

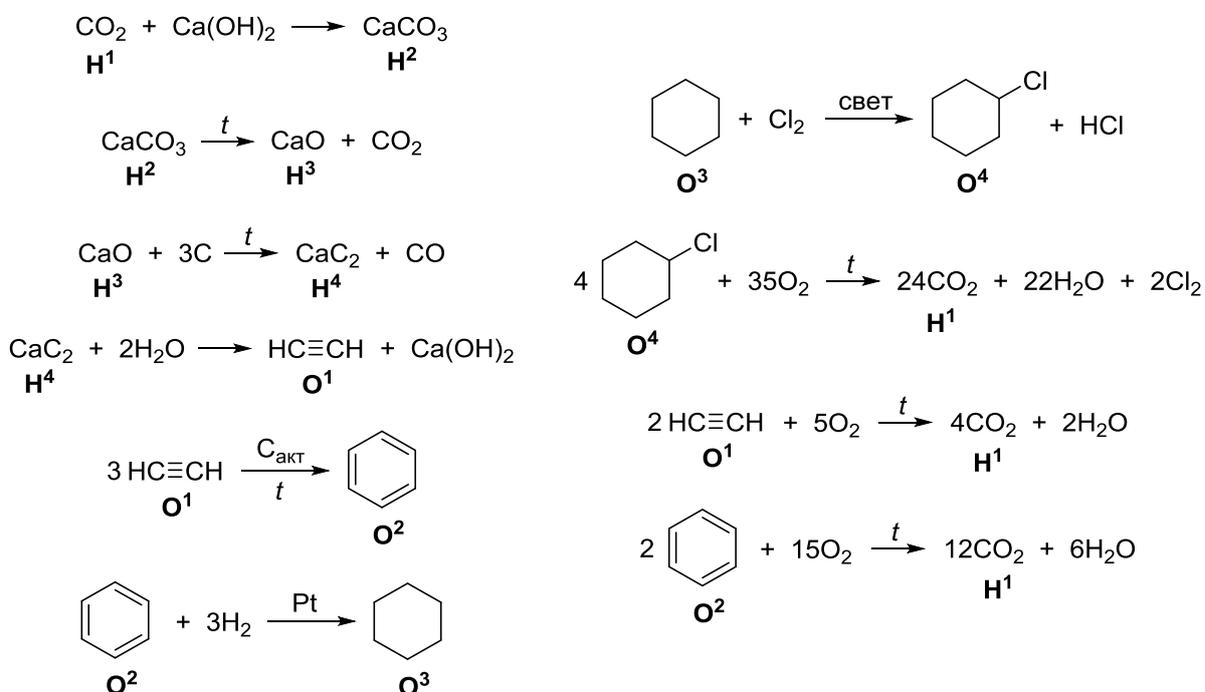
## 10 класс

Максимальный балл:  $10 \times 5 = 50$  баллов. Ответственный редактор: Коронатов А.Н..

Авторы заданий: Коронатов А.Н. (№1,5; №2 – редакция), Толмачев М.В. (№2), Калиничев А.В. (№3), Дмитриев В.А. (№4).

## 1. Решение:

Исходя из последнего вопроса задачи, можно предположить, что вещество **H<sup>1</sup>** – это углекислый газ, так как его проще всего получить из почти что любого органического соединения сжиганием. Тогда один из возможных вариантов решения выглядит следующим образом:

**Критерии оценивания:**

1) 10 реакций – по 1 баллу

$1 \times 10 = 10$  б.

**Примечания:**

При наличии правильных веществ в реакции, но с ошибками в коэффициентах ставится по 0.5 балла.

Если отсутствуют превращения **O<sup>2</sup>** в **H<sup>1</sup>**, а также **O<sup>1</sup>** в **H<sup>1</sup>**, но при этом круг превращений замкнут, максимально может быть выставлено 8 баллов (в зависимости от количества правильно написанных реакций).

При условии того, что круг реакций оказался не замкнутым ставится 50% от набранного количества баллов (например, за две полностью правильные реакции и две реакции с неправильными коэффициентами ставится:  $[2 \times 1 + 2 \times 0.5] \times 0.5 = 1.5$  балла).

---

**ИТОГО:**

10 баллов

**2. Решение:**

Определим молекулярную массу простого вещества **C**, образующегося при прокаливании вещества **A**:  $M_r(\text{C}) = D \times M_r(\text{возд.}) = 2.45 \times 29 = 71$ , следовательно, выделяющееся простое вещество – хлор.

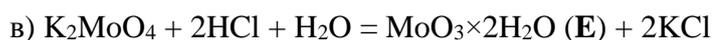
Узнаем состав вещества **A**, исходя из данных о массовой доле металла в соединении.

Составим таблицу, где  $n$  – количество атомов хлора в соединении **A**:

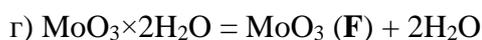
Из всех возможных вариантов нам подходят титан в степени окисления +2 и молибден в степени окисления +4. Однако дихлорид титана термически устойчив и не разлагается при нагревании, а также известно, что при прокаливании 1 моль **A** выделяется 2 моль хлора, что не выполняется в случае дихлорида титана. Значит, вещество **A** – тетрахлорид молибдена.

$n$	$M_r(\text{B})$
1	24
2	48
3	72
4	96
5	120
6	144
7	168
8	192

Уравнения реакций:



(принимаются также следующие варианты **E**:  $\text{MoO}_3 \times \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{MoO}_4$ )



Следовательно, вещество **F** — оксид молибдена (VI), что также подтверждается расчетом, основанном на массовой доли кислорода в соединении **F** в условии.

**Критерии оценивания:**

1) Уравнения реакций а–г – по 2 балла

$4 \times 2 = 8 \text{ б.}$

При наличии правильных веществ в реакции, но с ошибками в коэффициентах ставится по 1 баллу

2) Расчет состава веществ **C**, **F** – по 0.5 балла

$2 \times 0.5 = 1 \text{ б.}$

3) Расчет состава вещества **A**

$1 \times 1 = 1 \text{ б.}$

---

**ИТОГО:**

10 баллов

**3. Решение:**

Запишем уравнение реакции горения металла **M** в токе кислорода, исходя из того, что его наиболее устойчивая с.о. равна 2:  $\mathbf{M}_{(тв)} + 0.5\mathbf{O}_{2(г)} = \mathbf{MO}_{(тв)}$ . По следствию закона Гесса запишем энтальпию данной реакции:

$$\Delta H_{r_1} = \Delta_f H^\circ(\mathbf{MO}_{(тв)}) - \left( \Delta_f H^\circ(\mathbf{M}_{(тв)}) + 0.5\Delta_f H^\circ(\mathbf{O}_{2(г)}) \right)$$

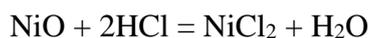
По определению стандартная энтальпия образования простых веществ равна 0, тогда  $\Delta H_{r_1} = \Delta_f H^\circ(\mathbf{MO}_{(тв)}) = -239.7$  кДж на 1 моль вещества. Так как тепловой эффект реакции, в которую вступает  $n$  моль вещества, равен  $n$  тепловым эффектам реакции, рассчитанным на 1 моль вещества, то  $\Delta H_r(n) = n \cdot \Delta H_r(1)$ , а также на основании того, что  $\Delta Q_r = -\Delta H_r$ , можно рассчитать количество вещества, полученного в реакции:

$$n(\mathbf{MO}) = \frac{-\Delta Q_{r_1}}{\Delta H_{r_1}} = \frac{-35.955 \text{ кДж}}{-239.7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}} = 0.15 \text{ моль}$$

По уравнению реакции  $n(\mathbf{M}) = n(\mathbf{MO}) = 0.15$  моль, исходя из этого можно найти молярную массу вещества:  $M(\mathbf{M}) = \frac{m(\mathbf{M})}{n(\mathbf{M})} = \frac{8.80 \text{ г}}{0.15 \text{ моль}} = 58.7 \text{ г/моль}$ , что соответствует металлу Ni. Таким образом, **M** – Ni, **X** – NiO; уравнение реакции:

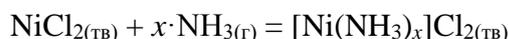


При растворении оксида в соляной кислоте получается хлорид соответствующего металла:



По уравнению реакции  $n(\mathbf{NiCl}_2) = n(\mathbf{NiO}) = 0.15$  моль. Таким образом, **Y** – NiCl<sub>2</sub>.

При пропускании аммиака образуется комплексное соединение с неизвестным координационным числом  $x$ :



По уравнению реакции  $n([\mathbf{Ni}(\mathbf{NH}_3)_x]\mathbf{Cl}_2) = n(\mathbf{NiCl}_2) = 0.15$  моль. Запишем энтальпию данной реакции в общем виде:

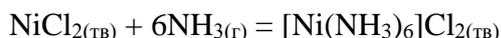
$$\Delta H_{r_2} = \Delta_f H^\circ([\mathbf{Ni}(\mathbf{NH}_3)_x]\mathbf{Cl}_{2(тв)}) - \left( \Delta_f H^\circ(\mathbf{NiCl}_{2(тв)}) + x \cdot \Delta_f H^\circ(\mathbf{NH}_{3(г)}) \right)$$

Рассчитаем сколько энергии выделяется при образовании 1 моля  $\mathbf{NiCl}_{2(тв)}$  по пропорции: 0.15 моль – 62.1 кДж, 1 моль –  $y$  кДж;  $y = \frac{62.1 \text{ кДж} \cdot 1 \text{ моль}}{0.15 \text{ моль}} = 414 \text{ кДж}$ .

Подставим полученное значение в уравнение выше:

$$-414 \text{ кДж} = -995.5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \cdot 1 \text{ моль} - \left( -304.9 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \cdot 1 \text{ моль} + \left( -46.1 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \right) \cdot x \text{ моль} \right)$$

Откуда имеем  $x = 6$ . Таким образом, **Z** –  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ , уравнение реакции:



**Критерии оценивания:**

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1) Определение <b>M</b>                                    | $1 \times 2 = 2 \text{ б.}$     |
| 2) Определение <b>X, Y, Z</b>                              | $3 \times 0.5 = 1.5 \text{ б.}$ |
| 3) Уравнения упомянутых в задаче реакций                   | $3 \times 0.5 = 1.5 \text{ б.}$ |
| 4) Запись выражения энтальпии реакции комплексообразования | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$     |
| 5) Определение координационного числа                      | $1 \times 4 = 4 \text{ б.}$     |

*Примечание:* Если вместо никеля обучающимся в задаче был выбран кобальт, то за пункты 1 и 2 выставляется 50% от набранных баллов (т.к.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$  имеет желто-розовую окраску).

**ИТОГО:**

10 баллов

**4. Решение:**

Сперва следует определить формулу ацетиленид натрия:

$$\omega(\text{Na}) = \frac{M(\text{Na})}{M(\text{B})} \quad (1)$$

Составим общую формулу ацетиленид натрия **B**:  $\text{C}_n\text{H}_{2n-3}\text{Na}$ , отсюда получаем:

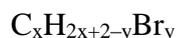
$$M(\text{B}) = M(\text{C}) \times n + M(\text{H}) \times (2n - 3) + M(\text{Na}) = 12n + 2n - 3 + 23 = 14n + 20 \quad (2)$$

Подставляем известные значения в уравнение (1) и получаем уравнение с одним неизвестным:

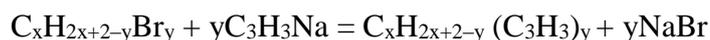
$$0.37097 = \frac{23}{14n + 20} \quad (3)$$

Оно имеет единственное решение  $n=3$ . Таким образом, искомым ацетиленид натрия – производное пропина  $\text{C}_3\text{H}_3\text{Na}$ .

В задаче ничего не сказано по поводу количества атомов брома в молекуле галогеналкана, но известно, что он предельный. Таким образом, мы можем записать общую формулу бромалкана **A**:



Согласно условию, на первой стадии происходит реакция нуклеофильного замещения. Процесс описывается уравнением:



Количество атомов водорода в продукте увеличивается в 2 раза:

$$0.5 = \frac{2x+2-y}{2x+2-y+3y} \quad (4) \text{ или } x = 2y - 1 \quad (4)$$

Данное уравнение имеет бесконечное множество решений, выпишем первые из них в таблицу. С учетом того факта, что  $x$  и  $y$  являются целыми числами, то нас интересуют только нечетные строки (выделены серым цветом).

$x$	$y$	формула
1	1	$\text{CH}_3\text{Br}$
2	1.5	
3	2	$\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2$
4	2.5	
5	3	$\text{C}_5\text{H}_9\text{Br}_3$
и т.д.		

Для выбора из множества решений одного конкретного требуется применить второе ограничительное условие. В математическом виде оно записывается следующим образом:

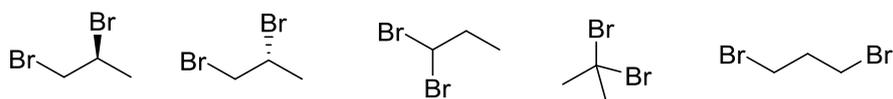
$$5.1 = \frac{M(\text{C}) \times (x + 3y) / M(\text{D})}{M(\text{C}) \times x / M(\text{B})} \quad (5)$$

При подстановке значений получается выражение:

$$5.1 = \frac{12x + 36y / 14x + 38y + 2}{12x / 14x + 80y + 2} \quad (5. a)$$

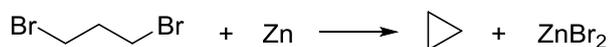
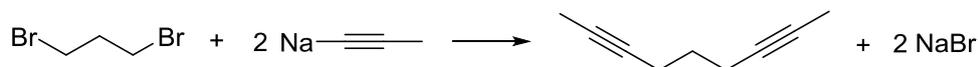
В принципе, уравнения 5.a и 4 образуют систему двух уравнений с двумя неизвестными. Единственное решение такой системы приведет нас к верному ответу. При решении такой системы требуется найти корни довольно громоздкого квадратного уравнения (что не запрещается), однако, более простым подходом в данном случае будет применение метода перебора. Мы уже получили некоторые значения  $x$  и  $y$  из уравнения 4. Подставляя значения одновременно  $x$  и  $y$  в уравнение 5.a мы получаем довольно простое выражение, не содержащее переменных совсем. Равенство будет верным только в случае пары  $x = 3$ ,  $y = 2$ , что соответствует молекулярной формуле  $\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2$ .

Молекулярной формуле  $\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2$  соответствуют **5 изомеров**:



При обработке цинком только 1,3-дибромпропан дает симметричный циклопропан (**E**), содержащий атомы углерода только одного типа.

Уравнения реакций:



**Критерии оценивания:**

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1) Молекулярные формулы веществ <b>A</b> , <b>D</b> – по 2 балла | $2 \times 2 = 4 \text{ б.}$   |
| 2) Расчет молекулярной формулы <b>B</b>                          | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$   |
| 3) 5 изомеров вещества <b>A</b> – по 0.4 балла                   | $5 \times 0.4 = 2 \text{ б.}$ |
| 4) Определение структурной формулы <b>A</b>                      | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$   |
| 5) 2 уравнения реакций – по 1 баллу                              | $2 \times 1 = 2 \text{ б.}$   |

Если коэффициенты в уравнении расставлены неверно

либо пропущен неорганический продукт реакции, выставляется 0.5 балла

**ИТОГО:**

10 баллов

**5. Решение:**

Так как пламя с **X** окрасилось в фиолетовый цвет, можно определить, что катион в соли **X** – это калий. Также очевидно, что **X** – восстановитель, так как он реагирует с перекисью без выделения газа, а последующее выпадение белого осадка с солью бария свидетельствует о том, что в растворе находились карбонат, фосфат или сульфат анионы. Так как осадок не растворим в сильных минеральных кислотах, то первые два варианта отпадают. Попробуем подтвердить факт наличия сульфат анионов в растворе. Рассчитаем количество добавленной  $\text{H}_2\text{O}_2$ :

$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 3 \times 1.02 \times 0.005 = 15.3 \text{ мг}; n(\text{H}_2\text{O}_2)_{\text{общ}} = 15.3/34 = 0.45 \text{ ммоль.}$$

Вещество **Y** – явный окислитель, так как в кислой среде окисляет перекись водорода до кислорода, при этом обесцвечиваясь. По свойствам и поведению похоже на перманганат калия, предположим, что это он, тогда запишем уравнение окисления  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



Так как потребовалось 8 мл 0.01M раствора  $\text{KMnO}_4$ , то узнаем количество  $\text{KMnO}_4$ :

$$n(\text{KMnO}_4) = 8 \times 0.01 = 0.08 \text{ ммоль.}$$

Откуда по уравнению реакции рассчитаем, сколько  $\text{H}_2\text{O}_2$  прореагировало с перманганатом калия:

$$n(\text{H}_2\text{O}_2)_1 = n(\text{KMnO}_4) \times 2.5 = 0.2 \text{ ммоль.}$$

Значит с **X** вступило в реакцию количество  $n(\text{H}_2\text{O}_2)_2$  перекиси водорода:

$$n(\text{H}_2\text{O}_2)_2 = n(\text{H}_2\text{O}_2)_{\text{общ}} - n(\text{H}_2\text{O}_2)_1 = 0.25 \text{ ммоль.}$$

Если окисляясь **X** отдает  $y$  электронов, запишем его реакцию с перекисью водорода:



Тогда, зная вступившее в реакцию количество перекиси водорода, найдем количество прореагировавшего **X**:

$$n(\text{X}) = 0.25 / (y/2) = 0.5/y \text{ ммоль.}$$

Откуда, зная массу вступившего в реакцию **X**, найдем его молярную массу:

$$M_r(\text{X}) = 48.5 / (0.5/y) = 97y.$$

Составим таблицу, где  $z$  – количество воды в кристаллогидрате, а в ячейке соответствующая молярная масса безводной соли **X**:

$y/z$	$z = 1$	2	3	4	5	...
$y = 1$	79	61	43	25	-	...
2	176	<b>158</b> ( $\text{K}_2\text{SO}_3$ )	140	122	104	...
3	273	255	237	219	201	...
4	370	352	334	316	298	...
5	467	449	431	413	395	...

Подходит под условие задачи дигидрат сульфита калия ( $\text{K}_2\text{SO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Запишем два оставшихся упомянутых уравнения реакции:



Петя посоветовал Васе не откладывать с экспериментами, т.к. перманганат калия при стоянии в растворе разлагается, окисляя воду.

#### Критерии оценивания:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1) Соединения <b>X</b> , <b>Y</b> – по 1 баллу              | $2 \times 1 = 2 \text{ б.}$ |
| 2) 3 уравнения реакции – по 1 баллу                         | $3 \times 1 = 3 \text{ б.}$ |
| 3) Расчет общего количества вещества $\text{H}_2\text{O}_2$ | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$ |
| 4) Расчет общего количества вещества $\text{KMnO}_4$        | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$ |
| 5) Расчет молярной массы <b>X</b>                           | $1 \times 2 = 2 \text{ б.}$ |
| 6) Ответ на вопрос про раствор перманганата калия           | $1 \times 1 = 1 \text{ б.}$ |

**ИТОГО:**

10 баллов