

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки» - 2020. Финальный тур.
Время на выполнение заданий – 180 минут
9 класс

Задача 9-1

При взаимодействии бинарного соединения **A** массой 2.1 г с водой выделяется 2.24 л газа (н.у.) и образуется бесцветный водный раствор вещества **B**. Добавление к этому раствору кислоты **C** приводит к образованию осадка вещества **D**, содержащего 18.60% (масс.) серы, 2.33% водорода, 55.81% кислорода и элемент **E**. При прокаливании при температуре 120°C вещество **D** теряет 15.70% исходной массы, а при температуре 200°C – 20.93%. В результате прокаливании образуются соединения **F** и **G** соответственно.

1. Установите химические формулы **A – G**. Приведите необходимые расчеты.
2. Напишите уравнения химических реакций, упомянутых в тексте задачи.
3. Как называют и где используют продукт **F**? Какое свойство обуславливает его использование? Почему для этой цели не подходит продукт **G**?

Решение

1. Определим эмпирическую формулу осадка **D**. Количества атомов элементов в соединении **D** соотносятся как

$$n(S) : n(H) : n(O) : n(E) = 18.6 / 32 : 2.33 / 1 : 55.81 / 16 : (100 - 18.6 - 2.33 - 55.81) / M(E) = \\ = 0.5813 : 2.33 : 3.4881 : 23.26 / M(E) = 1 : 4 : 6 : 40 / M(E).$$

Для разных возможных соотношений $n(S) : n(E)$ находим:

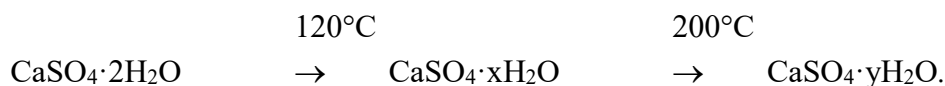
$n(S) : n(E)$	Молярная масса E, M(E), г/моль	Элемент E
1	40	Ca
2	80	Br?
3	120	Sn, Sb?
4	160	Dy?
5	200	Hg?

Единственное приемлемое с химической точки зрения решение следующее:
 элемент **E** – кальций, соединение **D** – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Поскольку осадок **D** образуется при действии кислоты **C**, не содержащей кальций, на раствор соединения **B**, приходим к выводу, что кальций входит в состав соединения **A**. Под действием воды разлагаются с выделением газа гидрид, нитрид, карбид кальция. Легко проверить, что условию задачи соответствует гидрид (при взаимодействии с водой 2.1 г (0.05 моль) CaH_2 выделяется 0.10 моль (2.24 л) водорода).

Таким образом, элемент **E** – это Ca,
 соединения: **A** – CaH_2 , **B** – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, **C** – H_2SO_4 , **D** – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс).

Найдем состав продуктов **F** и **G**, образующийся при термическом разложении $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:



Решая уравнение:

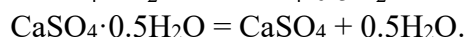
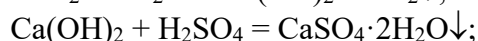
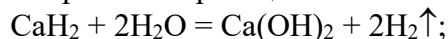
$$M(\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) / M(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = (136 + 18x) / 172 = (100 - 15.7) / 100;$$

$$M(\text{CaSO}_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}) / M(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = (136 + 18y) / 172 = (100 - 20.93) / 100.$$

Отсюда находим, что $x = 0.5$; $y = 0$.

Таким образом, соединение **F** – $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$; соединение **G** – CaSO_4 .

2. Уравнения реакций:



3. Соединение **F** ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) – это жженный гипс (алебастр). При замешивании

порошка алебастра с водой образуется гипс. Вследствие кристаллизации масса становится твердой. Пережженный, полностью обезвоженный гипс (в природе встречается в виде ангидрита) имеет устойчивую кристаллическую структуру, вследствие чего воду не присоединяет.

Разбалловка:

За установление химических формул А – G по 2 б	14 б
За уравнения реакций по 2 б	8 б
За название, использование и указание свойства F	2 б
За объяснение невозможности использования G	1 б
Всего	25 б

Катион анион	H ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺
OH ⁻		Р	Р	Р	–	Р	М	М	Н	Н	–	Н	Н	Н	Н
NO ₃ ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Cl ⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Р
S ²⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Р	–	–	Н	Н	Н	Н	Н	Н	–
SO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	М	М	М	Р	М	–	–	Н	М	–	–
SO ₄ ²⁻	Р	Р	Р	Р	М	Н	М	Р	Р	Р	–	М	Р	Р	Р
CO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	–	Н	Н	Н	–	–
SiO ₃ ²⁻	Н	–	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	–	–	Н	Н	–	–
PO ₄ ³⁻	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
CH ₃ COO ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р

Р – растворимо (>1 г в 100 г воды);
М – малорастворимо (0.001 г - 1 г в 100 г воды);
Н – нерастворимо (< 0.001 г в 100 г воды);
– разрушается водой или не существует

Задача 9-2

Учитель химии загадал устойчивое в индивидуальном состоянии неорганическое соединение X и отдельно каждому из трех учеников дал комментарии по этому соединению.

Первому ученику: «Молекула соединения X состоит из атомов водорода, кислорода и одного атома элемента третьего периода Периодической системы, который имеет наивысшую для него степень окисления».

Второму ученику: «X является единственным продуктом реакции соответствующего оксида с водой, причем из 1 моль воды и 1 моль оксида образуется 1 моль соединения X. Атомная масса тяжелого элемента, входящего в состав X, меньше 35 а.е.м.».

Третьему ученику: «X не содержит атомов металлов, а его молярная масса меньше 100 г/моль. При реакции с баритовой водой водный раствор соединения X дает осадок».

Поразмыслив над своими подсказками, ребята по очереди дали такие ответы, причем каждый сначала прокомментировал свою подсказку.

Первый ученик: «На основе своей подсказки я могу предложить девять вариантов ответа относительно соединения X».

Второй ученик: «С помощью только своей подсказки я могу предложить три варианты ответа, но на основе своей подсказки и рекомендации первого ученика я утверждаю, что вариантов ответа – два».

Третий ученик: «На основе своей подсказки и таблицы растворимости я могу предложить шесть вариантов ответа. Когда я услышал подсказку первого ученика, то мое количество вариантов уменьшилась до двух. А когда стала известна подсказка второго ученика, то у меня остался единственный вариант ответа относительно соединения X».

1. Не ошиблись ученики в количествах вариантов ответов? Напишите все варианты ответов соединения X, которые подразумевали ученики во время каждого этапа рассуждений. Ответ поясните.
2. Установите соединение X.

3. Напишите все уравнения реакций для каждого из вариантов ответа, которые упоминаются в условии задачи.

4. Не достаточно ли было лишь двух подсказок, чтобы установить соединение X?

При решении задачи пользуйтесь таблицей растворимости.

Решение

1. Очевидно, что по условиям первой подсказки соединению X соответствуют такие вещества:

NaOH, Mg(OH)₂, Al(OH)₃, H₂SiO₃, H₄SiO₄, H₃PO₄, HPO₃, H₂SO₄, HClO₄ – всего 9.

По условиям второй подсказки соединению X отвечают такие вещества:

Be(OH)₂, Mg(OH)₂, H₂SO₄ – всего 3.

Условиям обоих подсказок соответствуют соединения:

Mg(OH)₂, H₂SO₄.

По условиям третьей подсказки соединению X отвечают такие вещества:

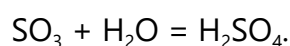
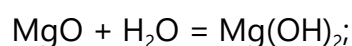
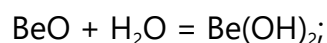
CO₂, HPO₃, H₃PO₄, SO₂, SO₃, H₂SO₄ – всего 6.

Условиям первой и третьей подсказок отвечают соединения:

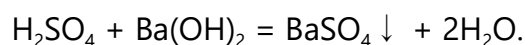
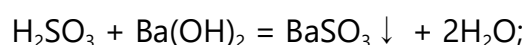
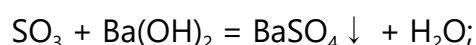
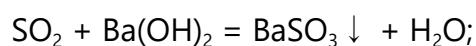
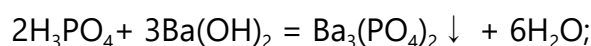
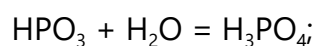
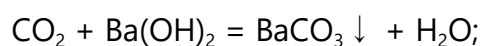
H₃PO₄, H₂SO₄.

2. Из трех подсказок очевидно, что соединение X – H₂SO₄.

3. Уравнения реакций оксидов с водой:



Уравнения реакций с баритовой водой:



4. Очевидно, что последних двух подсказок достаточно для выяснения соединения X.

Разбалловка:

За все варианты ответов, включая пояснения	9
За установление соединения X	5
За уравнения реакций	10 б
За ответ на вопрос 4	1
Всего	25 б

Задача 9-3

Из дома на мороз вынесли литровые бутылки из стекла или пластика, пустые или с водой, плотно или неплотно завинченные крышками. Заполните все ячейки таблицы наблюдаемыми эффектами, а также оцените в каждом случае давление под пробкой в бутылках (1 атм, <1 атм, >1 атм, или точное значение, если это возможно). Примите, что давление воздуха в день эксперимента равно 1 атм., перепад температуры от +25 до -30°C.

Содержание бутылки	Бутылка с герметично завинченной крышкой		Бутылка с негерметичнозавинченной крышкой	
	Стекло	Пластик	Стекло	Пластик
Воздух				
Вода				

Решение

Определим давление в пустой герметично закрытой стеклянной бутылке, воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона $PV=nRT$ или Гей-Люссака $P_1/T_1=P_2/T_2$.

$$P = 1 \cdot 243 / 298 = 0.815 \text{ атм.}$$

Содержание бутылки	Бутылка с герметично завинченной крышкой		Бутылка с негерметичнозавинченной крышкой	
	Стекло	Пластик	Стекло	Пластик
Воздух	<1 атм. (0.815 атм.), нет эффекта	<1 атм., бутылка сжимается	1 атм., нет эффекта	1 атм., нет эффекта
Вода	>1 атм, вода при замерзании расширяется и разрывает бутылку	>1 атм, вода при замерзании расширяется и раздувает бутылку	1 атм, вода при замерзании расширяется и разрывает бутылку	1 атм, вода при замерзании расширяется и раздувает бутылку

Разбалловка:

За расчет давления 0.815 атм.	4 б
За указание давления (1, >1, <1 атм.) по 1 б.	8 б
За указание на отсутствие визуального эффекта по 1 б	3 б
За описание эффектов по 2 б	10 б
Всего	25 б

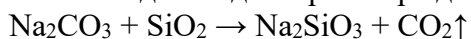
Задача 9-4

В химическом кабинете в стеклянных склянках хранятся 0.1-молярные растворы SnF_2 , Na_2CO_3 , NaOH , HF . Стекло этих склянок со временем помутнело сильнее, чем от простой воды, так что не отмывается, и вернуть ему прозрачность невозможно. С чем это связано? Ответ обоснуйте с привлечением уравнений реакций. Состав стекла считайте таким: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$. Какая среда у указанных 4 растворов, кислая, щелочная или нейтральная?

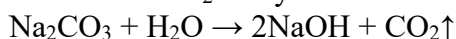
Решение

Гидроксид натрия NaOH реагирует со стеклом путем вымывания оксида кремния:
 $2\text{NaOH} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Сода в водном растворе действует на стекло быстрее, чем NaOH :



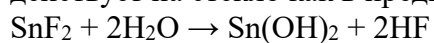
Кроме этого сода в растворе частично гидролизует с образованием NaOH , который вымывает SiO_2 как указано выше.



Плавиковая кислота растворяет стекло наиболее активно:



Фторид олова в водном растворе частично гидролизуеться, и образующаяся HF действует на стекло как в предыдущем уравнении.



Кислая среда у раствора кислоты HF и у раствора SnF₂ (соль кислоты средней силы и слабого основания). Щелочная среда у раствора NaOH и у раствора соды (соль сильного основания и слабой кислоты).

Разбалловка:

За объяснение действия на стекло 4 растворов с уравнениями по 5 б	20 б
За определение кислотности среды 4 растворов	5 б
Всего	25 б