

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 УЧЕБНЫЙ ГОД  
11 КЛАСС**

**11-1**

Раствор хлорида металла (вещество **А**) разделили на две части. В первую часть постепенно добавили избыток раствора цианида калия. Образовавшийся сначала белый осадок (**Б**) растворился в избытке цианида калия с образованием вещества **В** (реакция 1,2). Ко второй части добавили раствор щелочи (**Г**) с массовой долей металла 57,5% (реакция 3). Осадок серо-зеленого цвета (**Д**) растворили в кислоте (**Е**), при этом выделился бурый газ (**Ж**) (реакция 4). Раствор соли (**З**) разделили пополам и одну часть нагрели (реакция 5). Ко второй части добавили раствор карбоната натрия (реакция 6). Выделившийся газ (**И**) вызывает помутнение известковой воды (реакция 7). При его избытке осадок растворяется с образованием вещества **К**. (реакция 8).

1. Установите формулу щелочи.
2. Установите формулы веществ А-З.
3. Дайте название веществам Б и В.
4. Напишите уравнения химических реакций для всех превращений.
5. Рассчитайте количество анионов в молекуле вещества **З** (в штуках) в 99,2 г 5%-ного раствора нитрата железа (III)

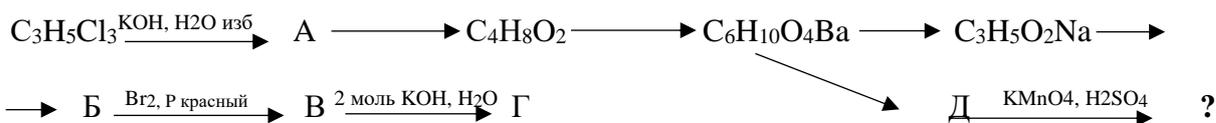
РЕШЕНИЕ	Критерии
<p>1. Определение формулы щелочи: Щелочи могут иметь вид либо <math>\text{MeOH}</math>, либо <math>\text{Me}(\text{OH})_2</math> Произведем расчеты: <math display="block">\omega(\text{Me}) = \frac{\text{Ar}(\text{Me})}{\text{Ar}(\text{Me}) + \text{Mr}(\text{OH})}</math> <math>0.575 = \text{Ar}(\text{Me}) / (\text{Ar}(\text{Me}) + 17);</math> <math>\text{Ar}(\text{Me}) = 23</math> - масса соответствует атому натрия. Проверив предположение, что щелочь имеет вид <math>\text{Me}(\text{OH})_2</math> и проведя расчеты атомной массы по формуле <math>\omega(\text{Me}) = \frac{\text{Ar}(\text{Me})}{\text{Ar}(\text{Me}) + 2 \text{Mr}(\text{OH})}</math> получим <math>\text{Ar}(\text{Me}) = 46</math>. Щелочноземельного металла с такой атомной массой нет. Следовательно щелочь - <math>\text{NaOH}</math></p>	2 балла- по 1 за каждый расчет
<p>2. Формулы веществ А- <math>\text{FeCl}_2</math> Б- <math>\text{Fe}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]</math> В- <math>\text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6]</math> Г- <math>\text{NaOH}</math> на основе расчетов Д- <math>\text{Fe}(\text{OH})_2</math> Е- <math>\text{HNO}_3</math> Ж- <math>\text{NO}_2</math> З - <math>\text{Fe}(\text{NO}_3)_3</math> И- <math>\text{CO}_2</math> К- <math>\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2</math></p>	5 балла - по 0,5 баллов за каждую формулу
<p>Б- <math>\text{Fe}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]</math> – гексацианоферрат (II) железа (II) В- <math>\text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6]</math> - гексацианоферрат(II) калия</p>	1 балл-за название солей

	Б,В (по 0,5 балла за каждую соль)
<p>4- уравнения реакций:</p> <p>Реакция 1: <math>3\text{FeCl}_2 + 6 \text{KCN} = \text{Fe}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow + 6\text{KCl}</math></p> <p>Реакция 2: <math>\text{Fe}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6] + 4 \text{KCN} = \text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6] + 2\text{Fe}(\text{CN})_2</math></p> <p>Реакция 3: <math>\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{NaCl}</math></p> <p>Реакция 4: <math>\text{Fe}(\text{OH})_2 + 4\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>Реакция 5: <math>4\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 12\text{NO}_2 + 3\text{O}_2</math></p> <p>Реакция 6: <math>2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CO}_2 + 6\text{NaNO}_3</math></p> <p>Реакция 7: <math>\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}</math></p> <p>Реакция 8: <math>\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2</math></p>	<p>13 баллов :</p> <p>- по 2 балла за реакции 1,2,4,5,6 (1балл, если ошибки в коэффициентах);</p> <p>- по 1 баллу за реакции 3,7,8</p>
<p>5- расчет количества нитрат ионов</p> <p>-рассчитаем массу нитрата железа (III) в растворе</p> $m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = m \text{ p-ра} \cdot \omega \quad m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 99,2 \cdot 0,05 = 4,96 \text{ г}$ <p>- рассчитаем количество нитрата железа (III)</p> $n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = m/M \quad n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 4.96/242 = 0,02 \text{ моль}$ <p>- рассчитаем количество нитрат ионов, моль</p> $n(\text{NO}_3^-) = 3 \cdot n(\text{HNO}_3) \quad n(\text{NO}_3^-) = 3 \cdot 0.02 = 0.06 \text{ моль}$ <p>- рассчитаем количество нитрат ионов, штук</p> $N(\text{NO}_3^-) = n \cdot N_A \quad N(\text{NO}_3^-) = 0.06 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 36,12 \cdot 10^{21}$	4 балла (по 1 за каждый расчет)
<b>ИТОГО</b>	<b>25 баллов</b>

## 11-2

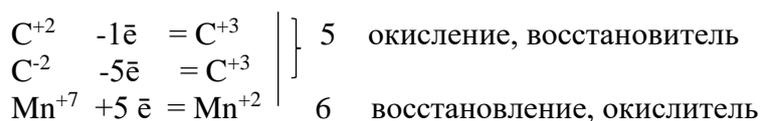
Вам предложена схема превращений.

- Составьте уравнения реакций, используя для записи структурные формулы.
- В уравнении химической реакции окисления вещества Д коэффициенты подберите методом электронного баланса. Укажите название процессов, окислитель и восстановитель.



Решение

- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CCl}_3 + 4 \text{KOH (водн.)} \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOK (A)} + 2\text{H}_2\text{O} + 3 \text{KCl}$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOK} + \text{CH}_3\text{Cl} \xrightarrow{\text{t, C}} \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOCH}_3 + \text{KCl}$
- $2 \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOCH}_3 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow (\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COO})_2\text{Ba} + 2\text{CH}_3\text{OH}$
- $(\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COO})_2\text{Ba} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \downarrow + 2 \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COONa}$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH (B)} + \text{NaCl}$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH} + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{Br}_2, \text{P красный}} \text{CH}_3\text{-CHBr-COOH (B)} + \text{HBr}$
- $\text{CH}_3\text{-CHBr-COOH} + 2\text{KOH (водн.)} \rightarrow \text{CH}_3\text{-CHOH-COOK (Г)} + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$
- $(\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COO})_2\text{Ba} \xrightarrow{\text{t}} \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C(O)-CH}_2\text{-CH}_3 \text{ (Д)}$
- $5\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C(O)-CH}_2\text{-CH}_3 + 6 \text{KMnO}_4 + 9\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH} + 5\text{CH}_3\text{-COOH} + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 6 \text{MnSO}_4 + 9\text{H}_2\text{O}$



Критерии оценивания:

1. Уравнения химических превращений № 1, 9 - по 2 балла, (с ошибкой в коэффициентах- по 1 баллу), уравнения 2-8- по 1 баллу. Итого-11 баллов
2. Электронный баланс – 1 балл, название процессов, указание окислителя и восстановителя-1 балл.

ИТОГО- 13 баллов

### 11-3

Навеску нитрата меди нагрели. При этом образовалось 8,4 л смеси газов. Масса твердого остатка составила 21,4 г. К твердому остатку последовательно добавили 100 мл воды и 112 г 20%-го раствора гидроксида калия. Определите массовую долю гидроксида калия в образовавшемся растворе.

Решение и критерии	
$2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$	1 балл
Расчет количества газов $n = V/V_m, \quad n(\text{NO}_2, \text{O}_2) = 8,4/22,4 = 0,375$ моль	0,5 балла
Пусть количество нитрата меди (II), вступившего в реакцию- x моль, тогда по уравнению реакции: $n(\text{CuO}) = x$ моль, $n(\text{NO}_2) = 2x$ моль, $n(\text{O}_2) = 0,5x$ моль, $2x + 0,5x = 0,375 \quad x = 0,15$ моль - количество $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ вступившего в реакцию	1 балл
$n(\text{CuO}) = n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,15$ моль, $m(\text{CuO}) = 0,15 \text{ г} \cdot 80 \text{ г/моль} = 12 \text{ г}$	1 балл
$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)_{\text{ост.}} = 21,4 - 12 = 9,4 \text{ г} \quad n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)_{\text{ост.}} = 9,4 \text{ г} / 188 \text{ г/моль} = 0,05$ моль	1 балл
$\text{CuO} + \text{KOH}$ – не взаимодействуют 0,05 моль $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{KNO}_3$	1 балл
$m(\text{KOH})_{\text{исходного}} = m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{KOH}) = 112 \cdot 0,2 = 22,4 \text{ г}$ $n(\text{KOH})_{\text{вступившего в реакцию}} = 0,05/1 \cdot 2 = 0,1$ моль $m(\text{KOH})_{\text{вступившего в реакцию}} = 0,1 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 5,6 \text{ г}$	1 балл
$m(\text{KOH})_{\text{ост. в растворе}} = 22,4 - 5,6 = 16,8 \text{ г}$	0,5 балла
$n(\text{Cu}(\text{OH})_2) = n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,05$ моль	1 балл

$m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 0,05 \text{ моль} * 98 \text{ г/моль} = 4,9 \text{ г}$	
$m \text{ конечного раствора} = m \text{ тв. ост.} + m \text{ воды} + m \text{ раствора} - m (\text{Cu}(\text{OH})_2) =$ $21,4 + 100 + 112 - 4,9 = 228,5 \text{ г}$	1 балл
$\omega (\text{KOH}) = m(\text{KOH})/m \text{ р-ра} * 100\% = 16,8/228,5 * 100 = 7,35\%$	1 балл
ИТОГО	10 баллов

#### 11-4

Восстановление углеродом оксидов металлов — это металлургический процесс, называемый карботермией. Он основан на присутствии твёрдого углерода при повышенных температурах и протекает согласно уравнению  $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{C}(\text{к}) = 2\text{Cr}(\text{к}) + 3\text{CO}(\text{г})$ .

1. Вычислите  $\Delta H^0_{\text{х.р}}$  и  $\Delta S^0_{\text{х.р}}$  данной реакции.
2. Вычислите  $\Delta G^0_{\text{х.р}}$  данной реакции и определите, возможна ли реакция восстановления оксида хрома (III) углеродом при температуре 500 К? Зависимостью  $\Delta H^0_{\text{х.р}}$ ,  $\Delta S^0_{\text{х.р}}$  от температуры пренебречь.  $\Delta G = \Delta H^0 - T\Delta S$
3. При какой минимальной температуре начинается реакция?

Вещество	$\Delta H^0$ , кДж/моль	$\Delta S^0_{\text{х.р.}}$ , Дж/(моль·К)
$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к})$	-1140,6	81,2
C (графит)	0	5,74
CO	-110,52	197,54
Cr(к)	0	23,6

Решение и критерии:

$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = \Sigma \Delta H \text{ прод.} - \Sigma \Delta H \text{ исх.}$ $\Delta H^0_{\text{х.р.}} = (3 \Delta H^0(\text{CO}) + 2 \Delta H^0(\text{Cr})) - (\Delta H^0(\text{Cr}_2\text{O}_3) + 3 \Delta H^0(\text{C})) = (3 * (-110,52) + 2 * 0) - (-1140,6 + 3 * 0) = -331,5 + 1140,6 = +809,1 \text{ кДж}$	2 балла
$\Delta S^0_{\text{х.р.}} = \Sigma \Delta S^0 \text{ прод.} - \Sigma \Delta S^0 \text{ исх.}$ $\Delta S^0_{\text{х.р.}} = (3 \Delta S^0(\text{CO}) + 2 \Delta S^0(\text{Cr})) - (\Delta S^0(\text{Cr}_2\text{O}_3) + 3 \Delta S^0(\text{C})) = (3 * 197,54 + 2 * 23,6) - (81,2 + 3 * 5,74) = 639,82 - 98,42 = +541,4 \text{ Дж/К или } 0,5414 \text{ кДж/К}$	2 балла
$\Delta G = \Delta H^0 - T\Delta S$ $\Delta G_{500} = 809,1 \text{ кДж} - 500 \text{ К} * 0,5414 \text{ кДж/К} = +538,4$ Так как $\Delta G > 0$ , реакция самопроизвольно не идет	2 балла за расчет + 1 балл за вывод

Самопроизвольное протекание реакции возможно при $\Delta G < 0$ $0 = +809,1 - T * 0,5414 \quad T = 1494,5^0$ Реакция начинается при температуре выше $1494,5^0\text{C}$	2 балла
<b>ИТОГО</b>	9 баллов

### 11-5

Минерал гидроборацит содержит 9,66 % кальция, 5,8 % магния, 65,7% кислорода, а также бор и водород. Определить формулу гидроборацита. (Использовать приближенные значения атомных масс).

<b>Решение:</b>	баллы										
Формулу гидроборацита обозначим как $\text{Ca}_a\text{Mg}_b\text{V}_c\text{H}_d\text{O}_f$ . Обозначим содержание бора в 100 г минерала через X г, тогда $m(\text{H}) = 100 - (9,66 + 5,8 + 65,7) - x = 18,84 - x$ .	1										
Определим количественное соотношение элементов: $\frac{9,66}{40} : \frac{5,8}{24} : \frac{x}{11} : \frac{18,84 - x}{1} : \frac{65,7}{16}$	1										
В минерале элементы проявляют характерные степени окисления: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>+2</td> <td>+2</td> <td>+3</td> <td>+1</td> <td>-2</td> </tr> <tr> <td>Ca<sub>a</sub></td> <td>Mg<sub>b</sub></td> <td>V<sub>c</sub></td> <td>H<sub>d</sub></td> <td>O<sub>f</sub></td> </tr> </table>	+2	+2	+3	+1	-2	Ca <sub>a</sub>	Mg <sub>b</sub>	V <sub>c</sub>	H <sub>d</sub>	O <sub>f</sub>	1
+2	+2	+3	+1	-2							
Ca <sub>a</sub>	Mg <sub>b</sub>	V <sub>c</sub>	H <sub>d</sub>	O <sub>f</sub>							
Исходя из того, что алгебраическая сумма произведения чисел атомов элементов на их степени окисления равна нулю, можно составить уравнение: $\frac{9,66}{40} * 2 + \frac{5,8}{24} * 2 + \frac{x}{11} * 3 + \frac{18,84 - x}{1} - \frac{65,7}{16} * 2 = 0$ $X = 15,95$	2										
Определим количественное соотношение элементов: $a : b : c : d : f = \frac{9,66}{40} : \frac{5,8}{24} : \frac{10,3}{11} : \frac{8,54}{1} : \frac{65,7}{16} = 0,2415 : 0,2416 : 1,45 : 2,89 : 4,1 = 1 : 1 : 6 : 12 : 17$	2										
Таким образом, простейшая формула вещества – $\text{CaMgV}_6\text{H}_{12}\text{O}_{17}$ или $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{V}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1										
<b>ИТОГО</b>	8										

Общее количество баллов -65 баллов