



УТВЕРЖДАЮ

Председатель открытой олимпиады
школьников по химии
профессор Р.Е. Калинин

11.01.2023г.

Задание 1 (6 баллов)

Произведение растворимости ПР бромида свинца (II) при 25°C составляет $4,5 \cdot 10^{-6}$. Рассчитайте растворимость (в моль/л) бромида свинца (II) а) в дистиллированной воде; б) в 0,1 М растворе $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Решение

а) Пусть растворимость PbBr_2 в чистой воде равна x моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации соли



составляют $[\text{Pb}^{2+}] = x$ моль/л и $[\text{Br}^-] = 2 \cdot x$ моль/л

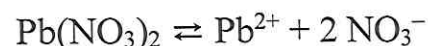
$$\text{ПР}(\text{PbBr}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Br}^-]^2 = x \cdot (2 \cdot x)^2 = 4 \cdot x^3 = 4,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Отсюда } x = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

б) Пусть растворимость PbBr_2 в 0,1 М растворе $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ равна y моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



составляют $[\text{Pb}^{2+}] = y$ моль/л и $[\text{Br}^-] = 2 \cdot y$ моль/л. Кроме того, концентрация ионов Pb^{2+} в результате диссоциации



равна $[\text{Pb}^{2+}] = 0,1$ моль/л

$$\text{ПР}(\text{PbBr}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Br}^-]^2 = (y + 0,1) \cdot (2 \cdot y)^2 = 4,5 \cdot 10^{-6}$$

Если считать, что $y \ll 0,1$, то $(y + 0,1) \cdot (2 \cdot y)^2 \approx 0,1 \cdot (2 \cdot y)^2$

Тогда $0,1 \cdot (2 \cdot y)^2 = 4,5 \cdot 10^{-6}$. Отсюда $y = 3,35 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Ответ: а) $1,04 \cdot 10^{-2}$ моль/л; б) $3,35 \cdot 10^{-3}$ моль/л

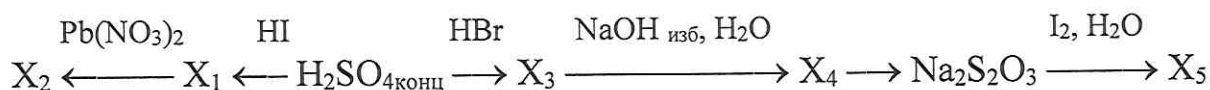
За уравнения диссоциации по 1 баллу – итого 2 балла

За алгебраические уравнения по 1 баллу – итого 2 балла

За решения алгебраических уравнений по 1 баллу – итого 2 балла

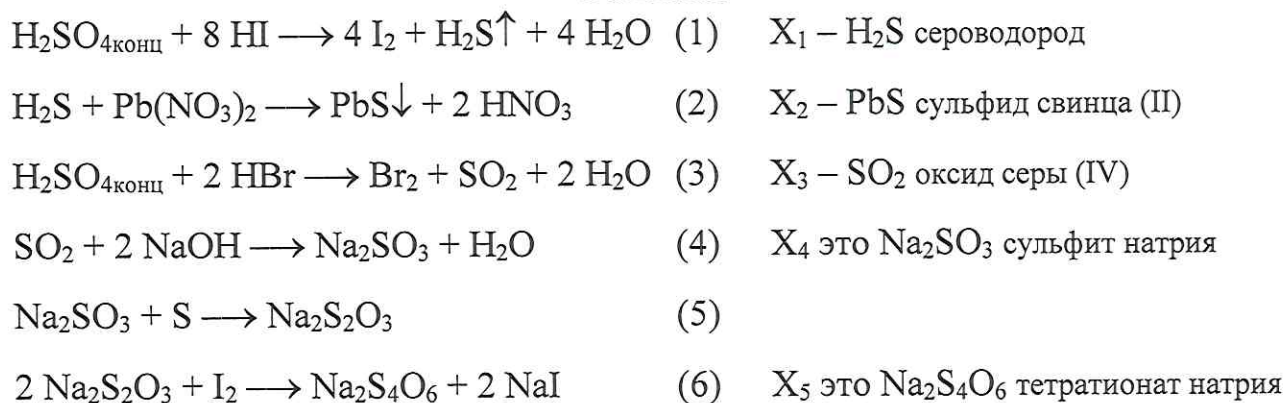
Задание 2 (11 баллов)

Осуществите превращения, зная, что все неизвестные вещества содержат серу.



Определите и назовите все вещества, приведите все уравнения реакций.

Решение



За реакции по 1 баллу – итого 6 баллов

За расшифровку и названия веществ X_{1-5} по 1 баллу – итого 5 баллов

Задание 3 (10 баллов)

Олеум с массовой долей оксида серы (VI) 70% постепенно при охлаждении и перемешивании добавили к 400 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 1,2 моль/л (плотность 1,04 г/мл). Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе, если масса олеума 30 г. Какие частицы будут реально находиться в конечном растворе?

Решение

Состав олеума: $m(\text{SO}_3) = 0,7 \cdot 30 = 21$ г, $\nu(\text{SO}_3) = 21 / 80 = 0,2625$ моль, $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 30 - 21 = 9$ г, $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 9 / 98 = 0,092$ моль

При добавлении олеума к водному раствору из SO_3 образуется серная кислота в количестве 0,2625 моль.



Таким образом, общее количество серной кислоты из олеума составляет $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2625 + 0,0918 = 0,3543$ моль

Рассчитаем количество щелочи:

$$\nu(\text{NaOH}) = 1,2 \cdot 0,4 = 0,48 \text{ моль}$$

В растворе протекают следующие реакции:



$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)_2 = 0,24 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{непрореаг}} = 0,3543 - 0,24 = 0,1143 \text{ моль}$$

Вычислим количества веществ и массы солей:

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,24 - 0,1143 = 0,1257 \text{ моль}, m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1257 \cdot 142 = 17,85 \text{ г}$$

$$\nu(\text{NaHSO}_4) = 0,2286 \text{ моль}, m(\text{NaHSO}_4) = 0,2286 \cdot 120 = 27,43 \text{ г}$$

Вычислим массу раствора и массовые доли солей:

$$m(\text{р-ра}) = 30 + 400 \cdot 1,04 = 446 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaHSO}_4) = 27,43 / 446 = 0,0615 \text{ (или } 6,15\%)$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 17,85 / 446 = 0,04 \text{ (или } 4\%)$$

Ответ: $\omega(\text{NaHSO}_4) = 6,15\%$; $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4\%$. Реально в растворе будут находиться ионы Na^+ , SO_4^{2-} , HSO_4^- , H^+ и молекулы воды H_2O .

- За уравнения реакций по 1 баллу – итого 3 балла
За расчет состава олеума 1 балл
За расчет итогового количества серной кислоты 1 балл
За расчет количеств и масс солей 2 балла
За расчет массы раствора и массовых долей солей в нем 1 балл
За анализ частиц в конечном растворе 2 балла

Задание 4 (8 баллов)

Неизвестное твердое вещество темно-серого цвета массой 1,6 г растворили в избытке концентрированной серной кислоты. При этом образовались сульфат двухвалентного металла количеством 0,02 моль, а также оксид серы (IV) и вода массой, соответственно, 3,2 г и 1,08 г. Определите формулу неизвестного вещества и приведите уравнение реакции.

Решение

$\nu(\text{MeSO}_4) = 0,02$ моль, $\nu(\text{SO}_2) = 3,2 / 64 = 0,05$ моль, $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 1,08 / 18 = 0,06$ моль

Составим схему реакции:



Поставим коэффициенты в правой части уравнения в соответствии с количеством веществ – продуктов реакции:



Уравняем серную кислоту по водороду:



В соединении X содержится 2 атома Me и 1 атом S. Это сульфид одновалентного металла. Вычислим его молярную массу:

$\nu(\text{Me}_2\text{S}) = 0,01$ моль, $M(\text{Me}_2\text{S}) = 1,6 / 0,01 = 160$ г/моль и $M(\text{Me}) = (160 - 32) / 2 = 64$ г/моль. Это Cu. Темно-серый порошок – это Cu_2S .



Ответ: Cu_2S

- За расчет количеств веществ 1 балл
За схему реакции 1 балл
За определение сульфида одновалентного металла 4 балла
За расчет металла 2 балла

Задание 5 (16 баллов)

Навеску неизвестной неорганической соли массой 1 г нагрели до 200°C . При этом образовался белый порошок массой 0,1566 г, и выделилось 464,5 мл (н.у.) смеси двух газов, окрашенной в слабый желто-зеленый цвет. Полученный порошок тугоплавок и реагирует с концентрированными растворами кислот и щелочей. Газовая смесь хорошо поддерживает горение и, будучи смешана с водородом, способна взрываться. При пропускании газовой смеси через водный раствор щелочи она обесцвечивается и теряет 22,22% своего объема. Определите

состав исходной неорганической соли и приведите химическую реакцию ее разложения.

Решение

Из распространенных газов только Cl_2 имеет желто-зеленую окраску. Вторым газом в смеси является кислород, который поддерживает горение и образует взрывчатые смеси с водородом. Молярное соотношение хлора и кислорода в смеси составляет $m(\text{Cl}_2) : m(\text{O}_2) = 22,22 : 77,78 = 1 : 3,5 = 2 : 7$.

Проверим это, рассчитав среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M_{\text{ср}} = (1 - 0,1566) / (0,4645 / 22,4) = 40,67 \text{ г/моль.}$$

С другой стороны:

$$M_{\text{ср}} = 0,2222 * 71 + 0,7778 * 32 = 40,67 \text{ г/моль}$$

Наше предположение о составе смеси верно, и исходной солью был перхлорат амфотерного металла.

Определим металл. Пусть молярная масса металла x г/моль.

Если металл одновалентен, то $\text{MClO}_4 \rightarrow \frac{1}{2} \text{M}_2\text{O}$. Составляем уравнение:

$$1 / (x + 35,5 + 64) = 2 * 0,1566 / (2 * x + 16)$$

Решаем $x = 9$ г/моль. Такого одновалентного металла нет.

Если металл двухвалентен, то $\text{M}(\text{ClO}_4)_2 \rightarrow \text{MO}$. Составляем уравнение:

$$1 / (x + (35,5 + 64) * 2) = 0,1566 / (x + 16)$$

Решаем $x = 18$ г/моль. Такого двухвалентного металла нет.

Если металл трехвалентен, то $\text{M}(\text{ClO}_4)_3 \rightarrow \frac{1}{2} \text{M}_2\text{O}_3$. Составляем уравнение:

$$1 / (x + (35,5 + 64) * 3) = 2 * 0,1566 / (2 * x + 16 * 3)$$

Решаем $x = 27$ г/моль. Это алюминий Al , и он амфотерен. Исходное вещество – перхлорат алюминия.

Если металл четырехвалентен, то $\text{M}(\text{ClO}_4)_4 \rightarrow \text{MO}_2$. Составляем уравнение:

$$1 / (x + (35,5 + 64) * 4) = 0,1566 / (x + 32)$$

Решаем $x = 36$ г/моль. Такого четырехвалентного металла нет.

t



Ответ: перхлорат алюминия $\text{Al}(\text{ClO}_4)_3$

За предположение о составе газовой смеси 1 балл

За расчет мольного соотношения газов в смеси 2 балла

За проверку состава газовой смеси по ее молярной массе 2 балла

За предположение о перхлорате амфотерного металла 2 балла

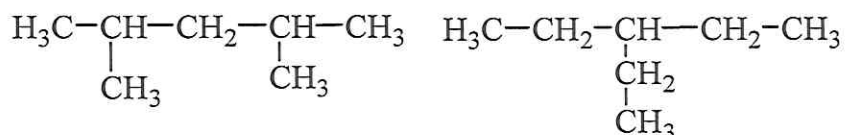
За расчет металла – за проверку каждой валентности металла по 2 балла – итого 8 баллов

За реакцию разложения соли 1 балл

Задание 6 (6 баллов)

Некоторые углеводороды состава C_7H_{16} при фотохимическом хлорировании образуют смесь изомерных хлорпроизводных, состоящую из только одного первичного, только одного вторичного и только одного третичного хлорпроизводных. Приведите структурные формулы этих углеводородов и назовите их.

Решение



В каждой из структур все метильные группы CH_3 эквивалентны, точно так же, как метиленовые CH_2 и метиновые CH .

Ответ: 2,4-диметилпентан, 3-этилпентан

За формулы двух углеводородов по 2 балла – итого 4 баллов

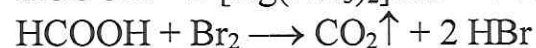
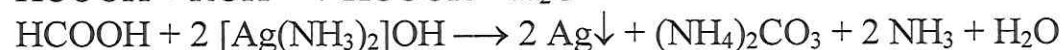
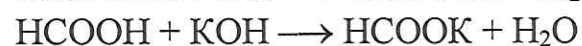
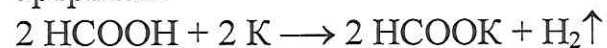
За названия двух углеводородов по 1 баллу – итого 2 балла

Задание 7 (6 баллов)

В фармацевтической и пищевой промышленности используется некоторое вещество. Известно, что оно реагирует с калием, гидроксидом калия, окисляется аммиачным раствором оксида серебра и бромом. Также известно, что количество атомов кислорода и водорода в его молекуле одинаково. Определите и назовите неизвестное вещество. Приведите все упомянутые реакции.

Решение

Неизвестное вещество – муравьиная кислота $HCOOH$. Применяется в пищевой промышленности как консервант (зарегистрированная пищевая добавка E236). В медицине используется муравьиный спирт (спиртовой раствор $HCOOH$) в качестве местно раздражающего лекарственного средства при невралгиях и артритах.



За название и формулу вещества 2 балла

За каждую реакцию по 1 баллу – итого 4 балла

Задание 8 (10 баллов)

Неизвестный алкен X массой 16,8 г взаимодействует с водным раствором перманганата калия на холоду. При этом выделяется осадок, который может прореагировать с 400 мл раствора соляной кислоты с концентрацией 2 моль/л. При взаимодействии X с серноокислым раствором дихромата калия при нагревании

образуется только одно органическое соединение. Определите возможное строение X. Приведите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение

Реакция неизвестного алкена с холодным водным раствором перманганата калия:



Реакция осадка с соляной кислотой:



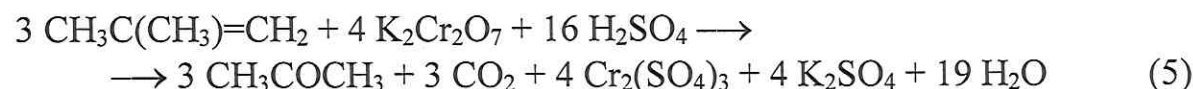
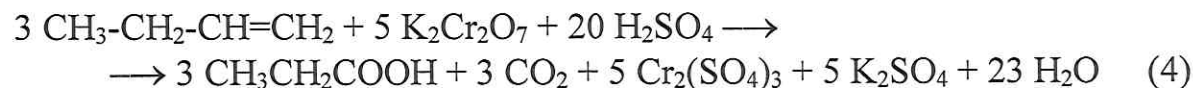
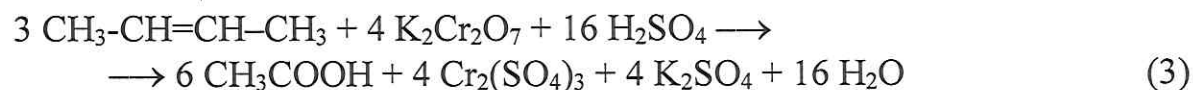
$\nu(\text{HCl}) = 0,4 \cdot 2 = 0,8$ моль, тогда $\nu(\text{MnO}_2) = 0,2$ моль и $\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 0,3$ моль

Определим неизвестный алкен:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 16,8 / 0,3 = 56 \text{ г/моль}, 14 \cdot n = 56, n = 4$$

Алкен имеет формулу C_4H_8 , которой соответствуют бутен-1, бутен-2 и 2-метилпропен. Все три вещества удовлетворяют условию задачи.

Реакции их окисления:



Ответ: бутен-2, бутен-1, 2-метилпропен

За реакции (1) и (2) по 1 баллу – итого 2 балла

За определение формулы алкена 2 балла

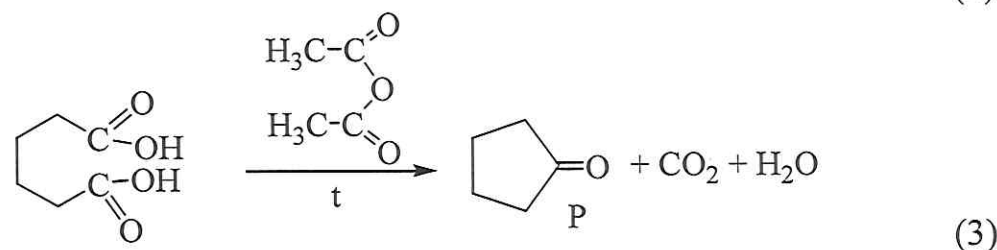
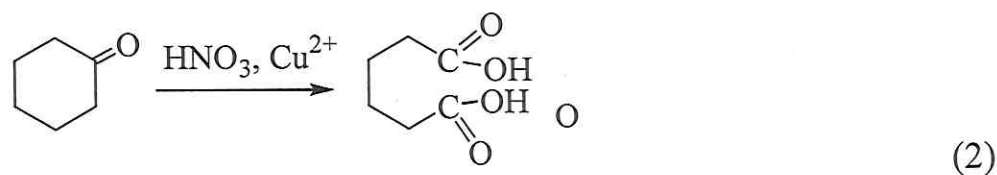
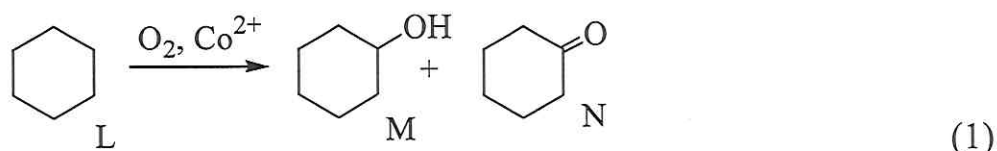
За формулы и названия трех его изомеров по 1 баллу – итого 3 балла

За реакции (3), (4), (5) по 1 баллу – итого 3 балла

Задание 9 (14 баллов)

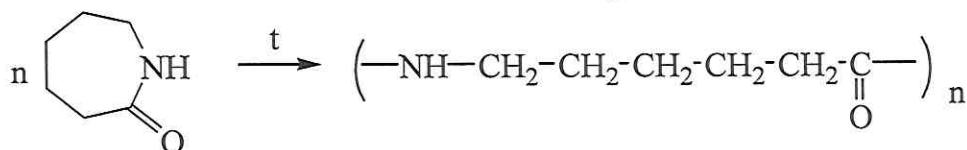
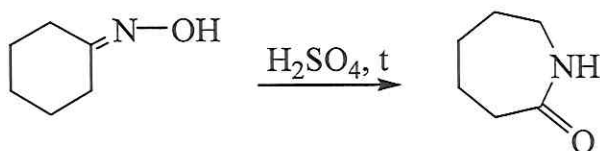
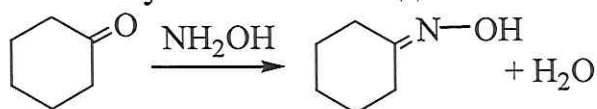
Насыщенный углеводород **L** в результате каталитического окисления кислородом воздуха в присутствии соли кобальта (II) в достаточно жестких условиях превращается в смесь вторичного спирта **M** и кетона **N**. Кетон **N** используется в промышленности для получения синтетических волокон. При каталитическом окислении **N** азотной кислотой образуется соединение **O** состава $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$. При нагревании **O** в присутствии уксусного ангидрида образуется кетон **P**, углекислый газ и вода. Кетоны **N** и **P** имеют сходное строение, но последний имеет на один атом углерода меньше. Определите строение соединений **L** – **P**, назовите их, приведите все схемы указанных превращений, в том числе приводящих к получению синтетического волокна.

Решение



L – циклогексан, M – циклогексанол, N – циклогексанон, O – адипиновая кислота, P – циклопентанон.

Получение полиамидного волокна:



За названия веществ по 1 баллу – итого 5 баллов

За реакции 1, 2, 3 по 2 балла – итого 6 баллов

За реакции получения полиамидного волокна по 1 баллу – итого 3 балла

Задание 10 (13 баллов)

Некоторое вещество массой 1,26 г окислили кислородом в соответствующих условиях. При этом образовались углекислый газ, вода, 0,88 г и 0,90 г, соответственно, а также 224 мл азота (измерено при 27°C и давлении 1,1 атм.). Если 0,63 г того же вещества обработать избытком щелочного раствора, то выделяется 224 мл газа с плотностью 0,76 г/л (н.у.). При дальнейшей обработке реакционной смеси щелочным раствором перманганатом калия и последующем подкислении выделяется 224 мл газа с плотностью 1,96 г/л (н.у.). Определите формулу неизвестного вещества и предложите его структуру. Приведите уравнения всех химических реакций.

Решение

$$\nu(\text{CO}_2) = 0,88 / 44 = 0,02 \text{ моль}, \nu(\text{C}) = 0,02 \text{ моль}, m(\text{C}) = 0,02 * 12 = 0,24 \text{ г}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,9 / 18 = 0,05 \text{ моль}, \nu(\text{H}) = 0,1 \text{ моль}, m(\text{H}) = 0,1 * 1 = 0,1 \text{ г}$$

$$\nu(\text{N}_2) = (1,1 * 101325 * 224 * 10^{-6}) / (8,31 * 300) = 0,01 \text{ моль}, \nu(\text{N}) = 0,02 \text{ моль}, m(\text{N}) = 0,02 * 14 = 0,28 \text{ г}$$

$$m(\text{O}) = 1,26 - 0,24 - 0,10 - 0,28 = 0,64 \text{ г}, \nu(\text{O}) = 0,64 / 16 = 0,04 \text{ моль}$$

$$\text{C} : \text{H} : \text{N} : \text{O} = 0,02 : 0,10 : 0,02 : 0,04 = 1 : 5 : 1 : 2$$

Молекулярная формула – вещества – CH_5NO_2 . $M = 63 \text{ г/моль}$

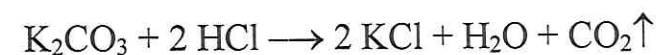
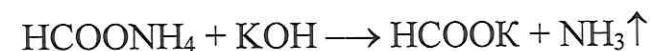
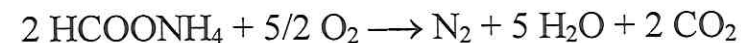
При обработке щелочным раствором 0,63 г вещества (или 0,01 моль) образуется 224 мл газа (0,01 моль). $M = 0,76 * 22,4 = 17 \text{ г/моль}$ – это аммиак, NH_3 .

Полученный после окисления раствор выделяет при подкислении 224 мл газа (0,01 моль) с плотностью 1,96 г/л. $M = 1,96 * 22,4 = 44 \text{ г/моль}$ – это диоксид углерода, CO_2 .

Итак, неизвестное вещество – это HCOONH_4 , формиат аммония.

$$\nu(\text{HCOONH}_4) = 0,63 / 63 = 0,01 \text{ моль}$$

При его обработке 0,1 моль вещества щелочью образуется 0,01 моль аммиака и 0,01 моль формиата. Последний при последующем окислении и обработке соляной кислотой выделяет 0,01 моль углекислого газа.



За расчет количеств веществ элементов по 1 баллу – итого 4 балла

За молекулярную формулу 1 балл

За определение газов NH_3 и CO_2 по 1 баллу – итого 2 балла

За определение формулы вещества 2 балла

За уравнения реакции по 1 баллу – итого 4 балла