

Задача 1. Химия 8 класса не предусматривает изучения свойств соединений IV–VII периодов таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Однако, основываясь на периодическом законе и знаниях основных свойств изученных элементов можно без труда составить необходимые химические уравнения. Ниже представлены схемы реакций получения солей X_1 – X_{10} . Закончите представленные уравнения реакций и уравняйте их. Назовите соли X_1 – X_{10} .

$\text{SeO}_2 + \text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow X_1$	$\text{HIO}_3 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow X_6$
$\text{Bi}_2\text{O}_5 + \text{CsOH} \rightarrow X_2$	$\text{H}_3\text{SbO}_4 + \text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow X_7$
$\text{H}_2\text{SeO}_4(1 \text{ моль}) + \text{NaOH}(1 \text{ моль}) \rightarrow X_3$	$\text{CrO}_3 + \text{KOH}(\text{изб}) \rightarrow X_8$
$\text{H}_3\text{AsO}_4(1 \text{ моль}) + \text{NaOH}(1 \text{ моль}) \rightarrow X_4$	$\text{PH}_3 + \text{HI} \rightarrow X_9$
$\text{Cl}_2\text{O}_7 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow X_5$	$\text{MoO}_3 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{изб}) \rightarrow X_{10}$

Решение

Уравнение реакции	Название соли X_1 – X_{10}
1) $\text{SeO}_2 + 2\text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Селенит натрия
2) $\text{Bi}_2\text{O}_5 + 2\text{CsOH} \rightarrow 2\text{CsBiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Висмутат цезия
3) $\text{H}_2\text{SeO}_4(1 \text{ моль}) + \text{NaOH}(1 \text{ моль}) \rightarrow \text{NaHSeO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Гидроселенат натрия
4) $\text{H}_3\text{AsO}_4(1 \text{ моль}) + \text{NaOH}(1 \text{ моль}) \rightarrow \text{NaH}_2\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Дигидроарсенат натрия
5) $\text{Cl}_2\text{O}_7 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$	Перхлорат кальция
6) $2\text{HIO}_3 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}(\text{IO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	Иодат бария
7) $\text{H}_3\text{SbO}_4 + 3\text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{Na}_3\text{SbO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	Антимонат натрия
8) $\text{CrO}_3 + 2\text{KOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Хромат калия
9) $\text{PH}_3 + \text{HI} \rightarrow \text{PH}_4\text{I}$	Иодид фосфония
10) $\text{MoO}_3 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{изб}) \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	Молибдат аммония

Критерии оценивания	
Формулы солей X_1 – X_{10}	по 0,5 балла
Названия солей X_1 – X_{10}	по 0,5 балла
Уравнения реакций без коэффициентов	по 0,5 балла
Расстановка коэффициентов в уравнениях	по 0,5 балла
Итого	20 баллов

Задача 2. Бинарное вещество **A**, образованное соседями по подгруппе, было впервые получено в США в конце XVIII века, а ныне получило широкое распространение благодаря абразивным свойствам. Твёрдость этого материала близка к алмазу, а сам он имеет около 200 различных кристаллических модификаций, обладающих разной окраской – от чёрной до пурпурной. Некоторые из них даже проявляют полупроводниковые свойства.

Одним из методов получения соединения **A** является прокаливание простого вещества **B** и бинарного соединения **C**, являющегося важной составляющей земной коры. Помимо **A**, в данной реакции образуется бесцветный ядовитый газ **D** без запаха, смесь которого с азотом

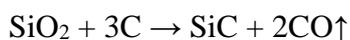
обладает постоянной относительной плотностью по водороду вне зависимости от массовой доли последнего.

- 1) Определите вещества **A–D**, если массовая доля более лёгкого элемента **B** в составе **A** равна 30 %.
- 2) Приведите уравнение *реакции* получения **A** из смеси **B** и **C**.
- 3) Вычислите массу вещества **A**, которая была получена в ходе реакции. Дополнительно известно, что выделившийся газ **D** может вступить во взаимодействие с 5,6 л (н. у.) кислорода, причём объём полученной газовой смеси уменьшится на 25 % при пропускании через избыток водного раствора гидроксида натрия.

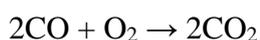
Рекомендации к решению

При взаимодействии **B** и **C** образуется целевое соединение **A**, а также выделяется газ **D**, смесь которого с азотом обладает постоянной относительной плотностью по водороду вне зависимости от её состава. Известно, что относительная плотность газовой смеси по водороду прямо пропорциональна её средней молярной массе. Поскольку средняя молярная масса смеси оказывается постоянной вне зависимости от содержания азота, можно сделать вывод, что газ **D** также обладает молярной массой 28 г/моль. Учитывая остальные приведённые в задаче свойства, можно сделать однозначный выбор в пользу монооксида углерода **D** – CO. Бинарное соединение, являющееся важным компонентом земной коры, представляет собой диоксид кремния **C** – SiO₂. Это вещество прекрасно соответствует условию задачи, ведь при восстановлении SiO₂ с помощью углерода **B** – C образуется угарный газ и карбид кремния **A** - SiC, содержащий 30% углерода по массе.

Уравнение *реакции*:



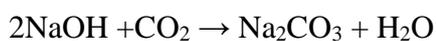
Образующийся в ходе реакции монооксид углерода может вступить во взаимодействие с 5,6 л (н.у.) кислорода. Рассчитаем количество вещества, которое вступит в указанное превращение:



$$n(\text{O}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{5,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,25 \text{ моль}$$

$$n(\text{CO}) = n(\text{CO}_2) = 2n(\text{O}_2) = 0,5 \text{ моль}$$

Из условия задачи следует, что лишь 25% всего CO превратилось в диоксид углерода, ведь именно он способен поглощаться водным раствором гидроксида натрия.



Тогда всего в ходе реакции образовалось 2 моль CO, следовательно, количество полученного карбида кремния составляет 1 моль. Рассчитаем его массу:

$$m(\text{SiC}) = M(\text{SiC}) \cdot n(\text{SiC}) = 40 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} = 40 \text{ г}$$

Критерии оценивания	
1. Установление формул веществ A–D	по 3 балла
2. Уравнение <i>реакции</i> получения A	3 балла
3. Расчёт массы полученного A	5 баллов
если решение верно частично:	
найден количество вещества углекислого газа	2 балла
найден общее количество угарного газа	1 балла
найденна масса карборунда	2 балла

Задача 3. Химические свойства «сладкого» металла **X** известны практически каждому из нас. Будучи амфотерным, он легко растворяется как в соляной кислоте с образованием бесцветного раствора соли **A** (реакция 1), так и в водном растворе гидроксида натрия (реакция 2). Основным продуктом данной реакции является комплексное соединение **B**, в котором атом **X** окружён 4 гидроксильными группами. Несмотря на относительно высокую химическую активность простого вещества, оно практически не растворяется в концентрированных серной и азотной кислотах. Пропускание углекислого газа в раствор **B** (реакция 3) или добавление водного аммиака к **A** (реакция 4) позволяет получить белый осадок **C**, растворимый как в кислотах, так и в щелочах. Теоретически из 1,00 г **X** можно синтезировать 4,78 г **C**.

При добавлении к раствору соли **A** раствора карбоната аммония образуется малорастворимое соединение **D** (реакция 5), содержащее 71,43 % кислорода и 10,71 % углерода по массе.

1. Установите металл **X**, ответ подтвердите расчётом.
2. Определите формулы веществ **A–D**.
3. Напишите уравнения реакций 1–5.

Рекомендации к решению:

Определим зашифрованный в задаче металл **X**, исходя из соотношения масс простого вещества и соединения **C**. При растворении простого вещества в соляной кислоте образуется хлорид **A** - XCl_n , а взаимодействие **X** с водным раствором гидроксида натрия приводит к образованию комплексного соединения, содержащего 4 гидроксильные группы – $\text{Na}_4 \cdot \text{x}[\text{X}(\text{OH})_4]$. Под действием водного аммиака хлорид металла превращается в гидроксид $\text{X}(\text{OH})_n$. Согласно условию задачи, из 1,00 г металла теоретически можно синтезировать 4,78 г $\text{X}(\text{OH})_n$. Установим элемент **X** с помощью расчётов:

$$n(\text{X}) = n(\text{X}(\text{OH})_n)$$

$$\frac{1,00}{M(\text{X})} = \frac{4,78}{M(\text{X}) + 17 \cdot n}$$

$$3,78 \cdot M(\text{X}) = 17 \cdot n$$

$$M(\text{X}) = 4,50 \cdot n$$

Путём перебора получаем, что случаю $n = 2$ соответствует бериллий. Тогда **X** – Be, **A** – BeCl_2 , **B** – $\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$, **C** – $\text{Be}(\text{OH})_2$.

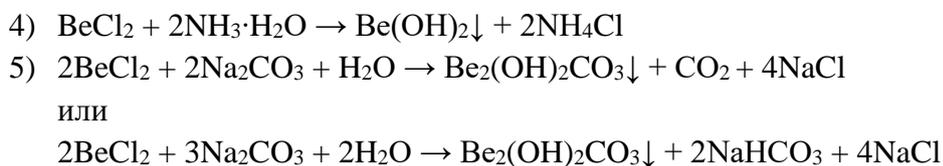
Для установления формулы соединения **D** рассчитаем соотношение числа атомов углерода и кислорода:

$$N(\text{O}):N(\text{C}) = \frac{\omega(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{\omega(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{0,7143}{16} : \frac{0,1071}{12} = 0,04464 : 0,008925 = 5 : 1$$

Предположим, что в состав вещества **D** входят 1 атом углерода и 5 атомов кислорода, тогда молярная масса **D** равна 112 г/моль. На остаток, не включающий атомы C и O, приходится 20 г/моль, что соответствует 2 атомам бериллия и 2 атомам водорода. Образующийся осадок представляет собой основной карбонат бериллия **D** – $\text{Be}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$.

Уравнения реакций 1-5:

- 1) $\text{Be} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BeCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$
- 2) $\text{Be} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + \text{H}_2\uparrow$
- 3) $\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{Be}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaHCO}_3$ (допустимо до Na_2CO_3)



Критерии оценивания	
1. Установление металла X	2 балла
2. Установление формул веществ A-D	по 2 балла
3. Уравнения <i>реакций 1-5</i>	по 2 балла
Итого	20 баллов

Задача 4. Несмотря на то что химический элемент **A** находится на втором месте по распространённости на Земле, соответствующее ему простое вещество было получено лишь 200 лет назад. Основным минералом **A** является тугоплавкое бинарное соединение **B**, содержащее 53,33 % кислорода по массе. Оно медленно растворяется в концентрированном растворе гидроксида калия (*реакция 1*). Среди некоторых специфических свойств **B** можно выделить взаимодействие с бинарным водородным соединением **B**, проявляющим кислотные свойства. Указанная реакция, протекающая при 400°C, приводит к образованию газообразного соединения **Г** (*реакция 2*), содержащего 26,92 % элемента **A** по массе. При нагревании **Г** с твёрдым веществом **Д**, представляющим собой соль кислоты **B** и некоего щелочного металла, образуется соединение **Е** (*реакция 3*), содержащее 12,73 % элемента **A** по массе. В XIX веке простое вещество **A** получали восстановлением соли **Е** металлическим калием при повышенной температуре (*реакция 4*), а в настоящее время используют восстановление **B** с помощью металлического магния (*реакция 5*).

1. Определите формулы веществ **A–E**. Ответ подтвердите расчётом.
2. Напишите уравнения *реакций 1–5*.

Рекомендации к решению

Определить зашифрованный в задаче элемент можно, исходя массовой доли кислорода в бинарном соединении **B**, имеющем общую формулу A_2O_n :

$$\omega(\text{O}) = \frac{n \cdot M(\text{O})}{2 \cdot M(\text{A}) + n \cdot M(\text{O})}$$

$$M(\text{A}) = \frac{M(\text{O}) \cdot (1 - \omega(\text{O}))}{2 \cdot \omega(\text{O})} \cdot n = \frac{16,000 \cdot (1 - 0,5333)}{2 \cdot 0,5333} \cdot n = 7,00 \cdot n$$

n	$M(\text{X})$	X_2O_n
1	7,00	Li_2O
2	14,00	NO
3	21,00	-
4	28,00	SiO_2
5	35,00	-
6	42,00	-
7	49,00	-
8	56,00	-

Среди полученных веществ в состав минерала могут входить оксиды лития и кремния, однако встретить оксид лития в виде индивидуального вещества в природе невозможно вследствие очень высокой активности. Тогда **B** – SiO_2 , **A** – Si .

Взаимодействие диоксида кремния с некоторым бинарным водородным соединением приводит к замещению кислорода на некоторый элемент. Учитывая массовую долю кремния в веществе Г, получаем:

$$M(\Gamma) = \frac{M(\text{Si})}{\omega(\text{Si})} = \frac{28,00 \text{ г/моль}}{0,2692} = 104 \text{ г/моль}$$

На остальные атомы в соединении Г приходится 76 г/моль. Кремний зачастую является четырёхвалентным, поэтому в случае, если полученное вещество имеет формулу SiX₄, M(X) = 19 г/моль. Это соответствует фтору. Тогда В – HF, Г – SiF₄.

При взаимодействии тетрафторида кремния и фторида некоторого щелочного металла образуется комплексное соединение – гексафторосиликат (IV) M₂[SiF₆]. Исходя из массовой доли кремния, можно установить, что в данной соли щелочным металлом является калий: Е – K₂[SiF₆], тогда Д – KF.

Уравнения реакций 1-5:

- 1) SiO₂ + 2KOH → K₂SiO₃ + H₂O
- 2) SiO₂ + 4HF → SiF₄ + 2H₂O
- 3) SiF₄ + 2KF → K₂[SiF₆]
- 4) K₂[SiF₆] + 4K → Si + 6KF
- 5) SiO₂ + 2Mg → Si + 2MgO

Критерии оценивания	
1. Установление элемента А Установление формул веществ Б-Е	1 балл по 2 балла
2. Уравнения реакций 1-3 Уравнения реакций 4-5	по 2 балла по 1,5 балла
Итого	20 баллов

Задача 5. Для регенерации выдыхаемого воздуха на подводных лодках или орбитальных станциях обычно используют картриджи с твёрдыми бинарными соединениями А и Б, образованные металлами одной группы Периодической системы химических элементов. Известно, что массовая доля кислорода в А составляет 41,03 %, в то время как в Б она немного больше – 45,07 %. После полного использования картриджей в них остаются только индивидуальные соли – В и Г соответственно (реакции 1 и 2). Соль В окрашивает бесцветное пламя в жёлтый цвет и реагирует с соляной кислотой с выделением газа (реакция 3). Г даёт светло-фиолетовое окрашивание пламени и малорастворимое вещество при взаимодействии с хлоридом бария (реакция 4).

1. Определите формулы веществ А–Г. Ответ подтвердите расчётом.
2. Напишите уравнения реакций 1–4.
3. В каком мольном соотношении необходимо взять вещества А и Б для наполнения регенерирующего картриджа, чтобы общее давление в системе при его использовании не менялось.
4. Какую минимальную массу смеси из п. 3 надо загрузить в картридж, чтобы регенерировать углекислый газ, выдыхаемый 4 членами экипажа за полёт длительностью 66 дней, если известно, что человек выдыхает в среднем 800 г углекислого газа в сутки.

Рекомендации к решению

Установим формулу бинарных соединений **А** и **Б**, исходя из массовой доли кислорода в них, считая, что формула каждого из них - X_2O_n :

$$\omega(O) = \frac{n \cdot M(O)}{2 \cdot M(X) + n \cdot M(O)}$$

$$M(X)_A = \frac{M(O) \cdot (1 - \omega(O))}{2 \cdot \omega(O)} \cdot n = \frac{16,000 \cdot (1 - 0,4103)}{2 \cdot 0,4103} \cdot n = 11,5 \cdot n$$

$$M(X)_B = \frac{M(O) \cdot (1 - \omega(O))}{2 \cdot \omega(O)} \cdot n = \frac{16,000 \cdot (1 - 0,4507)}{2 \cdot 0,4507} \cdot n = 9,75 \cdot n$$

Поскольку при взаимодействии соединений **А** и **Б** с диоксидом углерода выделяется кислород, они являются пероксидами или надпероксидами активных металлов. Путём несложного перебора приходим к пероксиду натрия **А** – Na_2O_2 и надпероксиду калия **Б** – KO_2 (или K_2O_4). При их взаимодействии с диоксидом углерода образуются карбонаты натрия и калия соответственно **В** – Na_2CO_3 и **Г** – K_2CO_3 .

Уравнения реакций 1-4:

- 1) $2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$
- 2) $4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$ или $2K_2O_4 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$
- 3) $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2$
- 4) $K_2CO_3 + BaCl_2 \rightarrow BaCO_3 \downarrow + 2KCl$

В ходе первой реакции из $2x$ моль CO_2 образуются x моль O_2 , во второй – из $2y$ моль CO_2 – $3y$ моль O_2 . Поскольку общее давление в системе не изменяется, общее количество CO_2 и кислорода совпадают:

$$2x + 2y = x + 3y$$

$$x = y$$

Согласно нашему предположению, в картридже должно быть $2x = 2y$ моль Na_2O_2 и $4y$ моль KO_2 , что говорит о мольном соотношении веществ 1:2.

Рассчитаем общее количество CO_2 , выдыхаемого членами экипажа за указанный промежуток времени:

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} = \frac{800 \text{ г} \cdot 66 \cdot 4}{44 \text{ г/моль}} = 4800 \text{ моль}$$

Тогда в каждую реакцию должно вступить ровно половина из указанного количества, то есть по 2400 моль. Для поглощения такого количества CO_2 необходимо 2400 моль Na_2O_2 и 4800 моль KO_2 соответственно. Рассчитаем минимальную массу смеси, которую нужно загрузить в картридж:

$$m(Na_2O_2) = M(Na_2O_2) \cdot n(Na_2O_2) = 78 \text{ г/моль} \cdot 2400 \text{ моль} = 187,2 \text{ кг}$$

$$m(KO_2) = M(KO_2) \cdot n(KO_2) = 71 \text{ г/моль} \cdot 4800 \text{ моль} = 340,8 \text{ кг}$$

$$m(\text{смеси}) = m(Na_2O_2) + m(KO_2) = 187,2 \text{ кг} + 340,8 \text{ кг} = 528 \text{ кг}$$

Критерии оценивания	
1. Установление формул веществ А и Б Установление формул веществ В и Г	по 3 балла по 1 баллу
2. Уравнения реакций 1-4	по 1 баллу
3. Определение мольного соотношения веществ в картридже	4 балла
4. Расчёт общей массы веществ в картридже	4 балла
Итого	20 баллов

