

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

имени Н.И. Пирогова

Министерства здравоохранения Российской Федерации

Пироговская олимпиада для школьников по химии и биологии.

Заключительный этап 2023-2024 г.г.

**Олимпиадные задания по
ХИМИИ
с ответами и критериями оценивания**

9 класс



Вариант 1

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

При взаимодействии в воде смеси газов **A** и **B** было получено вещество **C**. Относительная плотность исходной газовой смеси по водороду 15,25. Соединение **C** термически неустойчиво и при нагревании полностью разлагается на исходные компоненты. Известно, что вещество **C** содержит атомы водорода и азота, а массовая доля кислорода в 4 раза больше массовой доли углерода. Вещество **C** можно получить при слабом (30°C) нагревании вещества **D** согласно схеме: $D \rightarrow B + C$.

1. Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D**, и назовите их. Ответ подтвердите расчетами.
2. Приведите уравнения трех химических реакций.

Решение:

1 (14 баллов: по 3 балла за каждое вещество и 2 балла за расчеты)

Соотношение массовых долей атомов равно соотношению масс атомов. Допустим, в веществе один атом углерода, тогда масса кислорода равна 48 г и атомов 3. Делаем вывод, что вещество карбонат.

$M(\text{смеси газов}) = 15,25 \cdot 2 = 30,5 \text{ г/моль}$. $M(\text{легкого газа}) < M(\text{смеси газов}) < M(\text{тяжелого})$.

Один газ – CO_2 . Второй газ должен содержать азот, реагировать с CO_2 и иметь молярную массу меньше 30,5 г/моль. По всем параметрам подходит NH_3 .

Рассчитаем соотношение газов в исходной смеси: допустим, $\varphi(\text{NH}_3) = x$, $\varphi(\text{CO}_2) = 1-x$.

$17x + 44(1-x) = 30,5$ $x = 0,5$. Газы смешаны в соотношении 1:1.

A = CO_2 углекислый газ, оксид углерода(IV), диоксид углерода.

B = NH_3 аммиак

C = NH_4HCO_3 гидрокарбонат аммония

D = $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ карбонат аммония *За отсутствие названия минус 1 балл.*

2 (6 баллов: по 2 балла за каждую реакцию)





ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА НА КУХНЕ НЕ ТОЛЬКО ЕДА

В химическую лабораторию для установления состава принесли фрагмент кухонной утвари. Образец подвергли тщательному анализу. Было установлено, что основной материал, из которого сделан фрагмент, обладает термостойкостью и твердостью, не реагирует с большинством кислот, щелочей и других активных веществ при комнатной температуре. По твердости приближен к алмазу, износостойкость выше стали в несколько раз, однако хрупок. Эти уникальные свойства и позволили активно использовать материал в быту. Элементный анализ показал, что это бинарное соединение с содержанием одного из элементов 74,031 %. Соединение реагирует при нагревании с концентрированной серной кислотой, а также при очень высоких температурах с гидроксидом натрия или калия. Кроме того, минерал такого же состава, что и исследуемый образец, используется в ювелирном деле для имитации драгоценных камней.

1. Установите формулу основного компонента образца, подтвердив ответ расчетами.
2. Приведите уравнения реакций взаимодействия бинарного соединения с гидроксидом натрия при нагревании и концентрированной серной кислотой.
3. Фрагмент какого кухонного предмета, по-вашему, принесли в лабораторию?

Решение:

1 (15 баллов)

Можно предположить, что бинарное амфотерное соединение – оксид с формулой $\text{Э}_x\text{O}_y$, тогда

$x/y = 74,031/M(\text{Э}) : 25,969/16$ после преобразования получим выражение

$y/x = M(\text{Э}) / 45,612$.

Если оксид $\text{Э}_2\text{O}$, то $y/x = 0,5$ и $M(\text{Э}) = 22,806$ г/моль, близко к натрию, но оксид натрия не обладает амфотерными свойствами.

Если оксид ЭO , то $y/x = 1$ и $M(\text{Э}) = 45,612$ г/моль, такого элемента нет.

Если оксид $\text{Э}_2\text{O}_3$, то $y/x = 1,5$ и $M(\text{Э}) = 68,418$ г/моль, такого элемента нет.

Если оксид ЭO_2 , то $y/x = 2$ и $M(\text{Э}) = 91,224$ г/моль, элемент - цирконий, и оксид ZrO_2 .

Или такое решение:

Атомов кислорода в соединении может быть 1, 2 или 3. Рассчитаем молярные массы оксидов, а затем и элементов в оксидах.

1) один атом кислорода: $M(\text{оксида}) = 16/0,25969 = 61,612$ г/моль, следовательно $M(\text{элемента}) = 61,612 - 16 = 45,612$ г/моль или в два раза меньше - 22,806 г/моль. Не подходит по выше упомянутым соображениям.

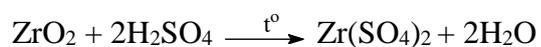
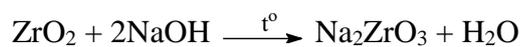
2) два атома кислорода: $M(\text{оксида}) = 32/0,25969 = 123,224$ г/моль, следовательно $M(\text{элемента}) = 123,224 - 32 = 91,224$ г/моль, элемент - цирконий, и оксид ZrO_2 .

3) три атома кислорода: $M(\text{оксида}) = 48/0,25969 = 184,836$ г/моль, следовательно $M(\text{элемента}) = 184,836 - 48 = 136,836$ г/моль или в два раза меньше – 68,418 г/моль. Таких элементов нет.





2 (4 балла: по 2 балла за каждую верную реакцию)



3 (1 балл)

В лабораторию принесли керамический нож.

Кубический оксид циркония (неустойчивая кристаллическая форма оксида), стабилизированный оксидами магния, кальция, иттрия и ряда других металлов имеет различную окраску и известен в ювелирном деле как фианит. Название происходит от первых букв физического института Академии наук, где он впервые был синтезирован.

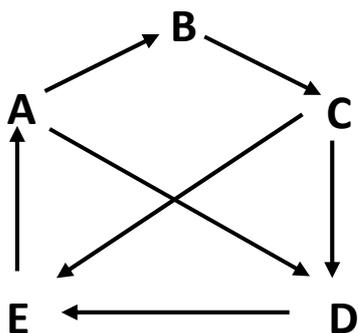




ХИМИЯ И НЕМНОГО ГЕОМЕТРИИ

Школьники на уроках химии предложили повторять и закреплять пройденный материал при помощи геометрических фигур. Для этого составлялись схемы превращений неорганических веществ в виде треугольника, квадрата, пятиугольника и т.д., а в углах геометрических фигур располагались ключевые соединения.

Одну из таких схем ученики предлагают расшифровать вам. Начальная точка в схеме – соединение А. Про него известно, что это простое вещество, образованное элементом III периода, в атоме которого число нейтронов составляет 35,0 % от числа всех элементарных частиц. Все соединения содержат один и тот же элемент.



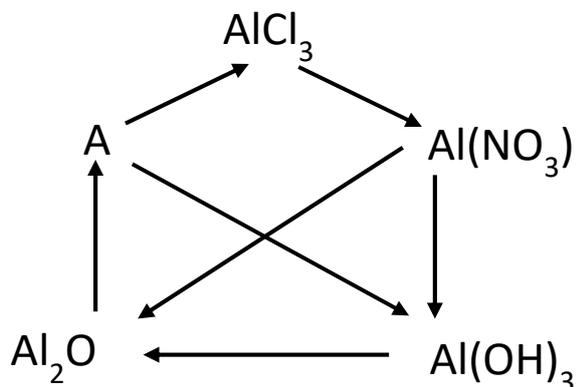
1. Определите вещества А, В, С, D, Е и назовите их.
2. Приведите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений строго следуя направлению стрелок; укажите условия их протекания.

Решение:

1 (6 баллов: по 1 баллу за вещество и 1 балл за расчеты)

В третьем периоде не так много элементов, поэтому рациональнее всего определить элемент методом подбора. Элемент – алюминий Al: нейтронов – 14, всех элементарных частиц – 40; $14/40 = 0,35$ (35%).

Один из вариантов ответа:



A = алюминий

B = хлорид алюминия

C = нитрат алюминия



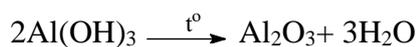
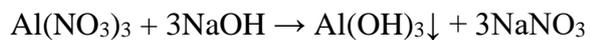
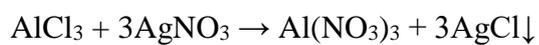
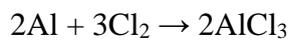


D = гидроксид алюминия

E = оксид алюминия

За отсутствие названия минус 1 балл.

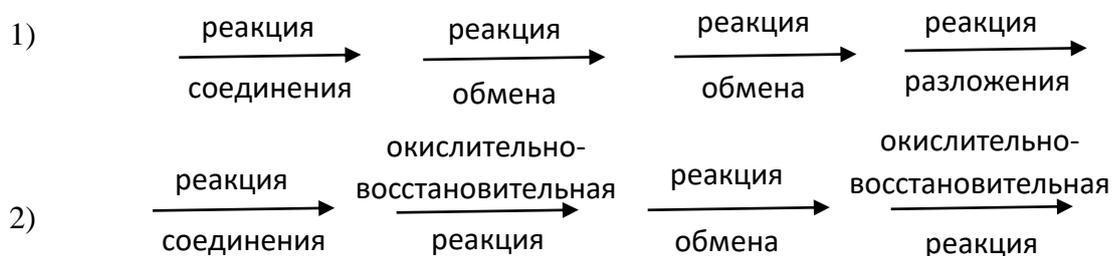
2 (14 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)





ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРОСТОГО ВЕЩЕСТВА

Чтобы лучше запомнить основные типы химических реакций ученик составил небольшие цепочки превращений, в которых исходным было простое вещество, а продукты обязательно содержали атомы его составляющие. В атоме вещества первой цепочки число всех элементарных частиц равно 95, второй цепочки – в 1,158 раз меньше.



1. Определите простые вещества.
2. Напишите уравнения восьми химических реакций.
3. Назовите все полученные вещества.

Решение:

1 (3 балла)

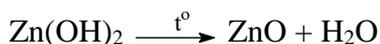
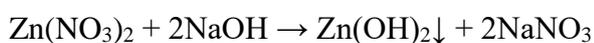
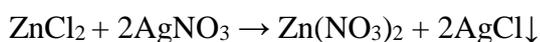
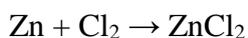
Для большинства элементов I-IV периодов число нейтронов в ядре атома приблизительно равно числу протонов. Определить приблизительно элемент можно, если число всех элементарных частиц разделить на три, а затем использовать метод подбора.

Первый элемент: $95/3 = 31,7$, следовательно, можно рассмотреть Zn, Ga и Ge. Подходит Zn: $65 + 32$.

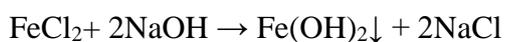
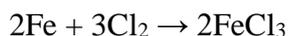
Второй элемент: $95/1,158 = 82$; $82/3 = 27,3$, следовательно, можно рассмотреть Fe, Co и Ni. Подходит Fe: $56 + 26$.

2 (16 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)

Первая цепочка. Вариант ответа:



Вторая цепочка. Вариант ответа:





3 (1 балл)

ZnCl_2 – хлорид цинка; $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ – нитрат цинка; $\text{Zn}(\text{OH})_2$ – гидроксид цинка;
 ZnO – оксид цинка.

FeCl_3 – хлорид железа(III); FeCl_2 - хлорид железа(II); $\text{Fe}(\text{OH})_2$ – гидроксид железа(II);
 $2\text{Fe}(\text{OH})_3$ - гидроксид железа(III).





9 класс

Вариант 2

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

При взаимодействии в эфире при 0 °С смеси газов **A** и **B** было получено вещество **C**. Относительная плотность исходной газовой смеси по воздуху 0,8793. Соединение **C** термически неустойчиво и при температуре свыше 20 °С полностью разлагается на исходные компоненты. Известно, что в веществе **C** массовая доля азота в 2,286 раз меньше массовой доли серы. Вещество **C** с раствором соляной кислоты реагирует по схеме: $C + HCl \rightarrow D + B$.

1. Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D**, и назовите их. Ответ подтвердите расчетами.
2. Приведите уравнения трех химических реакций.

Решение:

1 (14 баллов: по 3 балла за каждое вещество и 2 балла за расчеты)

Соотношение массовых долей атомов равно соотношению масс атомов. Допустим, в веществе один атом серы, тогда масса азота равна $32/2,286 = 14$ г и атом азота 1. Делаем вывод, что вещество **C** сульфид или гидросульфид.

$M(\text{смеси газов}) = 0,8793 \cdot 29 = 25,5$ г/моль. $M(\text{легкого газа}) < M(\text{смеси газов}) < M(\text{тяжелого})$.

Один газ – H_2S . Второй газ должен содержать азот, реагировать с H_2S и иметь молярную массу меньше 25,5 г/моль. По всем параметрам подходит NH_3 .

Рассчитаем соотношение газов в исходной смеси: допустим, $\varphi(NH_3) = x$, $\varphi(H_2S) = 1-x$.

$$17x + 34(1-x) = 25,5 \quad x = 0,5. \text{ Газы смешаны в соотношении } 1:1.$$

A = H_2S сероводород.

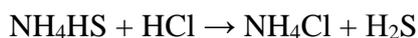
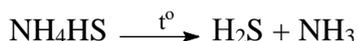
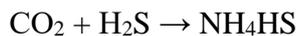
B = NH_3 аммиак

C = NH_4HS гидросульфид аммония

D = $(NH_4)_2Cl$ хлорид аммония

За отсутствие названия минус 1 балл.

2 (6 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)





ОТ РАЗНОЦВЕТНЫХ КРИСТАЛЛОВ ДО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

В химическую лабораторию для установления состава принесли крупные прозрачные разноцветные кристаллы. Образцы подвергли тщательному анализу и установили, что кристаллы являются наиболее стабильной модификацией бинарного соединения с содержанием одного из элементов 52,941% по массе. Известны так же и другие кристаллические модификации этого вещества, переходящие друг в друга и широко используемые в науке и технике.

Бинарное соединение

- не реагирует с водой;
- реагирует с концентрированными кислотами;
- со щелочами взаимодействует и в концентрированном растворе и при спекании
- при спекании с карбонатом натрия реагирует с выделением углекислого газа.

Простое вещество, получаемое из бинарного соединения, благодаря своим уникальным свойствам, нашло применение во многих сферах: от изготовления кухонной утвари до применения в электронике и производстве конструкционных материалов ядерных реакторов.

1. Установите химическую формулу основного компонента кристаллов, подтвердив ответ расчетами.
2. Приведите уравнения четырех реакций взаимодействия бинарного соединения с гидроксидом натрия в растворе и при спекании; с концентрированной серной кислотой, с карбонатом натрия при спекании.
3. Какое уравнение реакции лежит в основе промышленного получения простого вещества из бинарного?

Решение:

1 (10 баллов)

Можно предположить, что бинарное амфотерное соединение – оксид с формулой $\text{Э}_x\text{O}_y$. Практически у всех амфотерных оксидов (кроме BeO) массовая доля кислорода меньше массовой доли элемента, следовательно, массовая доля кислорода равна 47,059%.

Атомов кислорода в соединении может быть 1, 2, 3 или 5. Рассчитаем молярные массы оксидов, а затем и элементов в оксидах.

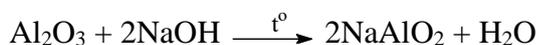
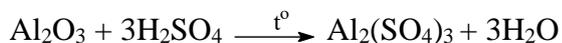
1) один атом кислорода: $M(\text{оксида}) = 16/0,47059 = 34$ г/моль, следовательно, $M(\text{элемента}) = 34 - 16 = 18$ г/моль или 9 г/моль, элемента нет.

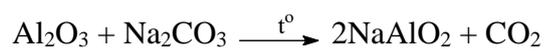
2) два атома кислорода: $M(\text{оксида}) = 32/0,47059 = 68$ г/моль, следовательно $M(\text{элемента}) = 68 - 32 = 36$ г/моль, элемента нет.

3) три атома кислорода: $M(\text{оксида}) = 48/0,47059 = 102$ г/моль, следовательно $M(\text{элемента}) = (102 - 48)/2 = 27$ г/моль, элемент – Al, оксид Al_2O_3 .

В лабораторию принесли сапфиры и рубины, основу которых составляет оксид алюминия в определенной кристаллической модификации (корунд) с примесью других элементов.

2 (8 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)





3 (2 балла)



ОБ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

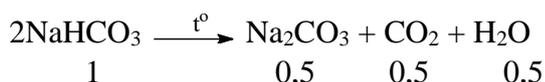
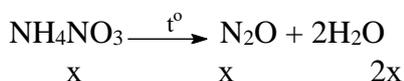
После прокаливания при 200 °С смеси веществ **X** и **Y** до постоянной массы, масса газообразных продуктов реакции до приведения их к нормальным условиям оказалась в 3,6 раза больше массы твердого остатка, а после приведения к нормальным условиям уменьшилась в 1,736 раза. Известно, что **X** применяется как удобрение, однако, обладает высокими детонирующими свойствами, из-за чего возникают сложности при его хранении. Вещество **X** используется в горном деле для получения взрывчатки, при действии на это вещество щелочью выделяется газ с резким запахом, окрашивающий лакмус в синий цвет. Вещество **Y** применяется в производстве кондитерских и хлебобулочных изделий. Водный раствор вещества **Y** имеет слабощелочную среду. В быту применяется как безопасное для здоровья средство для мытья кухонной посуды.

1. Определите вещества **X** и **Y** и назовите их. Ответ подтвердите расчетами.
2. Определите массовые доли **X** и **Y** в исходной смеси.
3. Для каких целей применяют вещество **Y** в народной медицине? Приведите соответствующее уравнение реакции.
4. Под каким названием известно удобрение **X**? Напишите уравнение реакции вещества **X** с раствором гидроксида натрия.

Решение:

1 (10 баллов, без расчетов 6 баллов)

Исходя из условия задачи, можно предположить, что вещество **X** – нитрат аммония, а вещество **Y** – гидрокарбонат натрия, пищевая сода. Напишем уравнения и подтвердим предположения расчетами.



Допустим, $n(\text{NaHCO}_3) = 1$ моль, а $n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = x$ моль.

$$36x + 44x + 22 + 9 = 3,6 \cdot 53 \quad x = 2$$

$(88 + 72 + 22 + 9)/1,736 = 110$, что соответствует условию задачи.

NH_4NO_3 – нитрат аммония, NaHCO_3 – гидрокарбонат натрия

За отсутствие названий минус 1 балл.

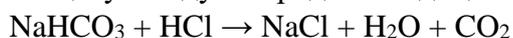
2 (6 баллов)

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80 \cdot 2 = 160 \text{ г} \quad m(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ г} \quad m(\text{смеси}) = 244 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 160/244 = 0,6557 \text{ (65,57\%)} \quad \omega(\text{NaHCO}_3) = 34,43\%$$

3 (2 балла: по баллу за каждый подвопрос)

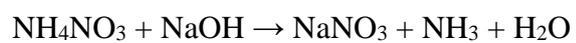
Пищевую соду в народной медицине используют как средство от изжоги





4 (2 балла: по баллу за каждый подвопрос)

Как удобрение NH_4NO_3 известен под названиями аммонийная селитра, аммиачная селитра.

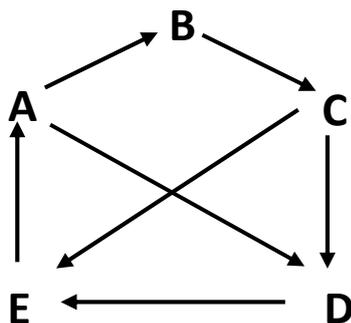




ХИМИЯ И НЕМНОГО ГЕОМЕТРИИ

Школьники на уроках химии предложили повторять и закреплять пройденный материал при помощи геометрических фигур. Для этого составлялись схемы превращений неорганических веществ в виде треугольника, квадрата, пятиугольника и т.д., а в углах геометрических фигур располагались ключевые соединения.

Одну из таких схем ученики предлагают расшифровать вам. Начальная точка в схеме – соединение А. Про него известно, что это оксид с содержанием одного из элементов 80,25% по массе. Все соединения содержат один и тот же элемент.



1. Определите вещества А, В, С, D, Е и назовите их.
2. Приведите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений строго следуя направлению стрелок; укажите условия их протекания.

Решение:

1 (6 баллов: по 1 баллу за вещество и 1 балл за расчеты)

Если данная массовая доля принадлежит кислороду, то можно убедиться, что молярная масса элемента очень мала, следовательно, массовая доля кислорода равна 19,75%.

Атомов кислорода в соединении может быть 1, 2, 3 или 5. Рассчитаем молярные массы оксидов, а затем и элементов в оксидах.

1) один атом кислорода: $M(\text{оксида}) = 16/0,1975 = 81$ г/моль, следовательно, $M(\text{элемента}) = 81 - 16 = 65$ г/моль и элемент Zn, оксид ZnO.

Можно убедиться, что остальные варианты не подходят.

Один из вариантов ответа:

A = оксид цинка

B = хлорид цинка

C = гидроксид цинка

D = тетрагидроксоцинкат натрия

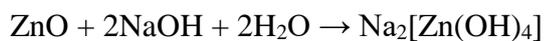
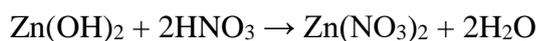
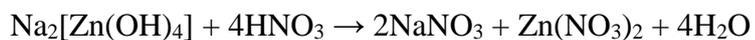
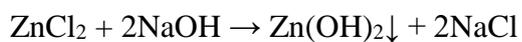
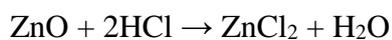
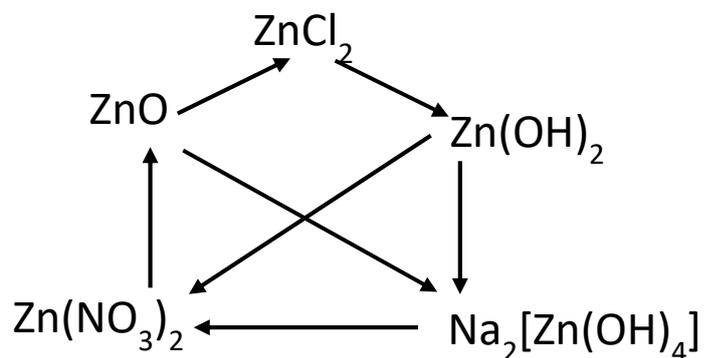
E = нитрат цинка

За отсутствие названия минус 1 балл.





2(14 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)





ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРОСТОГО ВЕЩЕСТВА

Чтобы лучше запомнить основные типы химических реакций, ученик составил небольшие цепочки превращений, в которых исходным было простое вещество, а продукты обязательно содержали атомы его составляющие. В атоме вещества первой цепочки число нейтронов составляет 34,78% от числа всех элементарных частиц. В атоме вещества второй цепочки сумма всех элементарных частиц с учетом природного изотопного состава в 1,1413 раз больше числа элементарных частиц атома первого вещества. Про элементы известно, что они находятся в одном из малых периодов Периодической системы.



1. Определите простые вещества.
2. Напишите уравнения восьми химических реакций.
3. Назовите все полученные вещества.

Решение:

1 (3 балла)

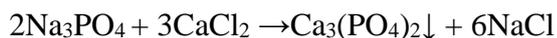
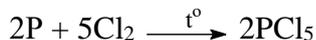
Для большинства элементов I-III периодов число нейтронов в ядре атома приблизительно равно числу протонов. Определить приблизительно элемент можно, если число всех элементарных частиц в атоме разделить на три (33,33%). Сравнив полученное число с условием задачи, делаем вывод, что нужно рассматривать только те элементы, у которых число нейтронов больше, чем число протонов. Используя метод подбора, получим:

первый элемент – P (ФОСФОР) : $16/46 = 0,3478$ (34,78%);

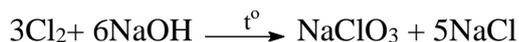
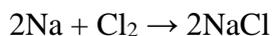
второй элемент: $46 \cdot 1,1413 = 52,5$, следовательно, Cl (ХЛОР)

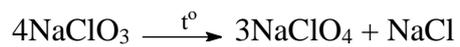
2 (16 баллов: по 2 балла за каждую верную реакцию)

Первая цепочка. Один из вариантов ответа:



Вторая цепочка. Один из вариантов ответа:





3 (1 балл)

PCl_5 – хлорид фосфора(V); Na_3PO_4 – фосфат натрия; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – фосфат кальция;
 P_4 – белый фосфор.

NaCl – хлорид натрия; Cl_2 - хлор; NaClO_3 – хлорат натрия; NaClO_4 – перхлорат натрия.

