) получают сверхчистое простое вещество **П**, образованное элементом **X**, которое имеет широкое применение в электронике.

- 1) Определите все зашифрованные вещества и запишите уравнения *реакций 1-5*. Ответ подтвердите расчётом.
- 2) Как называются вещества **A₁-A₃**. Приведите их структурные формулы.
- 3) Вещества **A₁-A₃** легко воспламеняются на воздухе. Напишите уравнение реакции сгорания одного из веществ **A₁-A₃** в избытке кислорода.

Решение:

Органическая химия базируется на углероде, тогда вероятнее всего **X** принадлежит IVA подгруппе. Широкое применение **X** в электронике указывает на кремний. Тогда соединение **B₁** – $\text{Э}_4\text{Si}_n$, составим уравнение:

$$0,3684 = \frac{28n}{M(\text{Э}) + 28n}$$

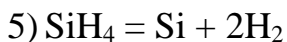
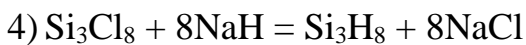
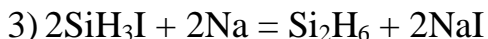
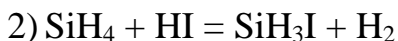
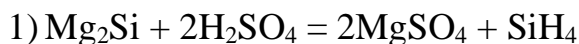
$$M(\text{Э}) = 12n, \text{ при } n = 2, \text{ получаем } \mathbf{B_1 - Mg_2Si}$$

Следовательно, в задаче речь идёт о силанах, газ **Л** скорее всего это H_2 . Тогда **Ж** вероятнее всего – SiH_3I , проверим $\omega(\text{Si}) = 28/158 = 0,1772$. При обработке натрием соединения **Ж** будет образовываться дисилан – Si_2H_6 (**A₂**). Продолжая цепочку соединений **A**, вероятнее всего **A₃** – Si_3H_8 , тогда **B₂** вероятнее всего галогенопроизводное – Si_3Hal_8 , тогда $M(\text{Hal}) = 28 \cdot 3 \cdot 0,7717 / (0,2283 \cdot 8) = 35,5$ г/моль, что соответствует хлору.

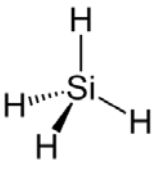
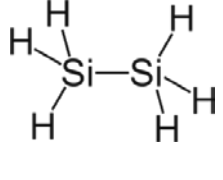
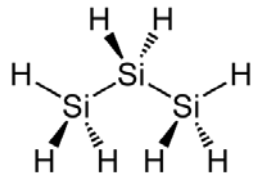
X, П	A₁	A₂	A₃	B₁	B₂	Л	Ж
Si	SiH ₄	Si ₂ H ₆	Si ₃ H ₈	Mg ₂ Si	Si ₃ Cl ₈	H ₂	SiH ₃ I

(за каждое вещество – 1 балл, вещества **Б1**, **Б2**, **Ж** без расчёта – 0 баллов)

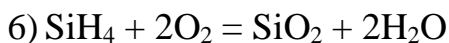
Уравнения реакций:



(за каждое уравнение – 1 балл)

A ₁	A ₂	A ₃
		
Силан	Дисилан	Трисилан

(за каждую структуру – 1 балл, название – 1 балл)



1 балл

Итого 20 баллов

Задача №5.

Уран представляет собой стратегически важный металл химического производства ввиду широкого применения в ядерной энергетике.

Самыми распространёнными изотопами урана являются уран-238 и уран-235. Именно изотоп-235 имеет широкое применение.

1) Каково процентное содержание изотопа ^{235}U в природном уране, имеющем относительную молекулярную массу 238,0289, если точные значения относительных атомных масс ^{238}U и ^{235}U соответственно равны 238,0508 и 235,0439 (содержанием других изотопов можно пренебречь).

В природе уран в основном встречается в минерале **X**. Один из способов выделения необходимого изотопа урана включает следующие этапы. Вещество **X** смешивают с серой и подвергают обжигу в токе кислорода (*реакция 1*). Образовавшуюся хорошо растворимую соль **Y** вымывают из образовавшейся смеси продуктов. Из стехиометрической смеси (1:3) **X** и серы массой 46,9 г теоретически можно получить 54,9 г соли **Y**. Дальнейшее концентрирование и восстановление соли **Y** даёт бинарное вещество **Z** ($\omega(\text{U}) = 88,15\%$), имеющее

такой же качественный состав, что и минерал **X**. Затем вещество **Z** обрабатывают фтороводородом и восстанавливают магнием (реакции 2,3). Образовавшийся уран сжигают в избытке фтора (реакция 4). Образовавшуюся смесь фторидов изотопов урана разделяют центрифугированием. При сжигании урана в токе кислорода образуется вещество **X**, а увеличение массы составляет 17,93%.

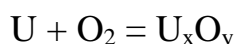
2) Определите вещества **X**, **Y** и **Z**. Ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнения реакций 1-4. Как называется соль **Y**?

3) Запишите уравнения реакций α -распада урана – 238 и урана – 235.

Решение:

1) $238,0508(1 - x) + 235,0439x = 238,0289$
 $x = 0,0073 = 0,73$ 3 балла

2) Вывод **X**:



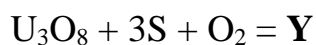
$$\omega(U) = 100/117,93 = 0,848, \text{ тогда } \omega(O) = 0,152$$

$$x : y = (84,8/238) : (15,2/16) = 3 : 8$$

Тогда **X** – U_3O_8 , 2 балла

Следовательно **Z** – UO_2 ($\omega(U) = 88,15\%$) 2 балла

Вывод **Y**:



$$3x \cdot 32 + 842x = 46,9$$

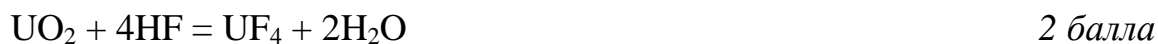
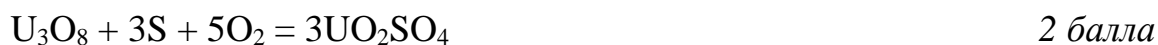
$$x = 0,05 \text{ моль, тогда}$$

$$\nu(S) = 0,15 \text{ моль, } \nu(U) = 0,15 \text{ моль, тогда}$$

$$m(O \text{ в } Y) = 54,9 - 32 \cdot 0,15 - 238 \cdot 0,15 = 14,4 \text{ г, тогда } \nu(O) = 0,9 \text{ моль}$$

Тогда **Y** – USO_6 или UO_2SO_4 2 балла

(вещества **X**, **Y**, **Z** без расчёта – 0 баллов)



UO_2SO_4 – сульфат уранила 1 балл

3) ${}_{92}^{238}U = {}_{90}^{234}Th + {}_2^4He$ 1 балл

$${}_{92}^{235}U = {}_{90}^{231}Th + {}_2^4He$$
 1 балл

Итого 20 баллов

Задача №6.

Вещество **T** представляет собой дымящую на воздухе жидкость, широко используемую в органическом синтезе. При растворении 595 мг **T** в 100 мл горячей воды образуется 0,364 %-ный раствор сильной одноосновной кислоты **K** ($\rho \approx 1$ г/мл, $C(\text{H}^+) = 0,1$ моль/л) и выделяется 320 мг газа **G**, обладающий резким запахом и обесцвечивающий бромную воду.

1) Определите вещества **T**, **K**, **G**. Ответ подтвердите расчётом (изменением объёма раствора при растворении газа можно пренебречь).

2) Запишите уравнение реакции растворения газа **T** в воде.

Помимо органического синтеза вещество **T** применяется для обезвоживания кристаллогидратов. При обезвоживании 15,99 г кристаллогидрата хлорида хрома (III) необходимым количеством **T** образуется смесь газов **K** и **G** объёмом 24,192 л (н. у.).

3) Рассчитайте формулу кристаллогидрата. Запишите соответствующее уравнение реакции. Почему безводный хлорид хрома (III) не получается при нагревании соответствующего кристаллогидрата? Предложите способ синтеза безводного хлорида хрома (III) из оксида хрома (III).

Рассчитайте теплоту образования **T** (кДж/моль), если $Q_f(\text{K}) = 92,3$ кДж/моль, $Q_f(\text{G}) = 296,9$ кДж/моль, $Q_f(\text{H}_2\text{O}) = 286,3$ кДж/моль, а тепловой эффект реакции взаимодействия 595 мг **T** со стехиометрическим количеством воды равен - 260,5 Дж.

Решение:

1) Газ **G** с резким запахом и обесцвечивающий бромную воду – **SO₂** 2 балла

$$m(\text{p-ра}) = 100 + 0,595 - 0,32 = 100,275 \text{ г, тогда}$$

$$v(\text{H}^+) = 0,1 * 0,1 = 0,01 \text{ моль}$$

$$M(\text{K}) = 100,275 * 0,00364 / 0,01 = 36,5 \text{ г/моль, следовательно K – HCl 2 балла}$$

$$v(\text{SO}_2) = 0,32 / 64 = 0,005 \text{ моль, } v(\text{HCl}) = 0,01 \text{ моль}$$

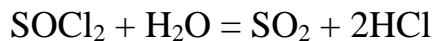
$$v(\text{SO}_2) : v(\text{HCl}) = 1 : 2$$

Проверка **T** на содержание кислорода:

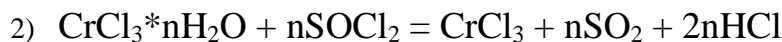
$$m(\text{O в T}) = 0,595 - 32 * 0,005 - 0,01 * 35,5 = 0,08 \text{ г}$$

$$v(\text{O в T}) = 0,005 \text{ моль, следовательно T – SOCl}_2 \quad 2 \text{ балла}$$

(вещества **K**, **T** без расчёта – 0 баллов)



2 балла



$$\nu(\text{SO}_2 + \text{HCl}) = 24,192/22,4 = 1,08 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{SO}_2) : \nu(\text{HCl}) = 1 : 2, \text{ следовательно } \nu(\text{SO}_2) = 1,08/3 = 0,36 \text{ моль}$$

$$\text{Тогда } M(\text{CrCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}) = 15,99n/0,36 = 44,417n \text{ г/моль}$$

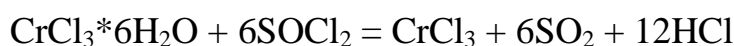
$$158,5 + 18n = 44,417n$$

$$n = 6$$

Кристаллогидрат – $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

4 балла

(без расчёта – 1 балл)

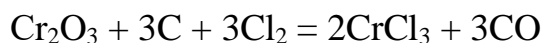


2 балла

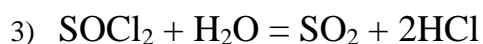
Указание на гидролиз Cr^{3+}

1 балл

Получение CrCl_3 из Cr_2O_3 :



2 балла



$$Q_r = -260,5/0,005 = -52,1 \text{ кДж/моль}$$

$$-52,1 = Q_f(\text{SO}_2) + 2 \cdot Q_f(\text{HCl}) - Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_f(\text{SOCl}_2)$$

$$Q_f(\text{SOCl}_2) = 296,9 + 2 \cdot 92,3 - 286,3 + 52,1$$

$$Q_f(\text{SOCl}_2) = 247,3 \text{ кДж/моль}$$

3 балла

(без расчёта – 0 баллов)

Итого 20 баллов