



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

## **ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Саттаров Ренат Маратович**

Технический балл: **90**

Дата: **12 мая 2020 года**

## Олимпиада «Ломоносов»

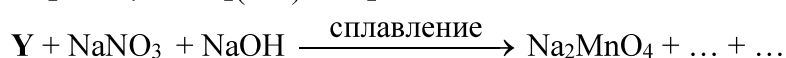
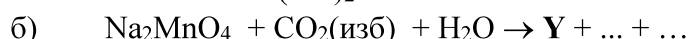
### 10 класс

1. Бинарное вещество имеет ионное строение. Общее число электронов во всех положительных ионах в 4 раза меньше общего числа электронов во всех отрицательных ионах. Предложите возможную формулу вещества и докажите, что она соответствует условию. Напишите электронную конфигурацию отрицательного иона в основном состоянии и положительного иона в первом возбужденном состоянии. **(8 баллов)**

2. Навеску кристаллогидрата гидрофосфата натрия массой 10.00 г выдержали в течение длительного времени при 300 °С. Масса полученного твердого вещества составила 7.47 г. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

**(8 баллов)**

3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим схемам превращений:



Определите неизвестные вещества.

**(8 баллов)**

4. Аммиак объемом 200 литров (н.у.) растворили в одном литре воды. Полученный раствор охладили до –60 °С, в результате чего из раствора выпал осадок – чистый лед. Рассчитайте массовую долю аммиака в исходном растворе и найдите массу выпавшего осадка, если известно, что массовая доля аммиака в насыщенном при –60 °С водном растворе равна 27%.

**(10 баллов)**

5. Навеску металла массой 8.96 г полностью растворили в 200 г 35%-ной азотной кислоты, при этом выделилось 5.376 л (н. у.) смеси двух газов, по плотности равной фтору. Найдите состав смеси (в об.%). Определите металл и напишите суммарное уравнение его растворения в этих условиях. Рассчитайте массовую долю нитрата металла в полученном растворе.

**(14 баллов)**

6. Теплоты сгорания аммиака и газообразного гидразина ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) равны 317 и 534 кДж/моль соответственно. В обоих случаях продукты сгорания – азот и пары воды. Определите энергию связи N–N в гидразине, если энергия связи  $\text{N}\equiv\text{N}$  составляет 945 кДж/моль. Примите, что энергия связи N–H одинакова в аммиаке и гидразине.

**(16 баллов)**

7. При нагревании происходит взаимодействие 17.7 г смеси изомерных органических веществ **A** и **B**, относящихся к одному классу соединений и не содержащих кратных связей углерод–углерод, со 100 мл 15%-ного водного раствора гидроксида калия (плотность 1.12 г/мл). Образуется смесь, состоящая из соли **C** и двух соединений **D** и **E**, являющихся ближайшими гомологами, которые образуются в мольном соотношении 1 : 2. Определите строение соединений **A** – **E**, приведите уравнения реакций.

**(16 баллов)**

8. Шпиль Главного здания МГУ имеет красивую желто-золотистую окраску, однако в нем нет ни грамма золота. Покрытие шпиля состоит из широко распространенного хрупкого, прозрачного, бесцветного материала **X**, в который для придания окраски добавлены оксиды **Y** и **Z**. В обоих оксидах элементы четырехвалентны. В оксиде **Y** масса элемента в 4.375 раза больше массы кислорода. Оксид **Z** получают из хлорида металла двумя способами: гидролизом с парами воды и прокаливанием в атмосфере кислорода. В первой реакции степени окисления элементов не изменяются, вторая является реакцией замещения. Для получения 100 г **Z** требуется минимально 237.5 г хлорида.

Назовите вещество **X** и перечислите 4 основных элемента, которые входят в его состав. Определите формулы веществ **Y** и **Z** (подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций получения **Z**.

**(20 баллов)**

Ренат Маратович Саттаров

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

**Задача: 1**

Ответ: -

Балл: 8

**Задача: 2**

Ответ: -

Балл: 8

**Задача: 3**

Ответ: -

Балл: 7

**Задача: 4**

Ответ: -

Балл: 10

**Задача: 5**

Ответ: -

Балл: 14

**Задача: 6**

Ответ: -

Балл: 12

**Задача: 7**

Ответ: -

Балл: 16

**Задача: 8**

Ответ: -

Балл: 15

## Задача 1

Пусть данное бинарное соединение вида  $A_x^{x+} B_y^{y-}$ , где  $A, B$  - некоторые элементы;  $x, y$  - их степени окисления.

Пусть  $a$  - количество электронов в нейтральном атоме  $A$ ,  $b$  - количество электронов в нейтральном атоме  $B$ .

Тогда,  $N(e^- \text{ в } A^{x+}) = a - x$ ;  $N(e^- \text{ в } B^{y-}) = b + y$ .

По условию задачи составим уравнение:

$$(a - x) \cdot 4 \cdot y = (b + x) \cdot x$$

$$4ay - 4xy = bx + x^2$$

$$b = \frac{4ay - 5xy}{x}$$

Допустим  $A$  - элемент,  $B$  - металл.

Подберем: Если  $A$  -  $Ca$ , то  $a = 20$ , следовательно  $b = 35$  и  $B$  -  $Vn$ .

Формула -  $CaVn_2$ . Данная формула соответствует условию, т.к. 1) это  $b$ -го членное строение, 2) это бинарное соединение 3)  $\frac{N(e^- \text{ в } \text{ан})}{N(e^- \text{ в } \text{кат})} = \frac{36 \cdot 2}{18} = \frac{72}{18} = 4$ .

Электронная конфигурация отрицательного иона в основном состоянии: ( $Vn^-$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$ .

Электронная конфигурация положительного иона ( $Ca^{2+}$ ) в первом возбужденном состоянии:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 3d^1$ .

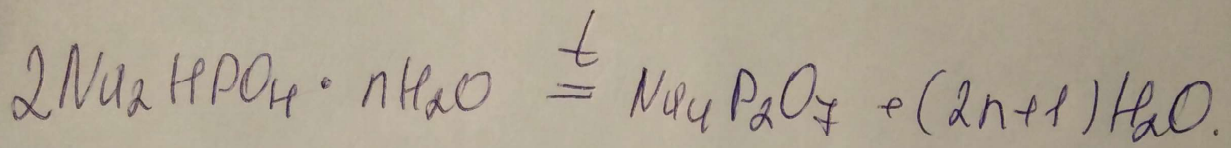


## Задача 2

Кристаллогидрат гидрофосфата натрия можно представить как  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Чаще всего, при разложении гидрофосфатов образуются пирофосфаты.

Реакцию можно записать в виде:



$$M(\text{кг}) = 142 + 18n \quad \text{г/моль}$$

$$M(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7) = 266 \quad \text{г/моль}$$

По уравнению реакции составим пропорцию:

$$\frac{m(\text{кг})}{\cancel{2} \cdot M(\text{кг})} = \frac{m(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)}{M(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)}$$

$$\frac{10}{2(142 + 18n)} = \frac{7,47}{266}$$

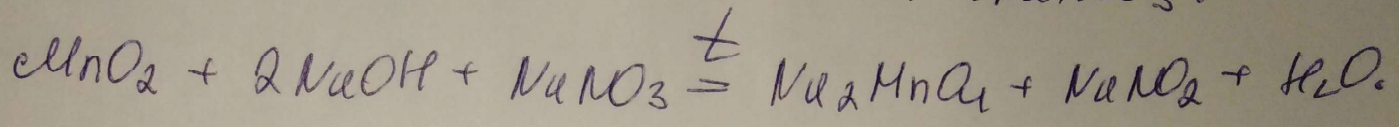
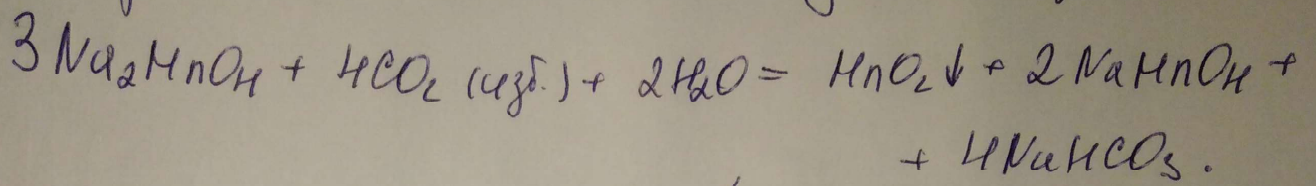
$$n = 2$$

Значит, исходное вещество —  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  
конечное —  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .

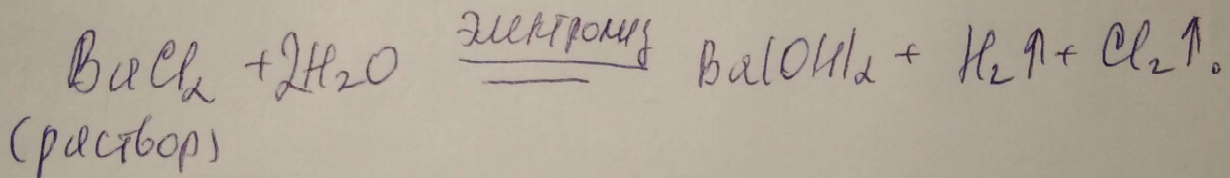
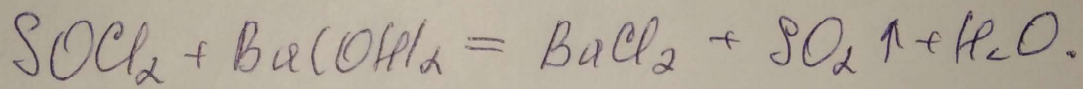


### Задача 3

б) Вещество Y -  $\text{MnO}_2$  (окисел марганца (IV)).



а) Вещество X -  $\text{BaCl}_2$  (хлорид бария).





Задача 4.

$$n(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)} = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m} = \frac{200 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 8,929 \text{ моль};$$

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}; \quad M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1000 \text{ г};$$

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 8,929 \text{ моль} \cdot 17 \text{ г/моль} = 151,786 \text{ г}.$$

$$\omega_1 = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,786 \text{ г}}{151,786 \text{ г} + 1000 \text{ г}} = 0,13178 =$$

$$= 13,178 \text{ \%}.$$

Пусть выпало  $x$  г осадка:

$$\omega_2 = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O}) - m(\text{ос.})}; \quad 0,27 = \frac{151,786 \text{ г}}{151,786 \text{ г} + 1000 \text{ г} - x \text{ г}}$$

Из уравнения имеем, что  $x = 589,616$  г осадка.

Ответ:  $\omega_1 = 13,178 \text{ \%}$ ;  $m(\text{ос.}) = 589,616 \text{ г}$ .



### Задача 5

При растворении металлов в азотной кислоте могут выделяться следующие газы: NO ( $M=30 \text{ г/моль}$ ), NO<sub>2</sub> ( $M=46 \text{ г/моль}$ ), N<sub>2</sub> ( $M=28 \text{ г/моль}$ ), N<sub>2</sub>O ( $M=44 \text{ г/моль}$ ).

$M(\text{см.1}) = M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$ ;

Число всего выделяется NO и NO<sub>2</sub>, тем более  $M(\text{см.1})$  находится в промежутке между их молекулярными массами ( $30 < M < 46$ ).

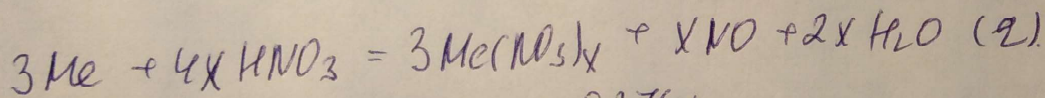
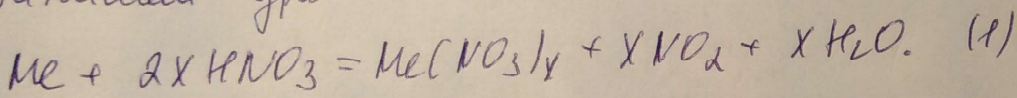
$$\bar{M} = \varphi(\text{NO}) \cdot M(\text{NO}) + \varphi(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2); \text{ Пусть } \varphi(\text{NO}) = x, \text{ тогда } \varphi(\text{NO}_2) = (1-x)$$

$$38 = 30x + 46(1-x)$$

$$x = 0,5$$

Значит,  $\varphi(\text{NO}) = \varphi(\text{NO}_2) = 50\% = x(\text{NO}) = x(\text{NO}_2)$ .

Запишем уравнение: ( $x$  - валентность металла)



$$n(\text{смесь}) = \frac{V(\text{смесь})}{V_m} = \frac{5,376 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,24 \text{ моль}; n(\text{NO}) = n(\text{NO}_2) =$$

$$= x \cdot n(\text{смесь}) = 0,5 \cdot 0,24 \text{ моль} = 0,12 \text{ моль};$$

Из уравнения 1:  $n(\text{Me}) = \frac{0,12}{x}$  моль; из уравнения 2:

$$n(\text{Me}) = \frac{0,12 \cdot 3}{x} = \frac{0,36}{x} \text{ моль}; \Sigma n(\text{Me}) = \frac{0,12}{x} + \frac{0,36}{x} = \frac{0,48}{x} \text{ (моль)}$$

$$M(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{n(\text{Me})} = \frac{8,96 \text{ г}}{0,48} \text{ моль} = 18,67x \text{ г/моль};$$

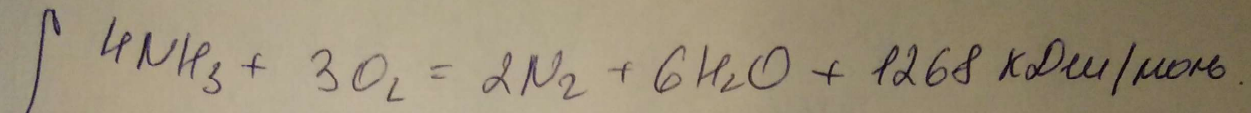
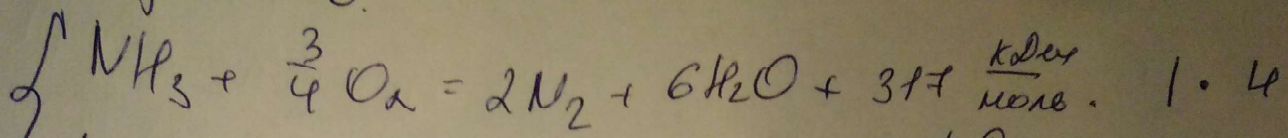
При  $x=3$ ,  $M(\text{Me}) = 56 \text{ г/моль}$  - (Fe).

Сбалансированное уравнение:  $4\text{Fe} + 18\text{HNO}_3 = 4\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2 + 3\text{NO} + 9\text{H}_2\text{O}$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = \frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)}{m_{\text{р-р}}(\text{HNO}_3) + m(\text{Fe}) - m(\text{см.1})} = \frac{0,16 \text{ моль} \cdot 242 \text{ г/моль}}{200 \text{ г} + 8,96 \text{ г} - 38 \text{ г/моль} \cdot 0,24 \text{ моль}} = 0,19376 = 19,376\%$$



Задача 6.



$$\left\{ \begin{array}{l} 1602 = 3E(\text{N-N}) + 12E(\text{N-H}) + 3E(\text{O=O}) - 3E(\text{N}\equiv\text{N}) - 12E(\text{O-H}) \\ 1268 = 12E(\text{N-H}) + 3E(\text{O=O}) - 2E(\text{N}\equiv\text{N}) - 12E(\text{O-H}) \end{array} \right.$$

$$1602 - 1268 = 3E(\text{N-N}) - 3E(\text{N}\equiv\text{N}) + 2E(\text{N}\equiv\text{N})$$

$$334 = 3E(\text{N-N}) - E(\text{N}\equiv\text{N})$$

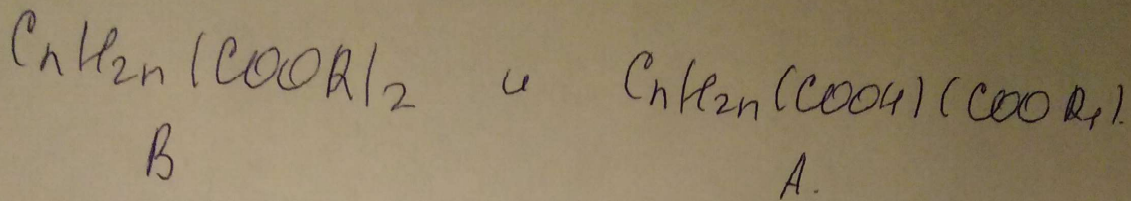
$$E(\text{N-N}) = \frac{334 + E(\text{N}\equiv\text{N})}{3} = \frac{334 + 945}{3} =$$

$$= 426,3 \text{ (кДж/моль)}$$

Ответ:  $E(\text{N-N}) = 426,3 \text{ кДж/моль}$ .



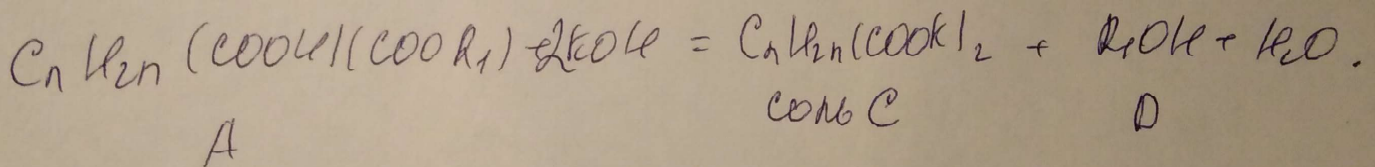
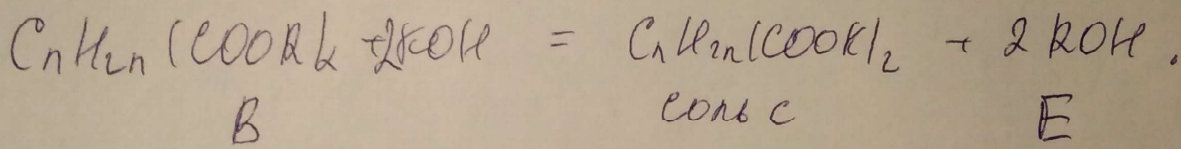
Скорее всего А и В - сложные эфиры глицеро-основной кислоты



Для Зиница, D и E - соответствующим спиртам.  
ROH и R<sub>1</sub>OH.

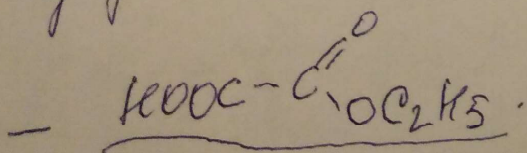
Т.к. они гомологи и ближайшая гомологу, то спирты и предшественники R и R<sub>1</sub> будут отличаться на группу CH<sub>2</sub>.

$$n(KOH) = \frac{V_{p-p} \cdot \rho_{p-p} \cdot \omega}{M(KOH)} = \frac{100 \text{ мл} \cdot 1,12 \text{ г/мл} \cdot 0,15}{56 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}$$



$$M(A+B) = \frac{17,72}{n(KOH)/2} = \frac{17,72}{0,3 \text{ моль}/2} = \frac{17,72}{0,15 \text{ моль}} = 118 \text{ г/моль}$$

Определим В: 118 - 44 · 2 = 30 - это соответствует формуле CH<sub>3</sub>. Значит В -  $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$ , тогда А -



Значит, С -  $\text{KOOC}-\text{COOK}$ , Е -  $\text{CH}_3\text{OH}$ , D -  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

Уравнение реакции: ~~1) (H<sub>3</sub>C)O~~ 1)  $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow$

→  $\text{KOOC}-\text{COOK} + 2\text{CH}_3\text{OH}$ . 2)  $\text{HCOOC}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OCH}_2\text{CH}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{KOOC}-\text{COOK} + \text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .



Задача 8.

Оксиды Y и Z можно представить в виде  $\overset{IV}{M}\overset{II}{O}_2$  (Y) и  $\overset{IV}{Z}\overset{II}{O}_2$  (Z). (Элементы M и Z четырех валентны).

1) Определим  $M\overset{II}{O}$ .

Составы элементов пропорциональны соответствующим массам.

$$\text{Значит, } \frac{m(M)}{m(O)} = \frac{M(M) \cdot 1}{M(O) \cdot 2} = \frac{M(M)}{32} = 4,375$$

$$M(M) = 32 \cdot 4,375 = 140 \text{ (г/моль)} - \text{Ce}$$

Значит, Y -  $\text{Ce}\overset{II}{O}$ . (Оксид церия (IV)).

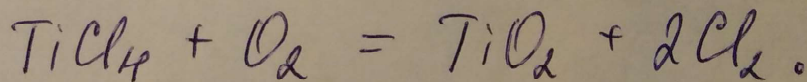
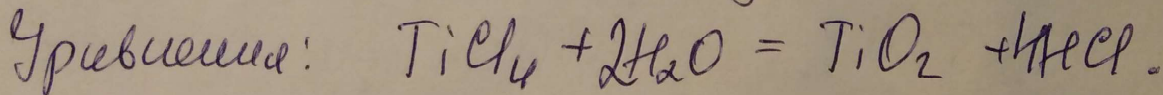
2) Определим  $Z\overset{II}{O}$ . Формула хлорида -  $\text{ZCl}_4$ .

Составим стехиометрическую схему:

$$\frac{237,5}{M(Z) + 35,5 \cdot 4} \text{ZCl}_4 - \frac{100}{M(Z) + 32} \text{Z}\overset{II}{O}$$
$$\frac{237,5}{M(Z) + 35,5 \cdot 4} = \frac{100}{M(Z) + 32}$$

$$M(Z) = 48 \text{ г/моль} - \text{Ti}$$

Значит, Z -  $\text{Ti}\overset{II}{O}$  (Оксид титана (IV)).



Скорее всего по химической природе X -  $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

В его состав входят следующие элементы - Si (кремний), Al (алюминий), H (водород), O (кислород). Это и есть основные элементы в составе X.