

**10 класс**  
**Решения и критерии:**

**Задача 1**

При подсчёте соотношения белых и красных атомов стоит вспомнить, что не все атомы полностью принадлежат данной ячейке. Атомы в вершинах принадлежат данной ячейке лишь на 1/8, атомы на гранях – на 1/2, а вот атомы в объёме принадлежат ячейке полностью. Итого, белых атомов в данной ячейке 2 ( $8 \cdot 1/8 + 1$ , 8 в вершинах и 1 в объёме); а красных атомов 4 ( $4 \cdot 1/2 + 2$ , 4 на гранях и 2 в объёме). Соотношение белых и красных атомов равно 2:4 или же 1:2.

Молярную массу данного соединения можно рассчитать по формуле

$$M = \frac{\rho V \cdot N_a}{Z},$$

где  $\rho$  — плотность вещества,  $V$  — объём ячейки,  $Z$  — число формульных единиц (количество молекулярных формул вещества, приходящихся на одну ячейку). Объём данной ячейки мы найдём через эффективность упаковки:

$$V = \frac{V_б + V_к}{\eta} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3} \pi r_б^3 + 4 \cdot \frac{4}{3} \pi r_к^3}{\eta}$$

При подстановки всех значений и соблюдении всех размерностей получается, что молярная масса примерно равна 224 г/моль

Учитывая тот факт, что данное вещество получается при нагревании простого вещества на воздухе, в котором содержится кислород, можно предположить, что мы имеем дело с оксидом некоего элемента. Принимая во внимания то, что радиус красных атомов достаточно мал, мы можем предположить, что это и есть кислород, а значит наши поиски сужаются до диоксида некоего элемента. При вычитании из 224 г/моль части, которая приходится на два кислорода – 32 г/моль, мы получаем массу неизвестного элемента – 192 г/моль, а это соответствует иридию. Неизвестное вещество –  $\text{IrO}_2$ .

**Критерии оценивания:**

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. Определение количества белых и красных атомов | <b>по 4 балла</b> |
| 2. Расчет молярной массы вещества                | <b>8 баллов</b>   |
| 3. Определение формулы соединения                | <b>4 балла</b>    |
| <b>Итого</b>                                     | <b>20 баллов</b>  |

### Задача 1

1. По массовой доле хлора в бинарном веществе **A** можно вывести его формулу. Для этого предположим, что формула вещества  $\text{ЭCl}_n$ . Тогда можно записать уравнение для массовой доли хлора в соединении:

$$0,7450 = \frac{35,45n}{35,45n + M(\text{Э})}. \text{ Тогда } M(\text{Э}) = 12,2n$$

y	M(Э)	ЭCl <sub>n</sub>
1	12,2	CCl
2	24,4	<b>MgCl<sub>2</sub></b>
3	36,6	-
4	48,8	-

При переборе только магний является адекватным решением, а значит хлорид **A** – **MgCl<sub>2</sub>**.

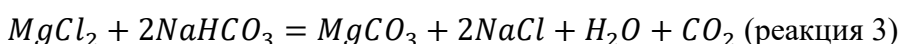
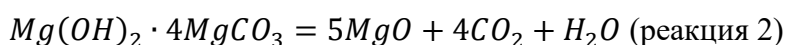
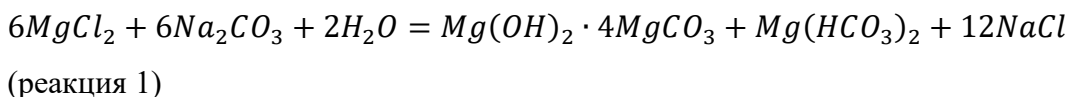
2. Гидрокарбонат является кислой солью и его раствор менее основной по сравнению с карбонатом натрия.
3. Вещество **X**, которое хотел получить Саша, можно вывести из текста условия. При сливании хлорида магния и гидрокарбоната натрия проходит обменная реакция с образованием **X** – **MgCO<sub>3</sub>**, вещества, которое при нагревании разлагается на углекислый газ. Для вывода формулы вещества **Y** следует обратить внимание, что при его разложении образуется углекислый газ и вода. Так как образование кристаллогидрата противоречит условию, а среда проведения синтеза является основной, то единственно логичным вариантом является образование основного карбоната магния, формула которой можно записать как  $x\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot y\text{MgCO}_3$ . Для определения конкретной формулы соединения **Y** следует использовать данные о смеси углекислого газа и воды. Зная среднюю молярную массу смеси можно записать следующие уравнения:

$$38,8 = 44\varphi(\text{CO}_2) + 18\varphi(\text{H}_2\text{O})$$

$$\varphi(\text{CO}_2) + \varphi(\text{H}_2\text{O}) = 1$$

, где  $\varphi(\text{CO}_2)$  и  $\varphi(\text{H}_2\text{O})$  – это объёмные доли воды и углекислого газа в смеси. Решая систему уравнений получаем что  $\varphi(\text{CO}_2) = 0,8$  и  $\varphi(\text{H}_2\text{O}) = 0,2$ . Записывая уравнение разложения основного карбоната магния можно сказать, что данным соотношениям углекислого газа и воды соответствует формула **Y** –

$Mg(OH)_2 \cdot 4MgCO_3$ . Для написания уравнения реакции 1 следует заметить, что количество хлорида магния, вступившего в реакцию ( $\nu(MgCl_2) = 0,01 M$ ), не соответствует количеству оксида магния при разложении основного карбоната магния ( $\nu(MgCl_2) = 0,0084 M$ ), что соответствует 1/6 части потерянного при осаждении магния. Значит остаток магния остался в виде растворимой соли, что в данных условиях может означать лишь образование гидрокарбоната магния.



По записанной реакции 1 можно высчитать количество выпавшего осадка основного карбоната магния, равного 0,66 г.

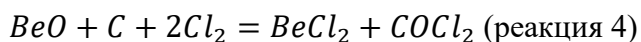
4. По реакции 3 получаем, что масса выпавшего карбоната магния составляет 0,843 г.
5. Определим формулы веществ **B** и **C**. Для определения оксида **C** предположим, что его формула  $\text{Э}_2\text{O}_n$  и запишем уравнение с массовой долей кислорода:

$$0,64 = \frac{16n}{16n + 2M(\text{Э})} \cdot \text{Тогда } M(\text{Э}) = 4,5n$$

<i>y</i>	<i>M(Э)</i>	$\text{Э}_2\text{O}_n$
1	4,5	-
2	9	<b>BeO</b>
3	13,5	-
4	18	-

При переборе становится понятным, что **C** – **BeO**, а значит его хлорид **B** – **BeCl<sub>2</sub>**.

Способ перевода оксида бериллия в безводный хлорид:

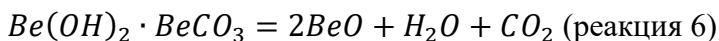
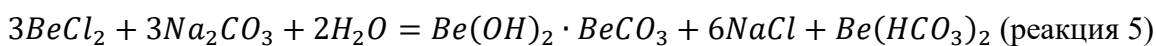


6. По описанию условия понятно, что вещество **Z** – основной карбонат бериллия, а значит его формула  $xBe(OH)_2 \cdot yBeCO_3$ . Выведем формулу по средней молярной массе газовой смеси, как в пункте 3:

$$31 = 44\varphi(CO_2) + 18\varphi(H_2O)$$

$$\varphi(CO_2) + \varphi(H_2O) = 1$$

Тогда  $\varphi(CO_2) = 0,5$  и  $\varphi(H_2O) = 0,5$ , а значит **Z** – **Be(OH)<sub>2</sub>·BeCO<sub>3</sub>**. Уравнения реакций:



**Критерии оценивания:**

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Выведена формула вещества <b>A</b>                             | <b>2 балла</b>   |
| 2. Указано, что гидрокарбонат натрия обладает меньшей основностью | <b>1 балл</b>    |
| 3. Выведена формула вещества <b>Y</b> – 3 балла                   | <b>9 баллов</b>  |
| Записана формула вещества <b>X</b> – 1 балл                       |                  |
| Записано уравнение 1 – 2 балла                                    |                  |
| Записаны уравнение 2,3 – по 1 баллу                               |                  |
| Рассчитан теоретический выход вещества <b>Y</b> – 2 балла         |                  |
| 4. Рассчитана масса осадка <b>X</b>                               | <b>1 балл</b>    |
| 5. Определена формула вещества <b>C</b> – 2 балла                 | <b>4 балла</b>   |
| Определена формула вещества <b>B</b> – 1 балл                     |                  |
| Предложен способ перевода <b>B</b> в <b>C</b> – 1 балл            |                  |
| 6. Выведена формула вещества <b>Z</b> – 2 балла                   | <b>3 балла</b>   |
| Записаны уравнения 5,6 – по 1 баллу                               |                  |
| <b>Итого:</b>   | <b>20 баллов</b> |

**Задача 3**

1. Одна из наиболее часто встречаемых форм карбидов – ацетилениды (содержат группу  $C_2$ ), их общую формулу можно представить как  $Me_nC_2$ , где  $n = 1$  или  $2$ .

Выразим молярную массу металла:

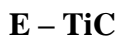
$$M(Me) = \frac{24 - 24 \cdot \omega(C)}{n \cdot \omega(C)}$$

Подставим значения для всех карбидов и получим набор молярных масс:

n \ карбид	A	B	C	D	E
1	72	32,4	<b>40 (Ca)</b>	<b>139 (La)</b>	96 (Mo)

2	36	16,2	80	69,4 (Ga?)	<b>48 (Ti)</b>
---	----	------	----	------------	----------------

Из данной таблицы видно, что

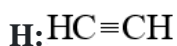
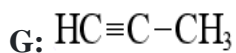
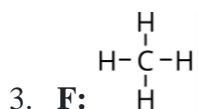
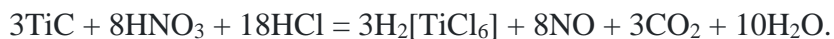
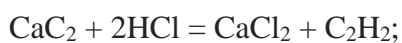
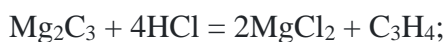
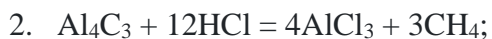


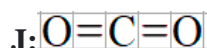
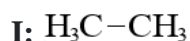
Второй по распространенности тип карбидов – метаниды (содержат C(-4)), их общую формулу можно представить как Me<sub>4</sub>C<sub>n</sub>. Выразим молярную массу металла:

$$M(Me) = \frac{3n(1 - \omega(C))}{\omega(C)}$$

карбид \ n	1	2	3	4	5	6
A	9 (Be)	18	<b>27 (Al)</b>	-	-	-
B	4	8	12,15	16,2	20,24	<b>24,3 (Mg)</b>

Из данной таблицы видно, что





**Критерии оценивания:**

1. Формулы карбидов А–Е по 1 баллу
  2. Уравнения реакций (если не уравнены – балл делится пополам) по 2 балла
  3. Структурные формулы F–J (если брутто-формулы – половина баллов) по 1 баллу
- Итого 20 баллов**

**Задача 4**

Очевидно, что вещества А и В – это углекислый газ и вода, тогда С – карбонат бария.

Рассчитаем их количества вещества:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 14,4 \text{ г} : 18 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} = 0,8 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{BaCO}_3) = 118,2 \text{ г} : 197 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} = 0,6 \text{ моль}$$

тогда

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2 * 0,8 = 1,6 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{BaCO}_3) = 0,6 \text{ моль}$$

определим массу кислорода, если он присутствует в соединении

$$m(\text{O}) = m(\text{Образца}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 15,2 - 0,6 * 12 - 1,6 * 1 = 6,4 \text{ г}$$

$$\nu(\text{O}) = 6,4 \text{ г} : 16 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} = 0,4 \text{ моль}$$

определим брутто-формулу X

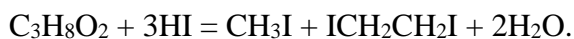
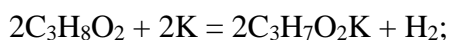
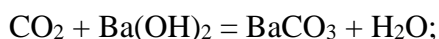
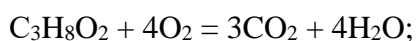
$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = 0,6 : 1,6 : 0,4 = 3 : 8 : 2, \text{ значит X} - \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2.$$

Исходя из данных о реакции с калием определим количество OH-групп.

$$\nu(\text{X}) : \nu(\text{K}) = \frac{15,2 * 2}{76} : \frac{15,6}{39} = 0,4 : 0,4 = 1 : 1, \text{ значит вещество X содержит одну группу.}$$

**Ответы:**

1. X –  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$
2. Структурная формула X:  $\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
3. Уравнения реакций:



**Критерии оценивания:**

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Нахождение брутто-формулы   | <b>6</b>  |
| <b>балла</b>   |           |
| 2. Определение структурной формулы X                                       | <b>6</b>  |
| <b>балла</b>   |           |
| 3. Уравнения реакций по 1 баллу (если не уравнена по 0,5 балла за реакцию) | <b>8</b>  |
| <b>балла</b>   |           |
| <b>Итого</b>   | <b>20</b> |

**баллов**

**Задача 5**

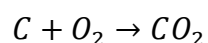
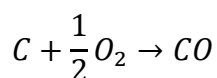
Первое, чем мы займёмся, это определение веществ **A** и **B**. Оксид элемента, составленный по правилам валентности, имеет формулу  $X_2O_n$ . Используя данную формулу, составим уравнение для массовой доли в общем виде:

$$0,5714 = \frac{16n}{2x + 16n}$$

Подставляя различные значения  $n$  в данное уравнение, можно получить набор значений молярной массы элемента:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
M(X)	6	12	18	24	30	36	42	48

Самым разумным вариантом является 12 г/моль, что соответствует углероду, а значит **A** – CO, тогда **B** – CO<sub>2</sub>, а простое вещество – углерод.



Молярную массу смеси можно определить по следующей формуле:

$$M_{\text{смеси}} = \frac{m_{\text{смеси}}}{\nu_{\text{смеси}}} = \frac{m_1 + m_2}{\nu_{\text{смеси}}} = \frac{M_1\nu_1 + M_2\nu_2}{\nu_{\text{смеси}}} = \frac{M_1\nu_1 + M_2\nu_2}{\nu_{\text{смеси}}} = M_1 \frac{\nu_1}{\nu_{\text{смеси}}} + M_2 \frac{\nu_2}{\nu_{\text{смеси}}} \\ = M_1\chi_1 + M_2\chi_2$$

Также мы знаем, что  $\chi_1 + \chi_2 = 1$ , так как смесь бинарная, отсюда можно составить уравнение с одной неизвестной для каждой температуры:

$$M_{\text{смеси}} = M_1\chi_1 + M_2(1 - \chi_1) = D_{H_2} \cdot M_{H_2}$$

$$T_1: 40 = 28\chi_1 + 44(1 - \chi_1) \Rightarrow \chi_1 = 0,25 \Rightarrow \chi_2 = 0,75 \Rightarrow CO : CO_2 = 1 : 3$$

$$T_2: 16 = 28\chi_1 + 44(1 - \chi_1) \Rightarrow \chi_1 = 0,75 \Rightarrow \chi_2 = 0,25 \Rightarrow CO : CO_2 = 3 : 1$$

Для нахождения теплот образования необходимо понять, сколько углерода изначально сгорало, и какая часть превращалась в CO, а какая шла на образование CO<sub>2</sub>.

$$\nu_C = \frac{48 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 4 \text{ моль}$$

Исходя из соотношения газообразных продуктов, мы можем сказать, что при T<sub>1</sub> 1 моль углерода пошёл на CO, и 3 моль пошло на CO<sub>2</sub>, в случае T<sub>2</sub> наблюдаем обратную ситуацию: CO – 3 моль, CO<sub>2</sub> – 1 моль. Если принять теплоты образования CO и CO<sub>2</sub> за x и y соответственно, то можно составить уравнение, включающее теплоты образования и количество теплоты, выделившееся при T<sub>1</sub> и T<sub>2</sub>:

$$\{x + 3y = 1291 \quad 3x + y = 725$$

x = 110,5 кДж/моль – теплота образования CO

y = 393,5 кДж/моль – теплота образования CO<sub>2</sub>

### **Критерии оценивания:**

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1. Определение веществ А и В                  | <b>по 3 балла</b> |
| 2. Расчет мольных долей при двух температурах | <b>по 3 балла</b> |
| 3. Расчет теплот образования                  | <b>по 4 балла</b> |
| <b>Итого</b>                                  | <b>20 баллов</b>  |

### **Задача 6**



**Решение**

**Баллы**

Произошла реакция:  $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$

Случай 1. Пусть кислорода был избыток. Возьмем такое количество газов, в котором содержится **1 моль NO и x моль O<sub>2</sub>**.  $x > 0,5$  **1**

Тогда по окончании реакции в сосуде будет 1 моль NO<sub>2</sub> и (x - 0,5) моль O<sub>2</sub>.

Однако, молярная масса смеси больше молярной массы любого из этих газов.

Следовательно, диоксид азота частично димеризовался (α - степень димеризации). **1**

За обоснование вывода 1 балл

	$2\text{NO}_2$	$\rightleftharpoons$	$\text{N}_2\text{O}_4$	
Исходное количество	1		0	
Димеризовалось	α		+0,5α	Всего моль ▼ <b>1</b>
В равновесии	1 - α		0,5α	= 1 - 0,5α

Тогда общее количество газов в смеси

$$v(\text{смеси}) = v(\text{O}_2) + v(\text{NO}_2) + v(\text{N}_2\text{O}_4) = x - 0,5 + 1 - \alpha + 0,5\alpha = x - 0,5\alpha + 0,5$$

Окраска газовой смеси стала бурой благодаря присутствию NO<sub>2</sub> **1**

Масса смеси равна исходной массе газов:  $m(\text{смеси}) = m(\text{NO}) + m(\text{O}_2) = 1 \cdot 30 + 32x$ ;

а количество вещества смеси в два раза меньше (так как давление упало в 2 раза). **2**

**Составим систему уравнений:**

$$\begin{cases} \frac{x - 0,5\alpha + 0,5}{1 + x} = 0,5 \cdot 30 + 32x = 61,5 \cdot (x - 0,5\alpha + 0,5) & x > 0,5 \\ \{x = 0,6 \quad \alpha = 0,6 \end{cases}$$

Следовательно, в смеси осталось:

$$v(\text{O}_2) = 0,1 \text{ моль}; v(\text{NO}_2) = 0,4 \text{ моль}; v(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,3; v(\text{смеси}) = 0,8 \quad \textbf{3}$$

Мольные доли в газовой смеси (χ) равны мольным долям (Π)

$$\chi(\text{O}_2) = 0,1/0,8 = 0,125; \chi(\text{NO}_2) = 0,4/0,8 = 0,5; \chi(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,3/0,8 = 0,375;$$

Найдем массовые доли веществ в растворе.  $v(\text{смеси}) = 4,48/22,4 = 0,2$  (моль)

$$m(\text{смеси}) = 0,2 \cdot 61,5 = 12,3 \text{ (г)}; m(\text{раствора}) = 120 + 12,3 = 132,3 \text{ (г)}$$

$$v(\text{O}_2) = 0,2 \cdot 0,125 = 0,025 \text{ моль}; v(\text{NO}_2) = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ моль};$$

$$v(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,2 \cdot 0,375 = 0,075 \text{ моль};$$

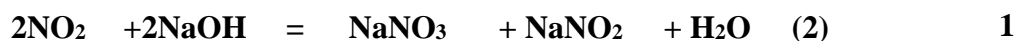
$$\text{в пересчете на NO}_2 \quad v^*(\text{NO}_2) = v(\text{NO}_2) + 2 v(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,1 + 0,15 = \mathbf{0,25 \text{ (моль)}}$$

Весь кислород поглощается в растворе благодаря реакции



$$0,1 \quad 0,025 \quad 0,1 \quad 0,1$$

На реакцию (2) осталось  $\nu(\text{NO}_2) = 0,25 - 0,10 = 0,15$  (моль)



$$0,15 \quad 0,15 \quad 0,075 \quad 0,075$$

В растворе осталось:

$$\nu(\text{NaOH}) = 120 \ominus 0,1/40 \quad 0,10 \quad 0,15 = 0,05 \text{ (моль);} \quad \omega(\text{NaOH}) = \frac{0,05 \cdot 40 \cdot 100 \%}{132,3} =$$

$$1,51 \%$$

$$\nu(\text{NaNO}_3) = 0,100 + 0,075 = 0,175 \text{ (моль);} \quad \omega(\text{NaNO}_3) = \frac{0,175 \cdot 85 \cdot 100 \%}{132,3} = 3$$

$$11,2 \%$$

$$\nu(\text{NaNO}_2) = 0,075 \text{ (моль);} \quad \omega(\text{NaNO}_2) = \frac{0,075 \cdot 69 \cdot 100 \%}{132,3} = 3,91 \%$$

$$\text{Соотношение объемов до эксперимента } V(\text{O}_2) : V(\text{NO}) = 0,6/1 = 3 : 5 \quad 1$$

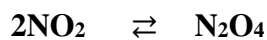
*Случай 2.* Пусть кислорода был недостаток. Для удобства возьмем количество смеси, содержащей  $x$  моль NO и 0,5 моль O<sub>2</sub>. 1

Тогда в смеси произошла реакция



$$1 \quad 0,5 \quad 1$$

Образовалось 1 моль NO<sub>2</sub> и осталось  $\nu(\text{NO}) = x - 1$



Исходное количество	1	0		1
---------------------	---	---	--	---

Димеризовалось	$\alpha$	$+0,5\alpha$	Всего моль ▼
----------------	----------	--------------	--------------

В равновесии	1 - $\alpha$	$0,5\alpha$	$= 1 - 0,5\alpha$
--------------	--------------	-------------	-------------------

$$\nu(\text{смеси}) = \nu(\text{NO}) + \nu(\text{NO}_2) + \nu(\text{N}_2\text{O}_4) = x - 1 + 1 - \alpha + 0,5\alpha = x - 0,5\alpha$$

**Составим систему уравнений**

$$\left\{ \frac{x-0,5\alpha}{0,5+x} = 0,5 \quad 30x + 32 \cdot 0,5 = 61,5 \cdot (x - 0,5\alpha) \quad x > 1 \right.$$

$$\left. \alpha = x - 0,5 \quad 30x + 32 \cdot 0,5 = 61,5 \cdot (x - 0,5\alpha) \quad x > 1 \quad \{x - 0,833 \alpha = 0,333 x > 1 \quad 2 \right.$$

решений нет

Задача имеет одно решение **1**

Всего **20**