

**Министерство образования и науки РТ  
Казанский федеральный университет**

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады  
школьников по химии 2022–2023 гг.  
Решения**

## **Инструкция для жюри**

**Жирным шрифтом** выделены правильные ответы, за которые начисляются баллы, и разбалловка.

Во многих расчетных задачах оцениваются промежуточные шаги. Школьник может решать задачу не так, как в авторском решении, при этом, если он получил верный конечный ответ, решение должно быть оценено полным баллом как за этот ответ, так и за все шаги, ведущие к нему в авторском решении.

В многоступенчатых расчетных задачах за одну чисто арифметическую ошибку, приведшую к численно неверному ответу, суммарный балл за весь расчет не должен снижаться более чем наполовину.

Уравнения реакций с неверными или отсутствующими коэффициентами, как правило, оцениваются в половину от максимального количества баллов, а в тех случаях, когда уравнения без коэффициентов приведены в самом условии, в 0 баллов.

Школьники могут использовать при решении как округленные до целого числа, так и точные (1–3 знака после запятой) атомные массы элементов. В последнем случае ответ может содержать больше значащих цифр, чем приведено в данном решении.

При проверке работ одну и ту же задачу у всех участников должен проверять один человек.

Максимальный балл за каждую задачу различен и указан в конце решения. Максимальный балл за все задачи в 8 классе 44 балла, в 9 классе 50 баллов, в 10 классе 49 баллов, в 11 классе 59 баллов.

## 8 класс

### Задание 1.

1. Антон считал, что нагревается только жидкая вода, поэтому количество сообщённой теплоты для нагревания до температуры  $t$  было равно:

$$Q = 200 \cdot 4.20 \cdot (t-20).$$

Ваня учёл и фазовый переход, и нагревание газообразной воды. В этом случае теплота  $Q$  складывается из трёх теплот:

Нагревание жидкой воды:  $Q_1 = 200 \cdot 4.20 \cdot 80 = 67\ 200$  Дж (2 балла).

Испарение воды:  $Q_2 = 200 \cdot 2.30 \cdot 1000 = 460\ 000$  Дж (2 балла).

Нагревание газообразной воды:  $Q_3 = 200 \cdot 2.20 \cdot (t-100)$

Поскольку ученики получили одну и ту же температуру  $t$ , уравнения Вити и уравнение Вани можно приравнять:

$$200 \cdot 4.20 \cdot (t-20) = 67\ 200 + 460\ 000 + 200 \cdot 2.20 \cdot (t-100)$$

После раскрытия скобок получим:

$$840t - 16800 = 527\ 200 + 440t - 44000$$

$$400t = 500000$$

Откуда  $t = 1250^\circ\text{C}$  (4 балла)

2. Для нагревания до такой температуры воде необходимо было сообщить  $67,2 + 460 + 200 \cdot 2.20 \cdot (1250-100) = 1033.2$  кДж (2 балла) тепла.

**Всего максимум 10 баллов.**

### Задание 2.

1. Рассмотрим 1 моль смеси, в котором будет содержаться  $x$  моль кальция и  $(1-x)$  моль магния. По условию, мольная доля магния превышает мольную долю кальция. Тогда  $(1-x) > x$ , откуда  $x < 0.5$ . Это первое граничное условие.

Масса кальция в смеси будет равна  $40.08x$ , а масса магния  $24.305(1-x)$ .

Первая величина должна превышать вторую. Тогда  $40.08x > 24.305(1-x)$ , или  $64.385x > 24.305$ , или  $x > 0.3775$ . Это второе граничное условие.

Объединение условий даёт:  **$0.3775 < x < 0.5$  (запись верных граничных условий для массовых или мольных долей кальция или магния – 5 баллов).**

Максимально возможная мольная доля магния в смеси будет при наименьшем  $x$  и равна  $(1-0.3775) = 0.6225$  или **62.25 %** (расчёты с молярными массами, округлёнными до целых, дают  $x > 0.375$  и долю магния **62.5 %**) (2,5 балла).

2. Максимально возможное массовое содержание кальция в смеси будет для  $x$ , стремящемуся к 0.5. Массы кальция и магния составят  $40.08 \cdot 0.5 = 20.04$  г и  $24.305 \cdot 0.5 = 12.153$  г, а масса смеси будет равна 32.193 г. **Массовая доля кальция**  $20.04/32.193 = 0.6225$  или **62.25 %** (расчёты с округлёнными молярными массами приводят к ответу **62.5 %**) (2,5 балла).

**Всего максимум 10 баллов.**

**Задание 3.**

- 1)  $\text{NH}_3$ ,  $\text{KI}$  (по 0.75 балла)
- 2)  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}$  (по 0.75 балла)
- 3)  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (по 0.75 балла)
- 4)  $\text{KOH}$ ,  $\text{KI}$  (по 0.75 балла)
- 5)  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Xe}$ ,  $\text{O}_2$  (по 0.5 балла)
- 6)  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (по 0.75 балла)
- 7)  $\text{O}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (по 0.5 балла)
- 8)  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CO}$  (по 0.5 балла)

**Всего максимум 12 баллов.**

**Задание 4.**

1. Обозначим за  $m_X$  массу **X**,  $M_X$  – молярную массу **X**. Тогда масса раствора с массовой долей  $\omega$  будет равна  $m_X/\omega$ , а объём этого раствора в мл -  $m_X/(\omega \cdot \rho)$ . Поскольку молярная концентрация определяется как отношение количества растворённого вещества ( $n_X = m_X/M_X$ ) к объёму раствора в л, можно составить следующее выражение:

$$C = \frac{n_X}{V} = \frac{m_X / M_X}{m_X / (1000 \cdot \omega \cdot \rho)} = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{M_X}$$

где 1000 отвечает за перевод мл в л. Масса **X** в полученном выражении сокращается, что позволяет выразить молярную массу растворённого вещества через молярную концентрацию, массовую долю растворённого вещества и плотность раствора:

$$M_X = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{C}$$

Проведя такой расчёт по единственной строке таблицы с полной информацией, получим:

$$M_X = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{C} = \frac{1000 \cdot 0.25 \cdot 1.1919}{3.04} = \mathbf{98 \text{ г / моль (2 балла)}}$$

Неизвестное соединение явно обладает высокой химической активностью и хорошей растворимостью в воде. Среди распространённых соединений с этими свойствами молярную массу 98 г/моль имеет серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (**3 балла**).

2. Используя ранее выведенные соотношения, заполним пропуски в таблице. Для предпоследней строки неизвестна массовая доля:

$$\omega = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \rho} = \frac{2.324 \cdot 98}{1000 \cdot 1.1394} = 0.2$$

Отсутствующее значение – **20 %**.

В первой строке неизвестна плотность:

$$\rho = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \omega} = \frac{1.087 \cdot 98}{1000 \cdot 0.1} = \mathbf{1.0653 \text{ г/мл}}$$

Оставшаяся строка таблицы содержит сразу две неизвестные величины. Логично предположить, что шаг массовой доли в таблице – 5%, и пропущенное значение равно **15%**:

$$\rho = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \omega} = \frac{1.685 \cdot 98}{1000 \cdot 0.15} = \mathbf{1.1009 \text{ г/мл}}$$

Восстановленная таблица имеет вид:

<b>C, моль/л</b>	<b>ω, %</b>	<b>ρ, г/мл</b>
1.087	10	<b>1.0653</b>
1.685	<b>15</b>	<b>1.1009</b>
2.324	<b>20</b>	1.1394
3.004	25	1.1919

**За каждое восстановленное значение 1.5 балла.**

3. Справочник сернокислотчика (1 балл).

**Всего максимум 12 баллов.**

## 9 класс

### Задание 1.

1. Обозначим за  $m_X$  массу **X**,  $M_X$  – молярную массу **X**. Тогда масса раствора с массовой долей  $\omega$  будет равна  $m_X/\omega$ , а объём этого раствора в мл -  $m_X/(\omega \cdot \rho)$ . Поскольку молярная концентрация определяется как отношение количества растворённого вещества ( $n_X = m_X/M_X$ ) к объёму раствора в л, можно составить следующее выражение:

$$C = \frac{n_X}{V} = \frac{m_X / M_X}{m_X / (1000 \cdot \omega \cdot \rho)} = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{M_X}$$

где 1000 отвечает за перевод мл в л. Масса **X** в полученном выражении сокращается, что позволяет выразить молярную массу растворённого вещества через молярную концентрацию, массовую долю растворённого вещества и плотность раствора:

$$M_X = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{C}$$

Проведя такой расчёт по единственной строке таблицы с полной информацией, получим:

$$M_X = \frac{1000 \cdot \omega \cdot \rho}{C} = \frac{1000 \cdot 0.25 \cdot 1.1919}{3.04} = \mathbf{98 \text{ г/моль (2 балла)}}$$

Неизвестное соединение явно обладает высокой химической активностью и хорошей растворимостью в воде. Среди распространённых соединений с этими свойствами молярную массу 98 г/моль имеет серная кислота **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3 балла)**.

2. Используя ранее выведенные соотношения, заполним пропуски в таблице. Для предпоследней строки неизвестна массовая доля:

$$\omega = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \rho} = \frac{2.324 \cdot 98}{1000 \cdot 1.1394} = 0.2$$

Отсутствующее значение – **20 %**.

В первой строке неизвестна плотность:

$$\rho = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \omega} = \frac{1.087 \cdot 98}{1000 \cdot 0.1} = \mathbf{1.0653 \text{ г/мл}}$$

Оставшаяся строка таблицы содержит сразу две неизвестные величины. Логично предположить, что шаг массовой доли в таблице – 5%, и пропущенное значение равно **15%**:

$$\rho = \frac{C \cdot M}{1000 \cdot \omega} = \frac{1.685 \cdot 98}{1000 \cdot 0.15} = \mathbf{1.1009 \text{ г/мл}}$$

Восстановленная таблица имеет вид:

<b>C, моль/л</b>	<b>ω, %</b>	<b>ρ, г/мл</b>
1.087	10	<b>1.0653</b>
1.685	<b>15</b>	<b>1.1009</b>
2.324	<b>20</b>	1.1394
3.004	25	1.1919

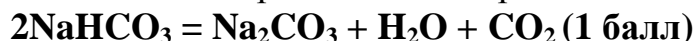
За каждое восстановленное значение 1.5 балла.

3. Справочник сернокислотчика (1 балл).

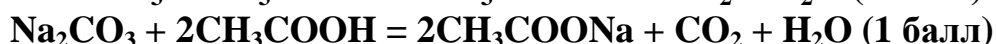
Всего максимум 12 баллов.

Задание 2.

1. При нагревании пищевая сода разлагается по реакции:



При добавлении уксусной кислоты и карбонат, и гидрокарбонат выделяют углекислый газ:



2. Общее количество углекислого газа равно суммарному количеству карбоната и гидрокарбоната натрия и составляет  $n(\text{CO}_2) = 1.68/22.4 = 0.075$  моль (0.5 балла), а начальное количество пищевой соды было равно  $10/84 = 0.119$  моль (0.5 балла). Если  $2x$  моль гидрокарбоната разложилось при нагревании, то полученный после охлаждения раствор содержал  $(0.119 - 2x)$  моль гидрокарбоната и  $x$  моль карбоната натрия, то есть  $(0.119 - 2x) + x = 0.075$ . Решением данного уравнения является  $x = 0.044$ . Тогда разложилось  $2x = 0.088$  моль, или  $0.088/0.119 = 0.74$  или 74% (2 балла) от исходного количества соды.

3.  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHCO}_3$  (1 балл)

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + n\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (Засчитывается образование любого гидрата, 1 балл)

4. Пусть смесь массой 10 г содержит  $x$  моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $y$  моль  $\text{NaHCO}_3$  и  $z$  моль воды. При прокаливании смесь теряет всю воду в количестве  $z$  моль, а также  $y/2$  моль углекислого газа и  $y/2$  моль воды в соответствии с уравнением реакции разложения гидрокарбоната натрия. Углекислый газ в количестве  $1.4/22.4 = 0.0625$  моль выделяется из карбоната и гидрокарбоната, то есть его количество равно  $(x + y)$ . Всё это позволяет составить следующую систему уравнений:

$$106x + 84y + 18z = 10$$

$$18z + 18 \cdot y/2 + 44 \cdot y/2 = 18z + 31y = 10 \cdot 0.4 = 4$$

$$x + y = 0.0625$$

(3 балла)

Выразим из второго выражения  $z$ , а из третьего  $x$  и подставим результаты в первое выражение:

$$106 \cdot (0.0625 - y) + 84y + 4 - 31y = 10$$

Откуда  $y = 0.0118$ ,  $x = 0.0507$ , а  $z = 0.2019$  моль.

Массовые доли равны:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 53.7\%$  (1 балл),  $\text{NaHCO}_3 - 9.9\%$  (1 балл), воды – 36.3 % (1 балл).

5. в) (1 балл)

Всего максимум 15 баллов.

### Задание 3.

Поскольку и катион, и анион соли **A** содержат один и тот же элемент-неметалл (большое количество газообразных соединений), а при добавлении щёлочи к раствору **A** выделяется газ, можно предположить, что **A** – соль аммония, а **B** – аммиак. Взаимодействие аммиака с кислородом в отсутствие катализатора приводит к образованию азота и воды, а в присутствии катализатора – к образованию NO и воды. Тогда **C** – вода. Монооксид азота окисляется легче азота, поэтому **D** – N<sub>2</sub>, **E** – NO. Продуктом окисления NO служит NO<sub>2</sub>, который в реакции с водой образует азотную кислоту и NO, как следует из условия. Тогда **A** – нитрата аммония.

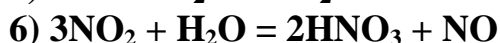
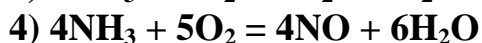
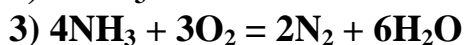
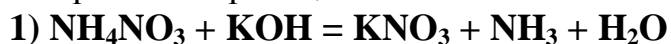
После обработки нитрата аммония гидроксидом калия образуется щелочной раствор нитрата калия. Добавление в такой раствор цинка приводит к восстановлению нитрат-иона до аммиака.

Упомянутые в задаче соединения позволяют получить N<sub>2</sub>O. Для этого необходимо провести реакцию цинка с разбавленной азотной кислотой.

**Вещества: A – NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, B – NH<sub>3</sub>, C – H<sub>2</sub>O, D – N<sub>2</sub>, E – NO, F – NO<sub>2</sub>, G – HNO<sub>3</sub>.**

**По 1 баллу за каждое верное вещество.**

2. Уравнения реакций:



**За каждую реакцию по 0,5 балла.**

3. **H – N<sub>2</sub>O (0.5 баллов).**

8)  $\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$  (1 балл)

**Всего максимум 12 баллов.**

### Задание 4.

1. Предположим, что один из продуктов реакции – хлороводород. Его молярная масса равна 36,5 г/моль. Тогда молярная масса второго компонента либо  $36,5/1,38 = 26,4$ , либо  $36,5 \cdot 1,38 = 50,4$  г/моль. Если предположить, что продукт хлорсодержащий, подходит соединений состава CH<sub>3</sub>Cl с молярной массой 50,5 г/моль.

Итак, **B – CH<sub>3</sub>Cl (1 балл), A – HCl (1 балл).**

Уравнение реакции:  $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$  (2 балла)

2. Теплота этой реакции равна разности теплот образования продуктов и реагентов. Теплота образования хлора равна нулю.

$Q_1 = 81,9 + 92,3 - 74,5 = 99,7$  кДж/моль (2 балла)



3. Установим состав **E** расчётом.  $35,5/0,922 = 38,5$  г/моль. Молярная масса остатка равна 3 г/моль, что соответствует  $\frac{1}{4}$  атома углерода. Формула вещества **E** – **CCl<sub>4</sub>** (1 балл).

Логично предположить, что оставшиеся соединения промежуточные между CH<sub>3</sub>Cl и CCl<sub>4</sub>. Тогда **C** – **CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>** (1 балл), **D** – **CHCl<sub>3</sub>** (1 балл).

4. Обратим внимание, в что в ходе этой реакции образуется две связи H-Cl и две связи C-Cl и разрывается две связи C-H и Cl-Cl. В *реакции 1* происходит то же самое, но число разрывающихся и образующихся связей вдвое меньше. Тогда тепловой эффект реакции получения **C** должен вдвое превышать эффект *реакции 1*, и теплота реакции равна **199,4 кДж/моль**. (2 балла)

**Всего максимум 11 баллов**

## 10 класс

### Задание 1.

1. Галит – название минерала с формулой  $\text{NaCl}$  – **A (1 балл)**.

Металл **M – Na (0.5 балла)**. Газ **D**, выделяющийся только при электролизе раствора, - водород  $\text{H}_2$  (**0.5 балла**). Газ **B – Cl<sub>2</sub> (0.5 балла)**, тогда **C – NaOH (0.5 балла)**.

Пропускание хлора через холодный раствор щёлочи ведёт к образованию гипохлорита натрия: **E – NaClO (1 балл)**.

При нагревании основным продуктом будет хлорат натрия **F – NaClO<sub>3</sub> (1 балл)**. При взаимодействии водорода с хлором образуется хлороводород: **G – HCl (1 балл)**.

2. 1)  $2\text{NaCl} = 2\text{Na} + \text{Cl}_2$  (электролиз расплава)

2)  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{Cl}_2$  (электролиз раствора)

3)  $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$

4)  $3\text{Cl}_2 + 6\text{NaOH} = 5\text{NaCl} + \text{NaClO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

5)  $2\text{NaClO}_3 = 2\text{NaCl} + 3\text{O}_2$

6)  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$

7)  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{HCl} + \text{NaHSO}_4$  или  $2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{HCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

За каждое уравнение реакции по 1 баллу.

Всего максимум 13 баллов

### Задание 2.

1) В качестве газа легче воздуха в дирижаблях использовался водород, легко воспламеняющийся и взрывающийся:

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$  (1 балл).

2) Речь идёт о процессе **Боша-Габера (1 балл)** – синтезе аммиака:

$3\text{H}_2 + \text{N}_2 = 2\text{NH}_3$  (1 балл).

3) Речь идёт о синтезе **Вёлера (1 балл)**- получении мочевины изомеризацией цианата аммония при небольшом нагревании:

$\text{NH}_4\text{OCN} = (\text{NH}_2)_2\text{CO}$  (1 балл).

4) Речь идёт о процессе **фотосинтеза (1 балл)**, упрощённое уравнение реакции для которого выглядит следующим образом:

$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$  (1 балл).

Реакция идёт в присутствии катализаторов группы хлорофиллов под действием солнечного света.

5) В дагеротипии использовалось разложение иодида серебра:

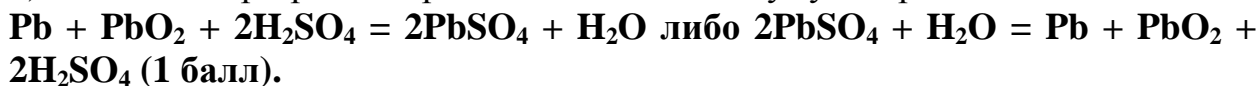
$2\text{AgI} = 2\text{Ag} + \text{I}_2$  (1 балл).

Реакция протекает под действием света.

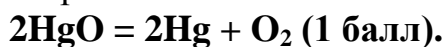
6) Речь идёт о восстановлении нитробензола до анилина – **реакции Зинина (1 балл)**.

$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  (1 балл, достаточно схемы либо уравнения реакции с любым разумным восстановителем).

7) Речь идёт о разрядке/зарядке свинцового аккумулятора:



8) Речь идёт об открытии кислорода путём разложения оксида ртути при нагревании:



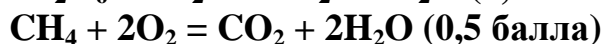
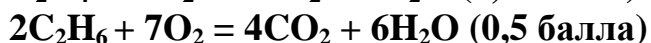
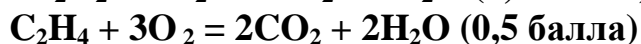
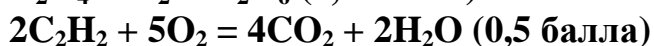
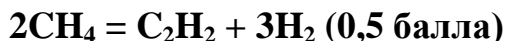
**Всего максимум 12 баллов.**

### **Задание 3.**

1. Средняя молярная масса смеси 1 9,2 г/моль. Значит, при пиролизе метана ( $M = 16$  г/моль) выделился водород ( $M = 2$  г/моль) и образовался еще один углеводород. Третий компонент – неразложившийся метан. Средняя молярная масса углеводорода и водорода должна быть меньше 9,2. Можно проверить, что этому условию удовлетворяет только ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , для этилена, этана и углеводородов с более чем двумя атомами углерода средняя молярная масса смеси будет выше 9,2. Качественный состав смеси 1:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2$  (1 балл)

При пропускании смеси ацетилена, водорода и метана над платиной будет идти реакция гидрирования. При этом ацетилен может гидрироваться в два этапа: сперва до этилена, а потом до этана. Качественный состав смеси 2:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  (1 балл)

Качественный состав смеси 3:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  (1 балл)



2. Пусть до начала реакции пиролиза было 2 моль метана, а прореагировало  $2x$  моль метана. Тогда количество метана в продуктах равно  $(2-2x)$ , количество ацетилена –  $x$ , количество водорода –  $3x$ , общее количество –  $2+2x$ .

Средняя молярная масса такой смеси равна:

$$M = [16 \cdot (2-2x) + 26x + 6x] / (2+2x) = 9,2,$$

откуда  $x = 0,74$ . Степень превращения метана составила **74 % (2 балла)**.

3. Смесь с плотностью по водороду 17,33 содержит только углекислый газ и кислород, оставшийся после сгорания. Средняя молярная масса этой смеси 34,66 г/моль. Составим уравнение вида:

$$34,66 = 44x + 32(1-x),$$

где  $x$  – мольная доля углекислого газа в смеси, решением которого будет  $x = 0,2216$ , или  $2/9$  (1 балл). Таким образом, последняя смесь содержит углекислый газ и кислород в мольном соотношении 2 к 7. Если углекислого газа образуется 2 моль, то было взято 2 моль метана. Для полного сгорания смеси 2 необходимо столько же кислорода, сколько для сгорания исходного метана, то есть 4 моль. Таким образом, для сгорания смеси было взято всего  $4+7 = 11$  моль кислорода. Это соответствует  $11/4=2,75$  кратному избытку кислорода (2 балла).

**Всего максимум 12 баллов.**

#### Задание 4.

1. Среди газообразных продуктов разложения  $\text{SnSO}_4$  можно ожидать  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ . Молярная масса  $\text{SO}_3$  действительно на 25% выше, чем у  $\text{SO}_2$ . Тогда **D –  $\text{SO}_3$  (1 балл)**, **B –  $\text{SO}_2$  (1 балл)**, **A –  $\text{SnO}_2$  (1 балл)**, **C –  $\text{SnO}$  (1 балл)**.

2. Рассчитаем величину  $\Delta_r G^\circ$  для каждой реакции. Для этого сперва рассчитаем изменение энтальпии и изменение энтропии для каждого процесса.

Для реакции 1:

$$\Delta_r H_1^\circ = -581 - 297 + 984 = 106 \text{ кДж / моль (0,5 балла)}$$

$$\Delta_r S_1^\circ = 248 + 52 - 132 = 168 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{K) (0,5 балла)}$$

Для реакции 2:

$$\Delta_r H_2^\circ = -286 - 396 + 984 = 302 \text{ кДж / моль (0,5 балла)}$$

$$\Delta_r S_2^\circ = 57 + 257 - 132 = 182 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{K) (0,5 балла)}$$

Для реакции 1 уравнение температурной зависимости энергии Гиббса имеет следующий вид:  $\Delta_r G_1^\circ = 106000 - 168 \cdot T$ , а для реакции 2:

$$\Delta_r G_2^\circ = 302000 - 182 \cdot T.$$

Эти величины становятся отрицательными при температурах  $T > 631$  К для реакции 1 и  $T > 1659$  К для реакции 2. Разложение начинается при температуре **631 К** или **358 °С** (3 балла).

3. Поскольку энергия Гиббса реакции 2 положительна при этой температуре, разложение идёт в соответствии с уравнением реакции 1. (1 балл)

4. Продукты разложения **X**  $\text{SO}_3$  и  $\text{SnO}_2$  соответствуют сульфату олова (IV) –  **$\text{Sn}(\text{SO}_4)_2$  (1 балл)**. Соль **Y** – смешанный сульфат олова (II, IV)  **$\text{Sn}_2(\text{SO}_4)_3$  (1 балл)**.

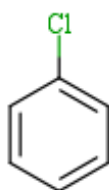
**Всего максимум 12 баллов.**

11 класс

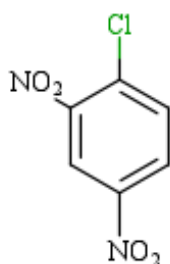
Задание 1.

1.

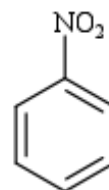
A



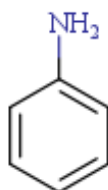
B



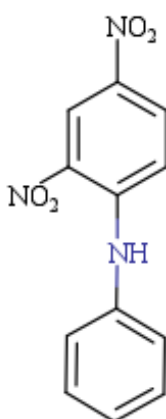
C



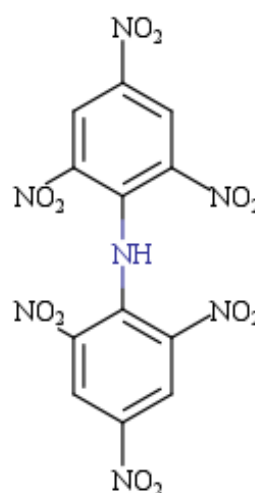
D



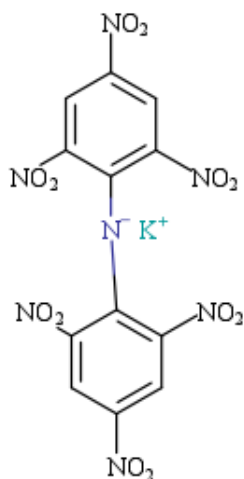
E



X



За каждую верную структуру 2 балла.



2.

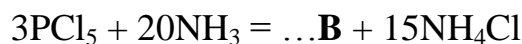
(1 балл)

Всего максимум 13 баллов.

Задание 2.

1. Соль C, обратимо разлагающаяся при нагревании на два газообразных вещества, вероятно, является солью аммония, а именно хлоридом  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (2

**балла).** В этом случае жидкий **A** – жидкий аммиак  $\text{NH}_3$  (**2 балла**). Его масса может быть определена как разность масс продуктов  $\text{PCl}_5$ :  $m(\text{A}) = 5,349 + 1,086 - 4,165 = 2,270$  г, а количество вещества **A** равно  $2,270/17 = 0,134$  моль. Количество хлорида аммония составляет  $5,349/53,5 = 0,1$  моль, а количество пентахлорида фосфора –  $4,165/208,5 = 0,02$  моль. Соотношение количеств известных реагентов и продуктов позволяет составить следующее уравнение реакции:

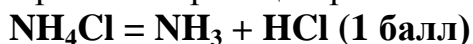


Тогда формула **B** –  $\text{P}_3\text{N}_5$ . (**2 балла**)

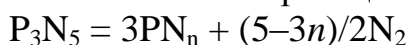
Уравнение реакции синтеза:



Уравнение реакции разложения:



2. Если записать реакцию разложения **B** в виде:



То видно, что отношение оставшейся массы к начальной составляет:

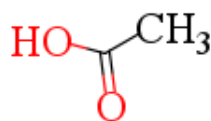
$$3 \cdot (31 + 14n)/(31 \cdot 3 + 14 \cdot 5) = 0,77$$

Откуда  $n = 0,77$ . (**2 балла**)

**Всего максимум 10 баллов.**

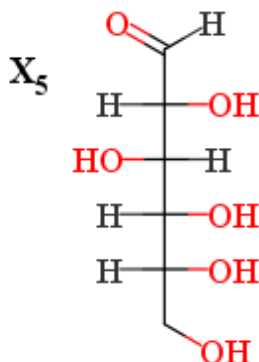
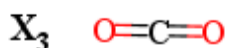
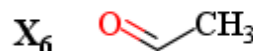
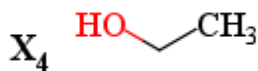
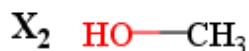
### Задание 3.

1. По первой реакции можно догадаться, что  $\text{X}_1$ , видимо, **кислород  $\text{O}_2$**  (**1 балл**), так как только при сжигании из алкана получится вода. Тогда запишем известные части:  $2\text{C}_4\text{H}_{10} + 5\text{O}_2 = 4\text{A} + 2\text{H}_2\text{O}$ , тогда на 4 молекулы **A** приходится  $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_8$ , а на одну  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  (**1 балл**). **A** – **уксусная или этановая кислота (1 балл)**. (Другие вещества с такой же брутто-формулой, например,  $\text{HCOOCH}_3$  или  $\text{CH}_2\text{OH-CHO}$ , не могут быть получены по реакциям 1-6 и не засчитываются).



(1 балл за структурную формулу)

2.  $\text{X}_1 \text{ O}_2$

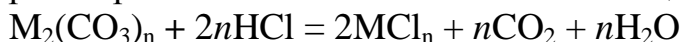


**За каждую верную структуру 1,5 балла.**

**Всего максимум 12 баллов.**

**Задание 4.**

1. Так как родохрозит и азурит, согласно условию задачи, являются карбонатами, логично предположить, что выделяющийся во всех случаях газ –  $\text{CO}_2$ . Если предположить, что родохрозит имеет формулу  $\text{M}_2(\text{CO}_3)_n$ , где М неизвестный металл, а  $n$  его валентность, то уравнение, описывающее его растворение в соляной кислоте имеет следующий вид:



В таком случае должно выполняться условие  $\nu(\text{HCl})/\nu(\text{CO}_2) = 2$ . В данном случае:

$$\nu(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 1 \text{ моль / л} \cdot 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = pV / RT = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 1,0641 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{8,314 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)} \cdot 298 \text{ К}} = 4,35 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Таким образом, условие  $\nu(\text{HCl})/\nu(\text{CO}_2) = 2$  выполняется. Попробуем найти металл. Из реакции следует, что количество минерала в  $2n$  раз меньше, чем кислоты. Тогда  $\nu(\text{M}_2(\text{CO}_3)_n) = 8,7 \cdot 10^{-3} / 2n = 0,500 / (2A_r(\text{M}) + 60n)$ . Решая это уравнение получим  $M = 27,47n$ . При  $n = 2$  получаем, что неизвестный металл – **марганец, а родохрозит -  $\text{MnCO}_3$  (2 балла).**



2. Для определения формулы азурита проделаем те же шаги, что и для родохозита. Должно выполняться условие  $\nu(\text{HCl})/\nu(\text{CO}_2) = 2$ . Определим количества веществ  $\text{HCl}$  и  $\text{CO}_2$ :

$$\nu(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 1 \text{ моль / л} \cdot 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

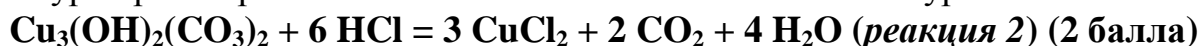
$$\nu(\text{CO}_2) = pV / RT = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{8,314 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)} \cdot 298 \text{ К}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Получаем, что  $\nu(\text{HCl})/\nu(\text{CO}_2) = 3$ , следовательно, азурит не соответствует формуле  $\text{M}_2(\text{CO}_3)_n$ . Таким образом, по-видимому в минерале содержится что-то, что реагирует с кислотой без выделения газа. Часто карбонатные минералы встречаются в виде основных карбонатов, которые можно представить в виде  $x\text{M}_2(\text{CO}_3)_n \cdot y\text{M}(\text{OH})_n$ . Предположим самый простой случай, где  $x = y = 1$ . Запишем уравнение реакции:



Отсюда видно, что соотношение кислоты к газу 3 к 1. Подходит. Теперь можно найти молярную массу. Если  $n=1$ , то масса будет рассчитываться как  $2,9 \cdot 10^{-3} / n = 0,5 / (3A_r(\text{M}) + 17n + 60n)$ . Отсюда находим  $A_r(\text{M}) = 31,8n$ . При  $n=2$  получаем, что это медь. Итак, **формула азурита –  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$  (2 балла).**

Азурит растворяется в соляной кислоте в соответствии с уравнением



3. Сперва определим количество вещества  $\text{CO}_2$ :

$$v(\text{CO}_2) = pV / RT = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3}{8,314 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 298 \text{ К}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Пусть масса  $\text{MnCO}_3$  –  $x$  г, тогда масса  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$  –  $(1-x)$  г. Тогда количество выделяющегося  $\text{CO}_2$  можно представить в виде

$$v(\text{CO}_2) = \frac{x}{M(\text{MnCO}_3)} + \frac{2 \cdot (1-x)}{M(\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2)}$$

Решаем составленное уравнение:

$$\frac{x}{114,94} + \frac{2 \cdot (1-x)}{344,65} = 6,7 \cdot 10^{-3}$$

$$x = 0,31$$

Таким образом,  $\omega(\text{MnCO}_3) = 31\%$ ,  $\omega(\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2) = 69\%$ . (2 балла)

**Всего максимум 10 баллов**

### Задание 5.

1. Способностью растворять стекла обладает плавиковая кислота – водный раствор фтороводорода. **X – HF (2 балла)**.

2. Фтороводород получают взаимодействием фторида кальция – плавикового шпата – с серной кислотой (**реакция 1**):



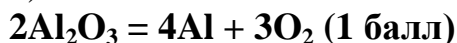
Водный раствор HF растворяет диоксид кремния по реакции (**реакция 2**):



Криолит –  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  – может быть получен в результате **реакции 3**:



Алюминий получают электролизом раствора его оксида в криолите (**реакция 4**):



3. Средняя молярная масса может быть рассчитана по формуле:

$$M_{\text{ср}} = 20 \cdot 0,88 + 40 \cdot 0,07 + 120 \cdot 0,05 = 26,4 \text{ г/моль (1 балл)}$$

Плотность газа можно найти с использованием преобразованного уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{200 \cdot 26,4}{8,314 \cdot 333} = 1,907 \text{ г/л (1 балл)}$$

4. Исходя из того, что объемная доля для газов равна мольной доле, рассчитаем парциальные давления каждой формы:

$$p(\text{X}) = 0,88 \cdot 200 \text{ кПа} / 10^5 \text{ Па} = 1,76 \text{ бар (1 балл)}$$

$$p(\text{X}_2) = 0,07 \cdot 200 \text{ кПа} / 10^5 \text{ Па} = 0,14 \text{ бар (1 балл)}$$

$$p(\text{X}_6) = 0,05 \cdot 200 \text{ кПа} / 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ бар (1 балл)}$$

Отсюда найдем константы:

$$K \text{ (димеризации)} = p(\text{X}_2) / [p(\text{X})]^2 = 0,14 / 1,76^2 = 0,045 \text{ (1 балл)}$$

$$K \text{ (гексамеризации)} = p(\text{X}_6) / [p(\text{X})]^6 = 0,1 / 1,76^6 = 0,0034 \text{ (1 балл)}$$

$$\Delta G^\circ \text{ (димеризации)} = -8,314 \cdot 333 \cdot \ln(0,045) = 8,6 \text{ кДж/моль (0,5 балла)}$$

$$\Delta G^\circ \text{ (гексамеризации)} = -8,314 \cdot 333 \cdot \ln(0,0034) = 15,8 \text{ кДж/моль (0,5 балла)}$$

**Всего максимум 14 баллов.**