

**Межрегиональная предметная олимпиада  
Казанского федерального университета  
по предмету «Химия»  
2022-2023 учебный год  
9 класс  
Задача 1. Получение комплексов**

Раствор комплексного соединения  $K_1$  синего цвета может быть получен взаимодействием зеленого раствора соли  $A_1$  (представляющей собой сульфат с содержанием металла  $M_1$  37,93% по массе) с концентрированным раствором аммиака. Координационное соединение  $K_2$  образуется в результате сливания растворов соли  $A_2$  (сульфат металла  $M_2$ ) и цианида калия. Взаимодействием растворов комплексов  $K_1$  и  $K_2$  могут быть получены сиреневые кристаллы координационного соединения  $K_3$ .

Металлы  $M_1$  и  $M_2$  при определенных условиях могут реагировать с угарным газом, образуя комплексы  $K_4$  и  $K_5$ , причем содержание кислорода в них составляет 37,48% и 40,84% по массе соответственно.

1. Определите металлы  $M_1$  и  $M_2$ , установите формулы солей  $A_1$  и  $A_2$ , а также комплексов  $K_1$ - $K_5$ . Формулы координационных соединений подтвердите расчетом. Дополнительно известно, что содержание металла  $M_1$  в комплексе  $K_1$  составляет 30,12%; соль  $A_2$  в твердом виде имеет бледно-зеленую окраску, а содержание металла  $M_2$  в комплексах  $K_2$  и  $K_3$  составляет 15,16% и 10,46% по массе соответственно.

Комплексное соединение  $K_6$  образуется при растворении металла  $M_3$  в растворе цианида натрия в присутствии кислорода. При термическом разложении комплекса  $K_6$  образуется газ  $A_3$ , который относят к «псевдогалогенам». Если подействовать металлом  $M_4$  на комплекс  $K_6$ , то получается координационное соединение  $K_7$ . Металл  $M_4$  может растворяться в растворе гидроксида натрия с образованием комплекса  $K_8$ .

2. Определите металлы  $M_3$  и  $M_4$ , установите формулу газа  $A_3$  и комплексов  $K_6$ - $K_8$ . Формулы координационных соединений  $K_6$  и  $K_8$  подтвердите расчетом, если дополнительно известно, что содержание металла  $M_3$  в комплексе  $K_6$  составляет 72,42%, а содержание металла  $M_4$  в комплексе  $K_8$  – 36,45% по массе.

3. Приведите уравнения упомянутых в условии задачи реакций образования комплексов  $K_6$  и  $K_8$ , а также термического разложения  $K_6$ .

**Задача 2. Друзья и соседи**

Юным химикам Ильдару и Айдару учитель выдал похожие задачи о металлах  $X$  и  $Y$ , являющихся соседями по подгруппе в таблице Менделеева.

### Задача Ильдара:

«В результате экспериментов по окислению галогенами порций по 3,000 г металла **X** были получены следующие порции продуктов.

галоген	F <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>
масса продуктов, г	7,558	9,136	16,887	22,442
состав продуктов	смесь <b>X</b> <sub>1</sub> и <b>X</b> <sub>2</sub>	<b>X</b> <sub>3</sub>	<b>X</b> <sub>4</sub>	смесь <b>X</b> <sub>5</sub> и <b>X</b> <sub>6</sub>

Определить металл и продукты его взаимодействия с галогенами.»

### Задача Айдара:

«В результате экспериментов по окислению галогенами порций по 2,000 г металла **Y** были получены следующие порции продуктов.

галоген	F <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>
масса продуктов, г	4,376	5,695	8,662	9,498
состав продуктов	<b>Y</b> <sub>1</sub>	<b>Y</b> <sub>2</sub>	<b>Y</b> <sub>3</sub>	смесь <b>Y</b> <sub>4</sub> и <b>Y</b> <sub>5</sub>

Определить металл и продукты его взаимодействия с галогенами.»

Несмотря на то, что задача Айдара чуть короче, Ильдар справился с задачей быстрее.

1. Определите металлы **X** и **Y** и продукты их окисления **X**<sub>1</sub>–**X**<sub>6</sub>, **Y**<sub>1</sub>–**Y**<sub>5</sub>. Ответ проиллюстрируйте расчетом.
2. Кратко объясните, почему Ильдар справился с задачей быстрее (разницей в их скорости и способностях это не обусловлено).
3. Рассчитайте массы **X**<sub>5</sub> и **X**<sub>6</sub> в смеси, описанной в задаче Ильдара.

Чтобы любивший похвастаться Ильдар не мешал Айдару дорешивать задачу, учитель дал ему дополнительный вопрос:

«Крепким щелочным раствором гипохлорита натрия **X**<sub>5</sub> и **X**<sub>6</sub> окисляются с образованием одинаковых продуктов. Иод в продуктах имеет степень окисления +5, а металл **X** – высшую степень окисления. Запишите уравнения обеих реакций.»

4. Помогите Ильдару верно записать обе реакции и расставить коэффициенты.

Когда оба друга справились со своими задачами, учитель за оставшееся время попросил решить их вместе еще одну задачу о смеси тех же металлов **X** и **Y**, в которой мы скрыли от вас одно численное значение:

«Высокотемпературное окисление кислородом 10,00 г смеси **X** и **Y** дало ... г смеси их оксидов. Определите массы **X** и **Y** в исходной смеси.»

Сначала мальчики не могли определиться с тем, какие именно оксиды образуются в реакциях. Айдар точно помнил, что **X** окисляется до оксида в той же

степени окисления, что и в  $X_3$ , но не мог определиться, окисляется ли  $Y$  до такой же степени окисления или до высшей. Посмотрев еще раз на свои записи и на данные задачи, он понял, что масса полученной смеси однозначно говорит в пользу окисления  $Y$  до высшего оксида.

5. Какой могла быть масса полученной смеси оксидов? Ответ дайте в виде диапазона значений.

Ильдар в это же время так и не сообразил, какие оксиды образуются в этих реакциях, а потому быстро подглядел формулы оксидов у Айдара и переписал их к себе. Переписывая, однако, он ошибся и перепутал местами металлы в формулах оксидов. Дело оставалось за малым, и оба товарища быстро решили задачу (каждый – для своих формул оксидов).

Каково же было удивление учителя, когда он, просматривая их решения, увидел одинаковый итоговый ответ!

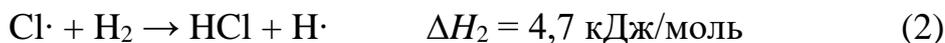
6. Какая масса смеси была указана в задаче?

### Задача 3. Скованные одной цепью

Водород взаимодействует с хлором на свету с образованием хлороводорода. Эта реакция является важной модельной реакцией, так как хорошо показывает принцип работы цепных процессов. Реакция начинается с диссоциации хлора на атомы на свету:



Образующиеся активные атомы хлора запускают цепной процесс: из молекулы водорода генерируется атом водорода (и молекула продукта –  $\text{HCl}$ ), а из атома водорода регенерируется атом хлора, который может участвовать в этом цикле из двух реакций вновь.



Таким образом 1 фотон света, вызвавший диссоциацию 1 молекулы хлора на первой стадии на 2 атома хлора, вызывает образование большого количества молекул  $\text{HCl}$ , так как каждый атом хлора за цикл из двух стадий способен воспроизводить себя многократно. Среднее количество таких циклов, которое вызывает каждый образовавшийся на первой стадии атом хлора, называется длиной цепи цепного процесса.

Цепной процесс имел бы бесконечную длину цепи, если бы не процессы, вызывающие гибель активных частиц – атомов водорода и хлора:



1. Вычислите энтальпию реакции  $\Delta H_4$  и энтальпию реакции  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$ .

2. Активность протекания процесса определяется легкостью диссоциации галогена на атомы, прочностью молекулы водорода и устойчивостью образующихся молекул продукта. Количественно всё это можно охарактеризовать энергиями связи (то есть энтальпиями разрыва ковалентной связи). Рассчитайте энергии связей в молекулах  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{HCl}$ .

3. Реакция водорода с каким галогеном протекает наиболее тяжело? С каким фактором это связано?

4. Реакция водорода с каким галогеном протекает наиболее активно? С каким фактором это связано?

В некотором эксперименте сосуд, содержащий водород и хлор, был облучен так, что смесь поглотила в виде света 0,200 Дж энергии. Средняя энергия каждого фотона составляла 6,2 эВ.

5. Считая, что каждый поглощенный фотон вызывает распад 1 молекулы хлора, а каждый образовавшийся атом хлора вступает в реакцию (4) с вероятностью 0,05%, а кроме нее вступает только в реакцию (2), определите:

- число образовавшихся в сосуде после облучения атомов хлора;
- длину цепи произошедшей цепной реакции;
- массу образовавшегося  $\text{HCl}$ .

Дополнительная информация:

$$1 \text{ эВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$$

#### Задача 4. – Красиво? – Si!

Кремний и кислород – самые распространенные в земной коре элементы, образующие большое количество устойчивых соединений. Накопленный опыт показывает, что при нормальных условиях все оксиды кремния, силикаты и другие соединения, содержащие связи Si–O, построены по очень простым принципам:

- кремний образует 4 одинарные связи кремний-кислород;
- между парой атомов кремния обычно образуется не более 1 мостикового атома кислорода.

Такое единообразие, казалось бы, должно сильно ограничивать химию кремния, однако, как показывает практика, богатство и разнообразие структур со связями кремний-кислород поражает воображение: даже обычный раствор сили-

ката натрия или калия содержит в действительности несколько десятков различных анионов! Все они подчиняются двум указанными принципам и содержат либо мостиковые, либо концевые атомы кислорода.

Для удобства далее будем записывать не сами анионы, а нейтральные молекулы соответствующих им кислот.

1. Простейший анион, присутствующий в растворах силикатов – это  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Изобразите структурную формулу соответствующей ему кислоты  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Какую форму имеет этот анион?

2. Заполните пропуски в таблице с информацией о структуре молекул кислот, соответствующих некоторым анионам, присутствующим в растворах силикатов:

№	Молекула	Число мостиковых атомов кислорода	Число концевых атомов кислорода
1	$\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$	1	...
2	$\text{H}_8\text{Si}_3\text{O}_{10}$	...	8
3	...	3	6
4	...	3	10
5	$\text{H}_8\text{Si}_4\text{O}_{12}$	...	...
6	$\text{H}_...\text{Si}_4\text{O}...$	6	...
7	$\text{H}_{10}\text{Si}_5\text{O}...$	...	...
8	$\text{H}_...\text{Si}_...\text{O}_{20}$	...	8

3. Молекулы №1, 2 и 4 образуют один гомологический ряд, то есть ряд молекул, каждый следующий член которого отличается от предыдущего на определенный и постоянный структурный фрагмент. Определите молекулярную и структурную формулу следующего члена этого ряда.

4. В растворе присутствуют два типа молекул, соответствующих молекулярной формуле №5, с различной структурой. Изобразите структурные формулы обоих изомеров.

5. Молекулы с составом №7 также присутствуют в растворе в виде нескольких изомеров. Во всех них присутствует либо шестичленный, либо восьмичленный цикл из атомов кремния и кислорода. Сколько изомеров состава №7 соответствует этому требованию? Учтите, что они, как и все обсуждаемые в задаче молекулы, не содержат связей кислород-кислород.

6. В молекуле №6 содержатся только шестичленные циклы (состоящие из 6 атомов). Изобразите её структурную формулу.

7. В молекуле №8 атомы кремния в пространстве образуют куб. Изобразите структурную формулу этой молекулы.