**Задачи заключительного тура олимпиады по химии 2024/25 уч.г.**
**9–10 класс**

## 1. Различение металлов (почти) на глаз (11 б)

В лаборантской кабинета химии содержали разные реактивы и металлы. Поскольку учитель знал, какие вещества содержаться в соответствующих сосудах, никаких этикеток не было. Поэтому ученикам дали задание определить металлы. При дальнейшем решении задания предположи, что температура в кабинете 20 ℃ и температура воды из под крана, которую использовали для определения металлов, не выше 50 ℃.

В ампулах **1**, **2** и **3** содержатся твердые металлы, однако ампула **4** содержит жидкий металл. Металл в ампуле **1** серебристо-золотой, а металл в ампуле **2** серебристый. Если держать металлы из ампул **1** и **2** в руках, то металлы станут жидкими. Металл в ампуле **3** становится жидким только под тёплой водой из под крана.

**a)** Определи металлы в ампулах **1**–**4**. *Подсказка: ни одна ампула не содержит франций.* (2)

Следующие металлы **A** и **B** с коричневато-жёлтым блеском, а металл **C** серебристый. **A** и **C** реагируют с концентрированной азотной кислотой, а металл **B** не реагирует. Чтобы определить металл **C**, измерили его плотность. Одна гранула **C** весит 0,0307 тройских унций (ту). При добавлении одной гранулы в мерный цилиндр с 10 см$^3$ воды, невозможно определить изменение объёма. Добавив еще 10 идентичных гранул, конечный объем воды составил 11 см$^3$.

| Металл | Плотность, г/см$^3$ |
|---|---|
| Al | 2,70 |
| Zn | 7,14 |
| Cr | 7,15 |
| Sn | 7,265 |
| Ni | 8,908 |
| Ag | 10,503 |
| Pd | 12,023 |
| Pt | 21,45 |

**b)** Определи металлы **A**–**C**. Известно, что один гран (гр) равен 64,79 мг, в одном гране $1{,}736 \cdot 10^{-4}$ тройских фунта (тф) и в одном тройском фунте 12 тройских унций (ту). (3)

Металл **D** имеет серый тон и легко гнется. Металл **E** однако голубовато-серо-белый, и его нельзя согнуть руками. Также известно, что у металла **E** есть три распространённые степени окисления (в том числе с.о. 0). В две пробирки поместили отдельно кусочки проволок металлов **D** и **E**, и добавили воды. При нагревании пробирок, с обоими металлами произошла реакция. При повторном опыте пробирки не нагревали, а добавляли соляную кислоту до тех пор, пока не прекратилось выделение пузырьков газа. Затем в обе пробирки добавили раствор NaOH в избытке. Помимо нейтрализации находящейся в растворе соляной кислоты, образовались также осадки гидроксидов соответствующих металлов. В первой пробирке, где был **D**, образовался белый осадок (**реакция 1**). Во второй пробирке, где был **E**, образовался белый студенистый осадок (**реакция 2**). При постепенном добавлении в первую и вторую пробирки раствора NaOH, оба осадка растворились (**реакции 3** и **4**, соответственно). Наконец порошки, полученные при измельчении металлов **D** и **E**, смешали с серой (каждый порошок отдельно) и нагрели в вытяжном шкафу. При добавлении сульфида, полученного в реакции **D** с серой, в воду, выделился газ с запахом тухлых яиц и образовался белый студенистый осадок (**реакция 5**). Сульфид, полученный при нагревании **E** и серы, не растворяется в воде.

**c)** Определи металлы **D** и **E**. *Подсказка: атомные массы **D** и **E** находятся в промежутке 20…80 а.е.м.* (1)

**d)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнениях **реакций 1**–**5**. (5)

## 2. Своеобразные соединения металлов (10 б)

Вишнево-красное бинарное соединение **X** металла **A** содержит 35,96% кислорода по массе и мольное соотношение металла и кислорода в нем соответственно 1 : 3. При реакции соединения **X** с водой образуется растворимый в воде гидроксид и выделяется кислород (**реакция 1**).

**a)** Определи с помощью расчетов металл **A**. (1)

**b)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнении **реакции 1**. (1)

Ионные металлические гидриды содержат гидрид-ионы ($H^-$). Металл **B** образует с водородом гидрид **B**$H_x$, где $x$ – целое число. При полном реагировании 1,000 г **B**$H_x$ с водой образуется 1,067 дм$^3$ водорода при нормальных условиях и растворимый в воде гидроксид соответствующего металла (**реакция 2**).

**c)** Определи с помощью расчётов металл **B**. (2)

**d)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнении **реакции 2**. (1)

После реакции щелочного металла **C** с драгоценным металлом **D** при температуре >200 ℃ образуется похожее на соль соединение **CD**, в котором **C** представлен виде катиона (**C**$^+$) и **D,** как исключение, в виде аниона (**D**$^-$). При полном реагировании 0,476 г **CD** с 0,407 г оксида **C**$_2$O в мольном соотношении 1 : 1 единственным продуктом является кристаллическое соединение **Y**, состоящее из трех элементов (**реакция 3**).

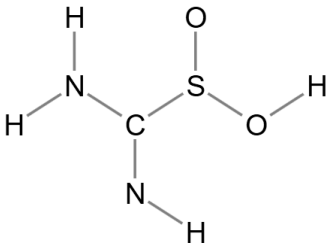
**e)** Определи с помощью расчётов элементы **C** и **D**. (4)

**f)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнении **реакции 3**. (1)

## 3. Различные структуры Льюиса (12 б)

Рисуя структурные формулы в следующих задачах, не забудь четко показать все химические связи, свободные пары электронов и по необходимости заряды.

**a)** Дополни молекулярную структуру приведенного диоксида тиомочевины химическими связями и парами свободных электронов таким образом, чтобы формальный заряд всех атомов был равен нулю. (1)




**VA группа**

Азот образует многоатомные ионы с занятными структурами, как например линейный $N_3^-$ (азид-ион), V-образный $N_5^+$ (катион пентазения) и встречающийся в виде пятичленного цикла $N_5^-$ (пентазолат-анион).

**b)** Нарисуй ***две различные*** структурные формулы для ионов $N_3^-$ и $N_5^+$, и ***одну*** структурную формулу для $N_5^-$ иона. (2,5)

**VIA группа**

Центральный атом серы в молекулярных структурах $SF_6$, $SOF_4$ и $SO_2F_2$ не отвечает классическому правилу октета Льюиса. Для того чтобы молекулы отвечали правилу октета Льюиса, боковые группы связанные с атомом серы следует изображать частично ионно-ковалентным образом.

**c)** Нарисуй для $SF_6$ ***одну***, а для молекул $SOF_4$ и $SO_2F_2$ ***две различные*** ионно-ковалентные структурные формулы, которые отвечают правилу октета Льюиса. (2,5)

**VIIA группа**

При реакции химически активного $F_2$ с хлором, бромом и иодом образуются соответствующие 4-, 6- и 8-атомные интергалогениды **X**, **Y** и **Z**. После реакции этих соединений с водой, образуются соответствующие кислородсодержащие кислоты с формулой $HHalO_n$ (Hal = галоген) и фтороводородная кислота (**реакции 1–3**) – степени окисления всех элементов остаются неизменными в ходе реакций.

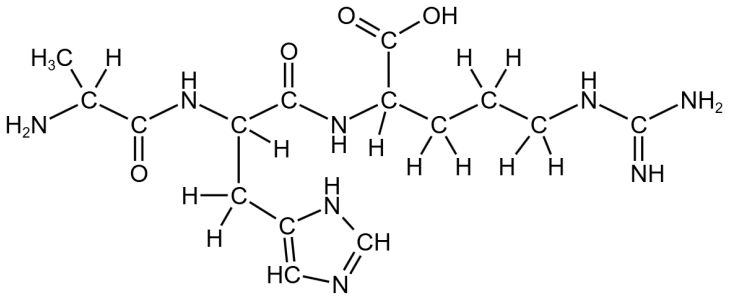
**d)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнениях **реакций 1–3**. (3)

1. **X** + $H_2O$ → …
2. **Y** + $H_2O$ → …
3. **Z** + $H_2O$ → …

**e)** Нарисуй структурные формулы кислородсодержащих кислот, которые образуются из интергалогенидов **X**, **Y** и **Z**. (3)

## 4. Метод Кьельдаля (8 б)

Метод Кьельдаля − это квантитативный метод анализа для определения содержания органического азота. С помощью этого метода можно определить содержание белка в разных продуктах. Белки − это биоорганические соединения, которые состоят из остатков аминокислот, связанных между собой пептидной связью. Пептидная, то есть амидная химическая связь, образуется между карбоксильной группой одной кислоты и аминогруппой другой. Далее представлена формула одного трипептида, т.е. белка, состоящего из трех аминокислотных остатков:



**a)** Обведи все пептидные связи в данной молекуле трипептида. (1)

Метод Кьельдаля можно разделить на три этапа. Сначала исследуемую пробу продукта разлагают при нагревании в концентрированной серной кислоте. В реакции разложения органический азот превращается в сульфат аммония. При добавлении избытка раствора NaOH к смеси, содержащей ионы аммония, выделяется газ с резким запахом (**реакция 1**). Далее выделяющийся газ направляют в раствор борной кислоты, где происходит реакция нейтрализации в молярном соотношении 1 : 1 (**реакция 2**). Наконец полученный раствор титруют соляной кислотой, в ходе чего снова образуется борная кислота (**реакция 3**). На основании результатов титрования соляной кислотой, рассчитывается количество органического азота.

**b)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнениях **реакций 1−3**. (3)

**1.** … + $NaOH \rightarrow$ ; **2.** … + $H_3BO_3 \rightarrow$ ; **3.** … + $HCl \rightarrow$

Для титрования нужно было приготовить 400 см$^3$ раствора соляной кислоты с концентрацией 0,5 моль·дм$^{-3}$. Для этого разбавили имеющийся в лаборатории раствор соляной кислоты ($\rho_{раствор}$ = 1,190 г·см$^{-3}$), содержание соляной кислоты в котором было 37% по массе.

**c)** Рассчитай, сколько см$^3$ находящегося в лаборатории раствора соляной кислоты необходимо взять для приготовления раствора, нужного для титрования. (2)

Исследовали 3,430 г куриного филе и на последнем этапе на титрование ушло 18,50 см$^3$ раствора соляной кислоты, приготовленного в пункте **c)**.

**d)** Посчитай массу органического азота в пробе куриного филе (г). (1)

Органический азот находится не только в белках. Для определения содержания только белка, найденную массу органического азота умножают на эмпирический фактор *f*, значение которого варьируется в зависимости от продукта. В случае куриного филе *f* = 6,25.

**e)** Рассчитай содержание белка в 100 граммах куриного филе (г/100 г). (1)

## 5. Парочка соединений железа (11 б)

$K_3[Fe(SCN)_6]$ − это соединение кроваво красного цвета, которое образуется реакцией между растворами $FeCl_3$ и KSCN (**реакция 1**). При добавлении к нитрату цинка(II), желтой кровяной соли, т.е. $K_4[Fe(CN)_6]$, образуется студенистый осадок $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ (**реакция 2**). Вдобавок к упомянутым продуктам, в обеих реакциях также образуется еще одна соль калия.

**a)** Определи степень окисления железа в **i)** $K_3[Fe(SCN)_6]$ и **ii)** $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. (1)

**b)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнениях **реакций 1** и **2**. (2)

$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ − это легкорастворимое в воде кристаллическое вещество желтого цвета. При подготовке раствора соли было растворено 6,55 г вещества в 50,0 см$^3$ деионизированной воды.

**c)** Рассчитай **i)** массовую долю $FeCl_3$ $w$ (%) и **ii)** молярную концентрацию хлорид ионов $c$ (моль·дм$^{-3}$) в приготовленном растворе. (3)

15,0 г карбоната калия было обработано рядом различных реагентов, чтобы превратить весь содержащийся в веществе углерод в комплексную соль $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$.

**d)** Рассчитай, сколько грамм $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ было приготовлено. (1)

**e)** Рассчитай, сколько атомов углерода содержится в 0,1 г $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. $N_A$ = 6,022·10$^{23}$ моль$^{-1}$. (1)

В чистом виде, $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ встречается в виде кристаллогидрата, который содержит 18,84% вод кристаллизации по массе. В результате нагрева соответствующего кристаллогидрата в промежутке от 100 до 200 °C, от него отделяется определенное количество воды кристаллизации, из-за чего общая масса соединения уменьшается на 12,56%.

**f)** **i)** Рассчитай, сколько молекул воды содержится в кристаллогидрате и **ii)** напиши формулу кристаллогидрата после нагревания. (3)

## 6. Определение содержания железа (8 б)

Студентов попросили определить содержание железа в таблетках двух разных пищевых добавок: “Железное здоровье” и “FeMax”. Известно, что обе пищевые добавки содержат железо в виде $FeSO_4$ соли. Для определения содержания железа были приготовлены отдельные 250,0 см$^3$ стандартные растворы, заранее подкисленные избытком серной кислоты, где на каждый раствор было взято по две таблетки пищевой добавки.

Первому студенту потребовалось 23,97 см$^3$ 0,0045 моль·дм$^{-3}$ раствора $KMnO_4$, чтобы полностью окислить железо, содержащееся в 25,00 см$^3$ пробе “Железного здоровья” (**реакция 1**). Второй студент использовал раствор $K_2Cr_2O_7$, чтобы окислить то же самое количество пробы (**реакция 2**). Цвет пробы, анализируемой $KMnO_4$ стал бледно-розовым, а с $K_2Cr_2O_7$ светло-зеленым.

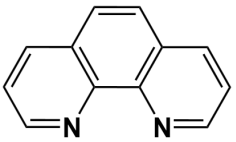
**a)** Напиши и расставь коэффициенты в **i)** молекулярных и **ii)** сокращенных ионных уравнениях **реакций 1–2**. (4)

**b)** Рассчитай, сколько грамм железа содержится в одной таблетке “Железного здоровья”, предполагая, что окисляется только содержащееся в пробе железо. (1)

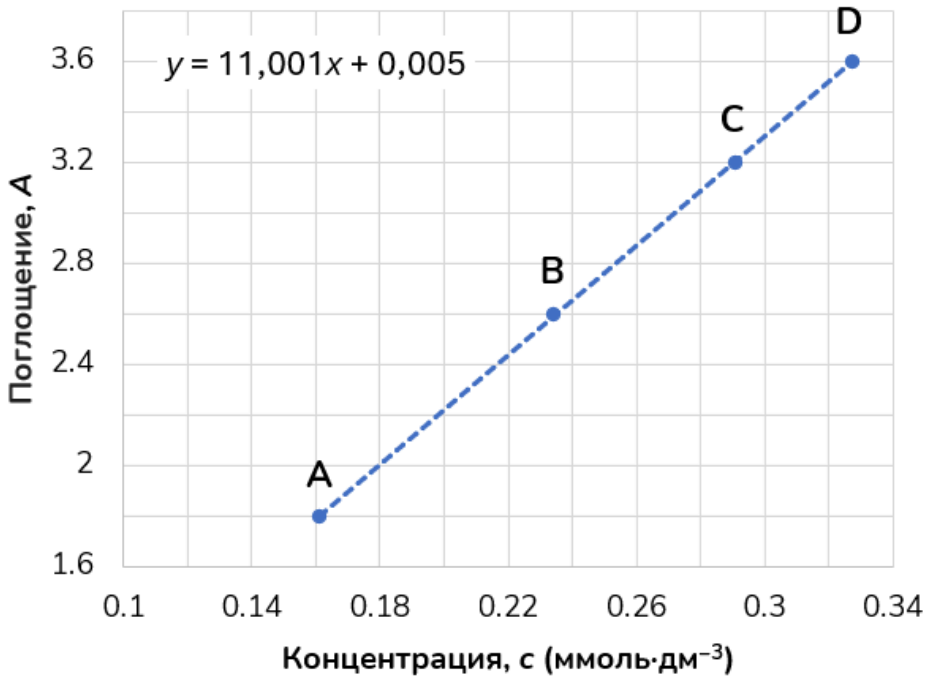
Содержание железа в “FeMax” определили с помощью оптической UV-Vis спектроскопии (измерение поглощения света пробой в ультрафиолетовом и видимом диапазоне излучения). Для начала приготовили несколько стандартных растворов с различными концентрациями $Fe^{2+}$, к которым были добавлены равные количества раствора 1,10-фенантролина (сокр. phen) и буфера (раствор стабилизирующий pH). 1,10-фенантролин связывается в растворе с $Fe^{2+}$ ионами, образуя оранжево-красный $[Fe(phen)_3]^{2+}$ комплекс:

$$Fe^{2+} + 3\ phen \rightleftharpoons [Fe(phen)_3]^{2+}$$

phen =




Поглощение $A$ (безразмерная величина) раствора измеряли при длине волны 510 нм. Измеряя зависимость поглощения от концентрации железа (ммоль·дм$^{-3}$) был составлен калибровочный график ниже, где приведены результаты анализа для четырех стандартных растворов **A–D**. Уравнение прямой для графика: $y = 11{,}001x + 0{,}005$




В соответствии с законом Ламберта-Бера, поглощение раствора пропорционально произведению концентрации вещества $c$ (моль·дм$^{-3}$), молярному коэффициенту экстинкции ε (дм$^3$·моль$^{-1}$·см$^{-1}$) и длине пути света $l$ (см):

$$A = c \cdot \varepsilon \cdot l$$

Величина длины пути света равна диаметру кюветы, которую используют для измерения поглощения пробы.

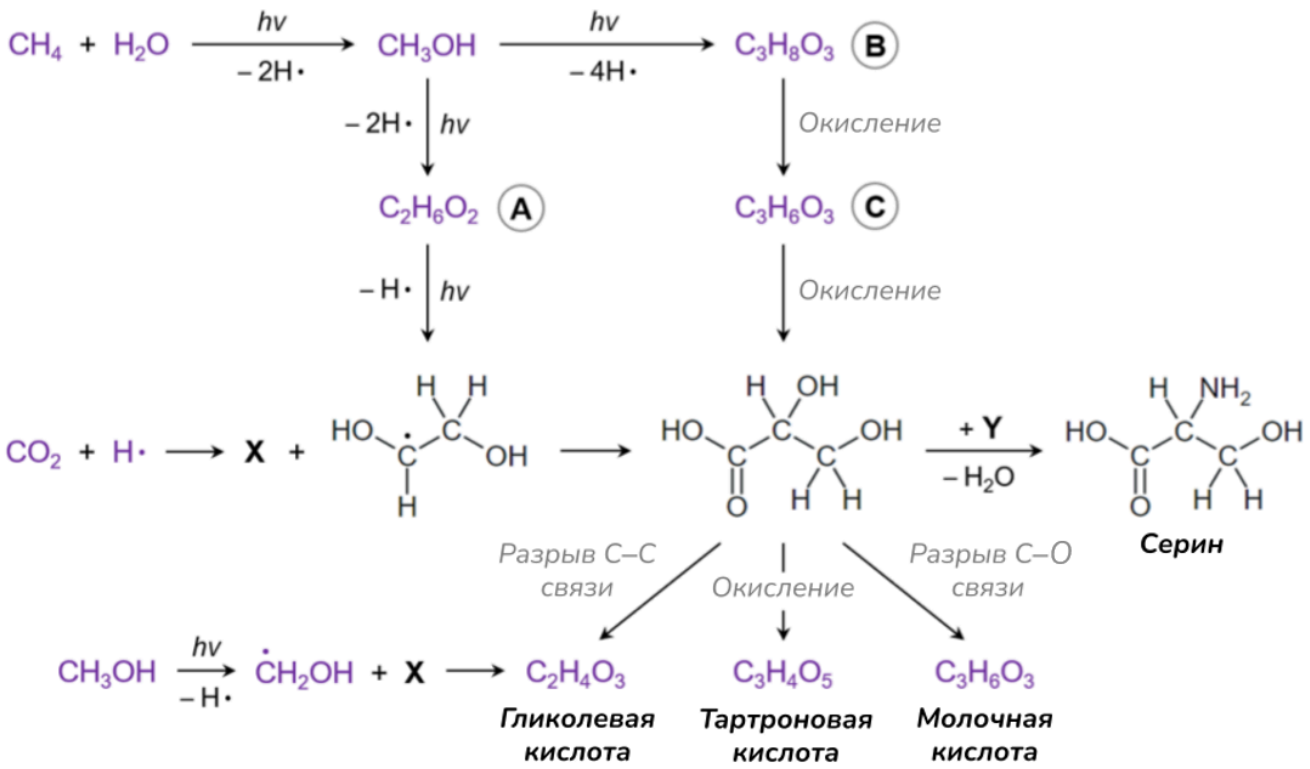
**c)** Рассчитай значения молярного коэффициента экстинкции ε для $[Fe(phen)_3]^{2+}$, если при измерении была использована кювета диаметром 1 см. (1)

К 25,00 см$^3$ стандартному раствору “FeMax” добавили такое же количество 1,10-фенантролина и буфера, как и для приготовления калибровочных растворов. Объем полученного раствора довели до 100,0 см$^3$. Для измерения поглощения, 3,00 см$^3$ приготовленного раствора перенесли в кювету диаметром ровно 1 см.

**d)** Рассчитай содержание железа (мг) в одной таблетке “FeMax”, если значение поглощения измеренной пробы было равно 3,555. (2)

## 7. Астрохимические процессы (11 б)

Органические соединения в межзвездном пространстве подвергаются множеству различных реакций при воздействии ультрафиолетового излучения ($h\nu$), в ходе которых химические связи разрываются и образуются. На схеме ниже показана цепочка превращений известных углеродных соединений, которые обнаружены в открытом космосе:




**a)** Определи степень окисления каждого атома углерода в структуре серина. (1,5)

**b)** Обведи кружком в молекуле серина **i)** функциональную группу с основными свойствами и **ii)** функциональную группу с кислотными свойствами. (1)

**c)** Рассчитай, сколько грамм серина образуется из 10,0 дм$^3$ углекислого газа при нормальных условиях. (1)

В ходе реакции между метаном и водой под воздействием ультрафиолетового излучения образуется метанол ($CH_3OH$). В итоге, от молекулы метана отделяется один радикал водорода ($H\cdot$), а от молекулы воды второй − радикалом называют химически реакционно способную частицу, которая содержит один или несколько неспаренных электронов во внешнем электронном слое. При дальнейшем облучении метанола образуются спирты **A** ($C_2H_6O_2$) и **B** ($C_3H_8O_3$). Соединение **B** окисляется дальше до соединения **C** ($C_3H_6O_3$), которое содержит одну двойную связь.

**d)** Нарисуй структуры Льюиса для частиц, которые образуются при отделении одного радикала водорода от **i)** метана и **ii)** молекулы воды. (1)

**e)** Нарисуй структуру Льюиса для соединения **X**. (0,5)

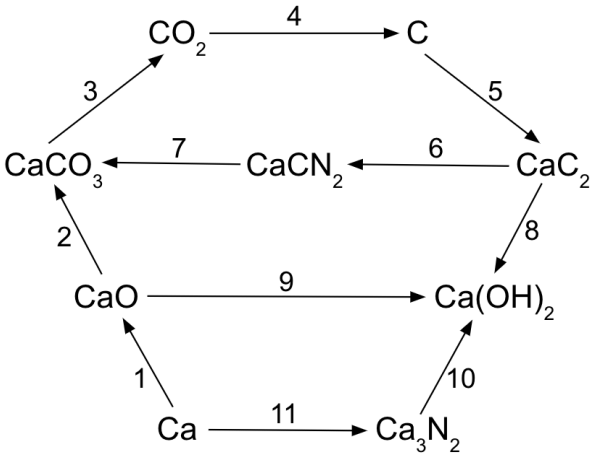
**f)** Нарисуй структурные формулы соединений **A**−**C**. (3)

Известно, что молекулы гликолевой, молочной и тартроновой кислоты содержат одну и ту же функциональную группу, которая связана со вторым по очередности атомом углерода в этих соединениях.

**g)** Нарисуй структурные формулы **i)** гликолевой, **ii)** молочной и **iii)** тартроновой кислот. (3)

## 8. Уравнения реакций (11 б)

Напиши и расставь коэффициенты в уравнениях реакций **1–11**.




## 9. Химия соединений кремния (8 б)

Минералогический состав земной коры на 90% состоит из оксидов кремния. Самое распространенное соединение кремния и кислорода – диоксид кремния. Из него изготавливают силикагель, пакетики с гранулами которого используют в качестве поглотителей влаги. Силикагель производится реакцией твердого диоксида кремния с карбонатом натрия в мольном соотношении 1 : 2 при температуре 1500°C, в результате чего образуется соль **X** и бесцветный газ **Y** (**реакция 1**). Анион соли **X** содержит атомы только кремния и кислорода.

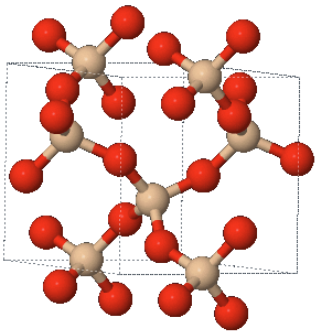
**a)** Напиши формулу газа **Y**. (1)

**b)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнении **реакции 1**. (1)

При реакции соли **X** или $CaSiO_3$ с разбавленным раствором кислоты образуется студенистый осадок $SiO_2 \cdot nH_2O$. Силикагель получают промывкой, сушкой и гранулированием этого осадка.

**c)** Напиши и расставь коэффициенты в уравнении реакции между $CaSiO_3$ и разбавленной хлороводородной кислотой, в ходе которой образуется $SiO_2 \cdot 11H_2O$. (1)

Силикаты – это минералы, кристаллическая структура которых состоит из тетраэдрических единиц оксида кремния ($SiO_4$), где между атомами присутствуют одинарные Si–O связи. На рисунке внизу изображена кристаллическая структура кварца – при этом показаны не все межатомные химические связи.



**d)** Определи, сколько тетраэдрических единиц оксида кремния связаны с каждой тетраэдрической единицей в структуре кварца. (1)

Тальк ($Mg_3Si_4H_2O_{12}$) – это мягкий белый минерал, который содержит как ионы магния, силикаты, так и гидроксид ионы.

**e)** Напиши химическую формулу вместе с зарядом для силикат ионов, входящих в состав талька. (1)

Хризотил ($Mg_3Si_2H_4O_9$) – распространенная форма асбеста – это гидратированная силикатный минерал, который образует волокна похожие на иголки. В природе, тальк зачастую встречается

вместе с хризотилом. При химическом анализе пробы минерала, обнаружилось, что она содержит по массе 20,32% магния и 28,18% кремния.

**f)** Рассчитай процентное молярное содержание талька и хризотила в пробе, предполагая, что он содержит только данные минералы. (3)