

## 8 класс

Все задачи по 25 баллов

### Задача 1. Непривычные молекулы.

**Вариант 1.** Элемент **X** образует с кислородом несколько бинарных соединений, наиболее известными из которых являются **A** (массовая доля элемента X,  $\omega_X = 50,0\%$ ) и **B** ( $\omega_X = 40,0\%$ ). Однако, существуют и другие бинарные соединения элемента X с кислородом, например, **C** ( $\omega_X = 33,3\%$ ) и **D** ( $\omega_X = 94,12\%$ ). Установите состав веществ **A**, **B**, **C** и **D**, нарисуйте их структурные формулы. Опишите химические свойства этих бинарных соединений. Какие еще бинарные соединения элемента X с кислородом Вам известны?

#### РЕШЕНИЕ

**A** –  $\text{SO}_2$ , **B** –  $\text{SO}_3$ , **C** –  $\text{SO}_4$ , **D** –  $\text{S}_8\text{O}$ .  $\text{SO}$  или  $\text{S}_2\text{O}$ , так же принимаются любые другие бинарные соединения серы

По 2 балла за молекулярные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за структурные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за реакции A-D (макс 8 баллов) (достаточно по 1 реакции для каждого вещества)

1 балл за любое другое бинарное соединение.

ИТОГО: 25 баллов

**Вариант 2.** Элемент **X** образует с кислородом несколько бинарных соединений, наиболее известными являются **A** (массовая доля элемента X,  $\omega_X = 46,67\%$ ) и **B** ( $\omega_X = 30,43\%$ ). Однако, существуют и другие бинарные соединения элемента X с кислородом, например, **C** ( $\omega_X = 22,58\%$ ) и **D** ( $\omega_X = 77,78\%$ ). Установите состав веществ **A**, **B**, **C** и **D**, нарисуйте их структурные формулы. Опишите химические свойства этих бинарных соединений. Какие еще бинарные соединения элемента X с кислородом Вам известны?

#### РЕШЕНИЕ

**A** –  $\text{NO}$ , **B** –  $\text{NO}_2$ , **C** –  $\text{NO}_3$ , **D** –  $\text{N}_4\text{O}$  ( $\text{NO}^+\text{N}_3^-$ ).  $\text{N}_2\text{O}$ , так же принимаются любые другие бинарные соединения азота.

По 2 балла за молекулярные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за структурные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за реакции A-D (макс 8 баллов) (достаточно по 1 реакции для каждого вещества)

1 балл за любое другое бинарное соединение.

ИТОГО: 25 баллов

**Вариант 3.** Элемент **X** образует с кислородом несколько бинарных соединений, наиболее известными являются **A** (массовая доля элемента X,  $\omega_X = 42,86\%$ ) и **B** ( $\omega_X = 27,27\%$ ). Однако, существуют и другие бинарные соединения элемента X с кислородом, например, **C** ( $\omega_X = 20,0\%$ ) и **D** ( $\omega_X = 52,94\%$ ). Установите состав веществ **A**, **B**, **C** и **D**, нарисуйте их структурные формулы. Опишите химические свойства этих бинарных соединений. Какие еще бинарные соединения элемента X с кислородом Вам известны?

### РЕШЕНИЕ

**A** – CO, **B** – CO<sub>2</sub>, **C** – CO<sub>3</sub>, **D** – C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>. C<sub>12</sub>O<sub>9</sub>, так же принимаются любые другие бинарные соединения углерода

По 2 балла за молекулярные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за структурные формулы A-D (макс 8 баллов)

По 2 балла за реакции A-D (макс 8 баллов) (достаточно по 1 реакции для каждого вещества)

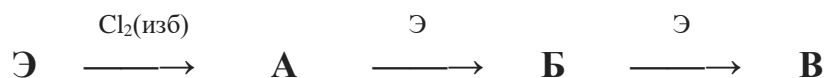
1 балл за любое другое бинарное соединение.

ИТОГО: 25 баллов

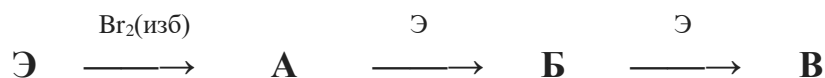
### Задача 2. Реакции элемента Э.

Реакции некоторого простого вещества **Э** показаны на схеме. Предложите два простых вещества, удовлетворяющих указанной схеме, а также напишите формулы соответствующих им соединений **A**, **Б**, **В**. Напишите уравнения реакций, укажите условия их проведения. Что произойдет, если **A** растворить а) в воде; б) в водном растворе щелочи; в) в кислоте? Напишите уравнения возможных реакций.

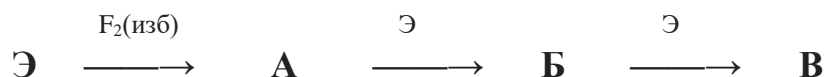
#### Вариант 1.



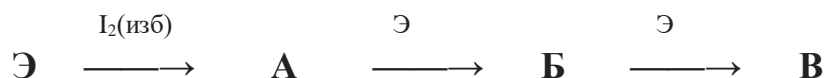
#### Вариант 2.



#### Вариант 3.



#### Вариант 4.



### РЕШЕНИЕ

Например, **Э** – галлий, для варианта 1: **A** – GaCl<sub>3</sub> (Ga<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>); **Б** – Ga<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub> (Ga[GaCl<sub>4</sub>]); **В** – GaCl.

По 0,5 балла за каждый предложенный элемент (макс 1 балл)

По 1 баллу за формулы А – В для двух элементов (макс 6 баллов)

По 1 балла за реакции в цепочке, всего 6 реакций для 2 разных элементов (макс 6 баллов)

По 2 баллу за реакции А с водой, щелочью и кислотой (макс 12 баллов)

### Задача 3. «Нано»

#### Вариант 1.

Как известно, нанотехнологии одним из наиболее быстро развивающихся направлений науки и техники. При этом все большее внимание уделяется синтезу и исследованию сферических биметаллических “core-shell” наночастиц, т.е., наночастиц, у которых внутреннее ядро состоит из атомов одного, а внешняя оболочка – из атомов другого металла.

А) Что такое наночастица?

Б) Оцените размер сферической наночастицы, ядро которой состоит из 80 атомов золота, а оболочка – из 100 атомов серебра. Плотность серебра примите равной  $10500 \text{ кг/м}^3$ , а плотность золота –  $19320 \text{ кг/м}^3$ .

В) Предложите способ синтеза суспензии, содержащей такие наночастицы, с использованием в качестве исходных веществ тетрахлороаурата натрия, ляписа, формиата натрия, воды.

Для справки: объем шара связан с радиусом согласно соотношению:  $V = 4/3\pi r^3$

#### Решение

1. *Наночастица* – объект, размеры которого во всех трех измерениях составляют не более 100 нм. Однако в нанотехнологии используется другое определение – *наночастица* – объект диаметром до нескольких сотен нанометров, малый размер которых также играет значительную роль в их свойствах и применении (**5 баллов**)

2. Определим вначале объем ядра.  $V_{\text{ядра}} = m/\rho = 80 \cdot 197 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} / 19,32 = 1,354 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3$

$r = (3V/4\pi)^{1/3} = 6,86 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,686 \text{ нм}$  (**5 баллов**)

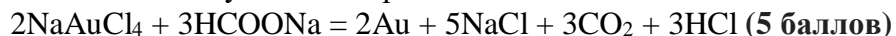
3. Определим объем оболочки.  $V_{\text{об}} = m/\rho = 100 \cdot 108 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} / 10,50 = 1,707 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3$

Для внешней оболочки справедливо соотношение:

$$V = 4/3\pi(r_2^3 - r_1^3)$$

Отсюда  $r_2 = (3(V_{\text{ядра}} + V_{\text{об}})/4\pi)^{1/3} = 9,035 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,904 \text{ нм}$  (**5 баллов**)

3. Вначале следует синтезировать наночастицы золота:



Вторым этапом будет синтез серебра:



#### Вариант 2.

Как известно, нанотехнологии являются одним из наиболее быстро развивающихся направлений науки и техники. При этом все большее внимание уделяется синтезу и исследованию сферических биметаллических “core-shell” наночастиц, т.е., наночастиц, у которых внутреннее ядро состоит из атомов одного, а внешняя оболочка – из атомов другого металла.

А) Что такое наночастица?

Б) Оцените размер сферической наночастицы, ядро которой состоит из 120 атомов серебра, а оболочка – из 300 атомов меди. Плотность серебра примите равной 10500 кг/м<sup>3</sup>, а плотность меди – 8920 кг/м<sup>3</sup>.

В) Предложите способ синтеза суспензии, содержащей такие наночастицы, с использованием в качестве исходных веществ азурита, ляписа, формиата натрия, воды, серной кислоты.

Для справки: объем шара связан с радиусом согласно соотношению:  $V = 4/3\pi r^3$

### Решение

1. Наночастица – объект, размеры которого во всех трех измерениях составляют не более 100 нм. Однако в нанотехнологии используется другое определение – наночастица – объект диаметром до нескольких сотен нанометров, малый размер которых также играет значительную роль в их свойствах и применении (**5 баллов**)

2. Определим вначале объем ядра.  $V_{\text{ядра}} = m/\rho = 120 \cdot 108 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} / 10,50 = 2,049 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3$

$r = (3V/4\pi)^{1/3} = 7,88 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,788 \text{ нм}$  (**5 баллов**)

3. Определим объем оболочки.  $V_{\text{об}} = m/\rho = 300 \cdot 63,5 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} / 8,92 = 3,545 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3$

Для внешней оболочки справедливо соотношение:

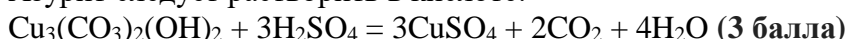
$$V = 4/3\pi(r_2^3 - r_1^3)$$

Отсюда  $r_2 = (3(V_{\text{ядра}} + V_{\text{об}})/4\pi)^{1/3} = 1,10 \cdot 10^{-7} \text{ см} = 1,10 \text{ нм}$  (**5 баллов**)

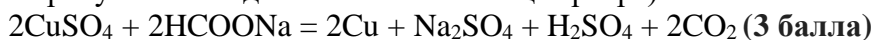
3. Вначале следует синтезировать наночастицы серебра:



Азурит следует растворить в кислоте:



Последний этап – восстановление меди формиатом натрия при нагревании (реакция идет в присутствии подложки – наночастиц серебра):



### Вариант 3.

Среди многочисленных типов наноматериалов одним из важнейших являются так называемые *квантовые точки* – фрагменты проводника или полупроводника с размером, близким к длине волны электрона. К таковым относятся, например, нанокристаллы селенида кадмия. Для их приготовления в инертной атмосфере к водному раствору хлорида кадмия добавляют водный раствор селенита натрия и раствор органического соединения (например, меркаптоэтанола) для предотвращения агрегации частиц.

Для полученных наночастиц положение максимума поглощения в электронных спектрах зависит от размера частиц. Увеличение диаметра частиц при нагревании сопровождается следующим сдвигом полосы поглощения:

t, °C	10	22	30	40	50	60	70
λ, нм	420	421	421	425	433	440	448
d, нм	2.78	2.78	2.78	2.83	2.90	?	3.03

1) Напишите уравнение реакции, лежащей в основе синтеза селенида кадмия;

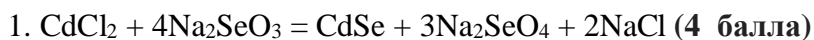
2) Для чего требуется проводить синтез в инертной атмосфере? По возможности проиллюстрируйте ответ уравнением реакции.

3) Оцените диаметр наночастиц при 60 °C;

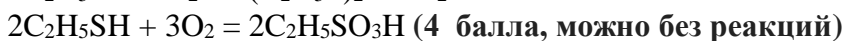
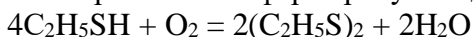
4) Как известно, в растворе происходит мономолекулярная адсорбция молекул тиола на поверхности наночастиц. Во сколько раз изменится количество сорбированного тиола при изменении температуры синтеза с 22 °C до 70 °C?

Для справки: площадь сферы может быть рассчитана по уравнению  $S = 4\pi r^2$ , объем шара связан с радиусом согласно соотношению:  $V = 4/3\pi r^3$

### Решение



2. Инертная атмосфера требуется для предотвращения окисления меркаптоэтанола:



3. Из приведенной таблицы следует, что на данном участке зависимость между температурой синтеза, диаметром наночастицы и положением максимума поглощения линейна. Тогда при 60 °С диаметр составляет 2.97 нм (4 балла)

4. Пусть при комнатной температуре синтезировали 100 наночастиц. Их суммарный объем составит  $100 \cdot 4/3\pi \cdot 1.39^3 = 1,125 \cdot 10^3 \text{ нм}^3$  (2 балла)

Площадь поверхности  $S = 100 \cdot 4\pi \cdot 1.39^2 = 2,428 \cdot 10^3 \text{ нм}^2$  (3 балла)

При 70 °С данный объем соответствует  $N = 1.125 \cdot 10^3 / (4/3\pi \cdot 1.5015^3) = 79.3$  частицы (2 балла)

Их суммарная площадь составит  $S = 79.3 \cdot 4\pi \cdot 1.5015^2 = 2,247 \cdot 10^3 \text{ нм}^2$  (3 балла). Следовательно, количество сорбированного тиола уменьшится в 1,09 раза (2 балла)

### Вариант 4.

Среди многочисленных типов наноматериалов одним из важнейших являются так называемые *квантовые точки* – фрагменты проводника или полупроводника с размером, близким к длине волны электрона. К таковым относятся, например, нанокристаллы теллурида кадмия. Для их приготовления в инертной атмосфере к водному раствору хлорида кадмия добавляют водный раствор теллурита натрия и раствор органического соединения (например, меркаптоэтанола) для предотвращения агрегации частиц.

Для полученных наночастиц положение максимума поглощения в электронных спектрах зависит от размера частиц. Увеличение диаметра частиц при нагревании сопровождается следующим сдвигом полосы поглощения:

t, °С	10	22	30	40	50	60	70
λ, нм	420	421	421	425	433	440	448
d, нм	3.09	3.09	3.11	3.25	3.40	?	3.67

1) Напишите уравнение реакции, лежащей в основе синтеза теллурида кадмия;

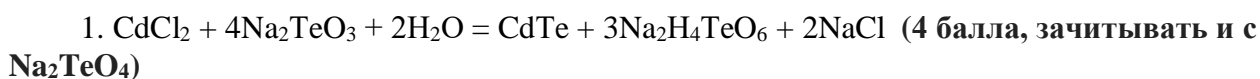
2) Для чего требуется проводить синтез в инертной атмосфере? По возможности проиллюстрируйте ответ уравнением реакции.

3) Оцените диаметр наночастиц при 60 °С;

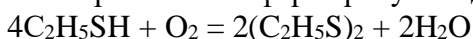
4) Как известно, в растворе происходит мономолекулярная адсорбция молекул тиола на поверхности наночастиц. Во сколько раз изменится количество сорбированного тиола при изменении температуры синтеза с 22 °С до 70 °С?

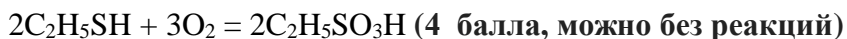
Для справки: площадь сферы может быть рассчитана по уравнению  $S = 4\pi r^2$ , объем шара связан с радиусом согласно соотношению:  $V = 4/3\pi r^3$

### Решение



2. Инертная атмосфера требуется для предотвращения окисления меркаптоэтанола:





3. Из приведенной таблицы следует, что на данном участке зависимость между температурой синтеза, диаметром наночастицы и положением максимума поглощения линейна. Тогда при 60 °С диаметр составляет 3.53 нм (4 балла)

4. Пусть при комнатной температуре синтезировали 100 наночастиц. Их суммарный объем составит  $100 \cdot \frac{4}{3}\pi \cdot 1.545^3 = 1,545 \cdot 10^3 \text{ нм}^3$  (2 балла)

Площадь поверхности  $S = 100 \cdot 4\pi \cdot 1.545^2 = 3,00 \cdot 10^3 \text{ нм}^2$  (3 балла)

При 70 °С данный объем соответствует  $N = 1.545 \cdot 10^3 / (\frac{4}{3}\pi \cdot 1.835^3) = 59.7$  частицы (2 балла)

Их суммарная площадь составит  $S = 59.7 \cdot 4\pi \cdot 1.835^2 = 2,526 \cdot 10^3 \text{ нм}^2$  (3 балла). Следовательно, количество сорбированного тиола уменьшится в 1,19 раза (3 балла)

#### Задача 4. «Минерал»

##### Вариант 1.

При прокаливании бесцветного природного минерала его масса уменьшается на 21,73%, а выделяющийся продукт полностью поглощается концентрированной серной кислотой. Проба минерала окрашивает пламя в фиолетовый цвет. Обработка минерала концентрированной серной кислотой приводит к выделению газа, хорошо растворимого в воде и не вызывающего помутнения известковой воды. Минерал полностью растворяется в воде, образуя бесцветный раствор. При действии на раствор минерала избытком растворов хлорида бария и нитрата серебра выпадают нерастворимые в кислотах белые осадки, массы которых соотносятся как 1.6 : 1, а при действии раствора щелочи выпадает белый осадок, растворимый в кислотах, но не в избытке щелочи. При прокаливании этого осадка его масса уменьшается на 31,03%. Определите состав минерала, приведите уравнения всех указанных в условии задачи реакций. Как называется этот минерал?

##### Решение

Газ, полностью поглощаемый серной кислотой – очевидно, пары воды. (1 балла)

Образование белых нерастворимых в воде и кислотах осадков как при действии соли бария так и при действии соли серебра, указывает, скорее всего, на наличие хлорид- и сульфат-ионов. Молярные массы сульфата бария и хлорида серебра соотносятся как 233:143,5 = 1.62:1, следовательно, в составе минерала эти анионы содержатся в соотношении 1:1. (2 балла)

Образование при действии щелочи белого осадка, растворимого в кислоте, но не в избытке

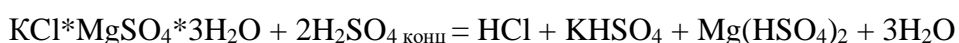
Щелочи, указывает, скорее всего, на присутствие ионов магния. Тогда осадок – гидроксид магния. При прокаливании он превращается в оксид, потеря массы составляет 18: (24 + 2\*17) = 31,03%. (2 балла)

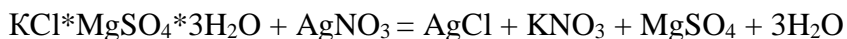
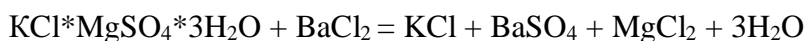
Искомый минерал тогда имеет состав  $\text{XCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (2 балла)

$$n \cdot 18 / (M(\text{X}) + 35.5 + 120 + n \cdot 18) = 0,2173$$

$$M(\text{X}) = 64.84n - 155,5$$

При  $n = 3$   $M(\text{X}) = 39$  г/моль – искомый металл – калий, минерал  $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (3 балла) – каинит (3 балла за название)





### Вариант 2.

При прокаливании образца природного минерала его масса уменьшается на 26,47%, а выделяющийся газ полностью поглощается концентрированной серной кислотой. Обработка минерала серной кислотой приводит к переходу части вещества в раствор, при этом остаются бесцветные кристаллы массой  $x$ , растворимые в воде. Если к этим кристаллам добавить этиловый спирт и каталитическое количество серной кислоты, то образуется газообразное вещество, горящее зеленым пламенем. При обработке полученного раствора избытком концентрированного раствора едкого кали образуется белый осадок массой  $y$ . Известно, что при прокаливании масса этого осадка уменьшается на 31,03%, а соотношение масс  $x : y$  составляет 6,41 : 1. Определите состав минерала, приведите уравнения всех указанных в условии задачи реакций. При решении используйте целочисленные значения атомных масс элементов.

### Решение

Газ, полностью поглощаемый серной кислотой – очевидно, пары воды. (1 балл)

Зеленое пламя указывает на наличие бора. Тогда бесцветные кристаллы, образующиеся при действии серной кислоты, – борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . (3 балла)

Белый осадок, нерастворимый в избытке щелочи, очевидно, гидроксид магния. При прокаливании он превращается в оксид, потеря массы составляет 18:  $(24 + 2 \cdot 17) = 31,03\%$ .

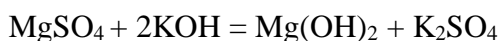
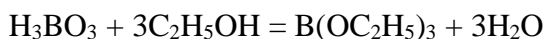
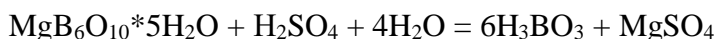
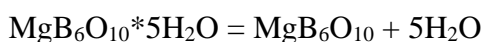
Соотношение масс  $x : y = n \cdot M(\text{H}_3\text{BO}_3) : M(\text{Mg}(\text{OH})_2)$

$$n \cdot 62/58 = 6,41 \text{ Отсюда } n = 6 \text{ (4 балла)}$$

Состав минерала  $\text{MgB}_6\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (3 балла)

$18n = M_{\text{минерала}} \cdot 26,47/73,53 = 250 \cdot 26,47/73,53$ . Отсюда  $n = 5$ . Минерал имеет состав  $\text{MgB}_6\text{O}_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (4 балла)

Реакции:



### Вариант 3.

При прокаливании бесцветного природного минерала его масса уменьшается на 21,56%, а выделяющийся продукт полностью поглощается концентрированной серной кислотой. Проба минерала окрашивает пламя в оранжевый цвет. Минерал полностью растворяется в воде, образуя бесцветный раствор. При действии на раствор минерала избытком растворов хлорида бария, гидроксида бария и фосфата натрия, соответственно, выпадают белые осадки, массы которых соотносятся как 1 : 1.124 : 0.187. Первый из осадков в кислотах нерастворим, второй при обработке концентрированной соляной кислотой растворяется частично, третий – частично. Определите состав минерала, приведите уравнения всех указанных в условии задачи реакций.

### Решение

Образование осадка при действии хлорида бария указывает на наличие сульфат-иона. Образование белого осадка, нерастворимого в избытке щелочи, позволяет предположить наличие иона магния. Тогда первый осадок – сульфат бария (2 балла), третий (образующийся при действии фосфата натрия) – фосфат магния (2 балла), второй – смесь сульфата бария и гидроксида магния (2 балла)

$$x \cdot 233 : y \cdot (262/3) = 1 : 0,187 \text{ Отсюда } x:y = 2$$

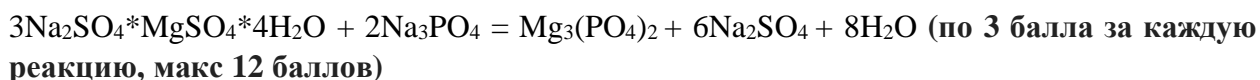
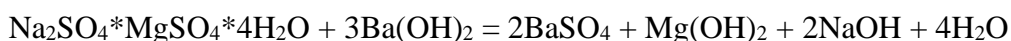
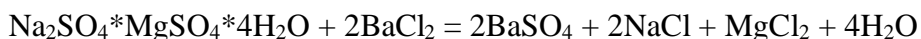
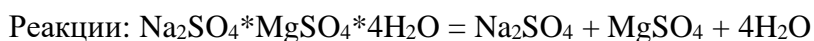
Состав минерала, вероятно,  $M_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot nH_2O$  (4 балла)

$$18n / (2x + 96 + 120 + 18n) = 0,2156$$

$$x = 32.74n - 108$$

При  $n = 4$   $x = 23$ , искомый катион – натрий

Минерал –  $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$  (3 балла)



### Вариант 4.

При прокаливании бесцветного природного минерала его масса уменьшается на 26,87%, а выделяющийся продукт полностью поглощается концентрированной серной кислотой. Проба минерала окрашивает пламя в фиолетовый цвет. Минерал полностью растворяется в воде, образуя бесцветный раствор. При действии на раствор минерала избытком растворов хлорида стронция, фосфата калия и гидроксида калия, соответственно, выпадают белые осадки, массы которых соотносятся как 6.34 : 1.51: 1. Первый из осадков нерастворим в кислотах, а второй и третий переходят в раствор при обработке концентрированной азотной кислотой. Определите состав минерала, приведите уравнения всех указанных в условии задачи реакций.

### Решение

Образование осадка при действии хлорида стронция указывает на наличие сульфат-иона. Образование белого осадка, нерастворимого в избытке щелочи, позволяет предположить наличие иона магния. Тогда первый осадок – сульфат стронция (**2 балла**), третий (образующийся при действии фосфата натрия) – гидроксид магния (**2 балла**), второй – фосфат магния (**2 балла**).

$$x \cdot 184 : y \cdot (262/3) = 6.34 : 1.51 \text{ Отсюда } x:y = 2$$

Состав минерала, вероятно,  $M_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot nH_2O$  (**4 балла**)

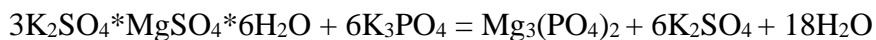
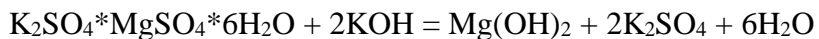
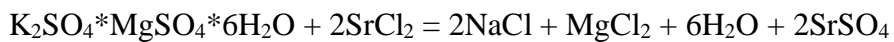
$$18n / (2x + 96 + 120 + 18n) = 0,2687$$

$$x = 24.49n - 108$$

При  $n = 6$   $x = 39$  искомый катион – калий

Минерал –  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$  (**3 балла**)

Реакции:  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O = K_2SO_4 + MgSO_4 + 6H_2O$



**(по 3 балла за каждую реакцию, макс 12 баллов)**