

7-8 КЛАСС

(продолжительность – 3 часа; общее количество баллов 90)

Задача 1

Решение.

1. В условии задачи сказано, что все рассмотренные соединения – кислоты. Значит в состав каждого вещества входит водород (H). Очевидно, что самый легкий элемент это водород ($A(H)=1$ г/моль). Также известно, что отношение $A(A)/A(H) = 80$. Отсюда находим, что неизвестный элемент **A** – бром ($A(Br)=80$ г/моль).

2. Проанализируем молекулярные массы кислот и запишем молекулярные формулы:

- $M=81$ г/моль соответствует HBr – бромоводородная кислота (валентность брома - I);
- $M=97$ г/моль соответствует $HBrO$ – бромноватистая кислота (валентность брома - I) ($97-81=16$, что соответствует 1 атому кислорода в молекуле);
- $M=113$ г/моль соответствует $HBrO_2$ – бромистая кислота (валентность брома - III) ($113-81=32$, что соответствует 2 атомам кислорода в молекуле);
- $M=129$ г/моль соответствует $HBrO_3$ – бромноватая кислота (валентность брома - V) ($129-81=48$, что соответствует 3 атомам кислорода в молекуле);
- $M=145$ г/моль соответствует $HBrO_4$ – бромная кислота (валентность брома - VII) ($145-81=64$, что соответствует 4 атомам кислорода в молекуле).

Ответ: водород (H) и бром (Br); кислоты брома: HBr , $HBrO$, $HBrO_2$, $HBrO_3$ и $HBrO_4$; валентности: I, III, V и VII.

Разбалловка: (15 баллов)

За определение элементов H и Br (3.5 балла за водород и 4 баллов за бром) – 7.5 баллов;
За установление формулы каждой кислоты (по 1 баллу за каждую кислоту) – 5 баллов;
За определение валентности брома в каждой кислоте (по 0.5 баллов за валентность брома в каждой кислоте) – 2.5 балла.

Задача 2

Решение.

1. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что неизвестные вещества $Y(XZ_3)_2$ и $Y(XZ_2)_2$ отличаются на два атома **Z**. При этом разница $M(Y(XZ_3)_2)-M(Y(XZ_2)_2)=32$ г/моль. Отсюда следует, что неизвестный элемент **Z** – кислород ($A(O)=16$ г/моль).

2. Определим общее число электронов в солях $Y(XZ_3)_2$ и $Y(XZ_2)_2$. Для этого воспользуемся формулой:

$$v(\bar{e})_O = \frac{v(O) \cdot 8}{v(e)_Z} \cdot 100\%.$$

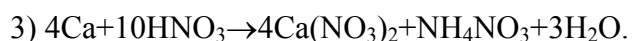
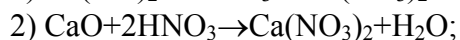
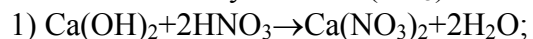
для $Y(XZ_3)_2$: $v(\bar{e})_Z = 6 \cdot 8 \cdot 100 / 58.54 = 82$;

для $Y(XZ_2)_2$: $v(\bar{e})_Z = 4 \cdot 8 \cdot 100 / 48.48 = 66$.

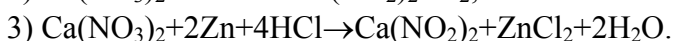
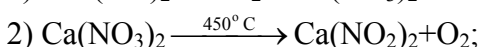
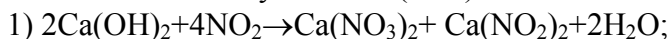
3. Исходя из этих данных можно легко рассчитать, что число электронов в одном атоме **Y** равно 20, а в атоме **X** – 7. Это позволяет однозначно сказать о том, что **Y** – это кальций (Ca), а **X** – азот (N). В итоге получаем: $Y(XZ_3)_2$ – $Ca(NO_3)_2$ – нитрат кальция, $Y(XZ_2)_2$ – $Ca(NO_2)_2$ – нитрит кальция.

4. Реакции получения $Ca(NO_3)_2$ и $Ca(NO_2)_2$:

получение $Ca(NO_3)_2$:



получение $Ca(NO_2)_2$:



Ответ: $Y(XZ_3)_2$ – $Ca(NO_3)_2$ – нитрат кальция, $Y(XZ_2)_2$ – $Ca(NO_2)_2$ – нитрит кальция.

Разбалловка: (15 баллов)

За окрытие кислорода - 4 балла;

За открытие кальция и азота (по 3 балла за элемент) – 6 баллов;
 За формулы веществ (по 0.5 балла за формулу) - 1 балл;
 За составление реакций (2 балла за каждую реакцию) – 4 балла.

Задача 3

Решение.

Возможно несколько вариантов решений. Одно из них выглядит следующим образом.

1. Приведенным в схеме превращений могут соответствовать следующие вещества:

X – кислород (O₂);

Y – нитрат магния (Mg(NO₃)₂);

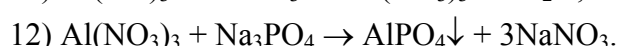
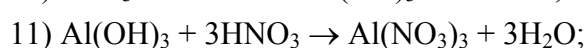
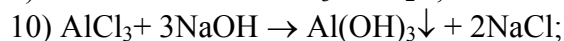
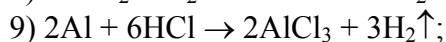
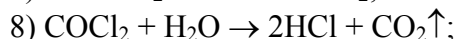
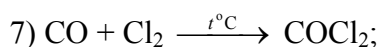
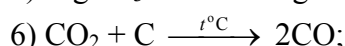
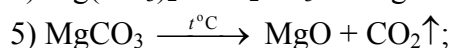
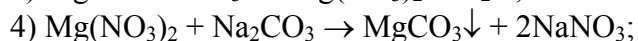
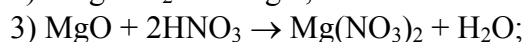
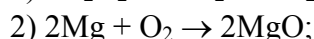
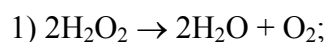
Z – оксид углерода (IV) (CO₂);

K – оксодихлорид углерода (IV) (COCl₂);

L – хлорид алюминия (AlCl₃);

M – нитрат алюминия (Al(NO₃)₃).

2. Перечисленные в условии задачи схемы превращений можно представить следующими уравнениями реакций:



Разбалловка: (18 баллов)

За определение шести веществ X-M (по 1 баллу за вещество) – 6 баллов;

За двенадцать реакций 1-12 (каждую по 1 балл) – 12 баллов.

Внимание! Разбалловка дана применительно к данному решению. В случае другого правильного варианта необходимо использовать только такую разбалловку!

Задача 4

Решение.

1. Рассмотрим исходный раствор серной кислоты:

- $m_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4} = V_{\text{p-p}} \cdot \rho_{\text{p-p}} = 250 \cdot 1.14 = 285$ г – масса раствора H₂SO₄;

- $m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_{\text{p-p}} \cdot \omega_{\text{p-p}} = 285 \cdot 0.2 = 57$ г – масса H₂SO₄ в исходном растворе H₂SO₄;

- $m_1(\text{H}_2\text{O}) = 285 - 57 = 228$ г масса H₂O в исходном растворе H₂SO₄;

- $\nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) / M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 57 / 98 = 0.5816$ моль; $\nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu_1(\text{SO}_4^{2-})$; $\nu_1(\text{O})_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 4\nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4)$;

- $m_1(\text{SO}_4^{2-}) = \nu_1(\text{SO}_4^{2-}) \cdot M(\text{SO}_4^{2-}) = 0.5816 \cdot 96 = 55.83$ г;

- $\nu_1(\text{H}_2\text{O}) = m_1(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 228 / 18 = 12.6667$ моль; $\nu_1(\text{H}_2\text{O}) = \nu_1(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}}$;

- $\nu_1(\text{O})_{\text{p-p}} = \nu_1(\text{O})_{\text{H}_2\text{SO}_4} + \nu_1(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \cdot 0.5816 + 12.667 = 15$ моль;

- $m_1(\text{O})_{\text{p-p}} = \nu_1(\text{O})_{\text{p-p}} \cdot A(\text{O}) = 15 \cdot 16 = 240$ г.

2. Рассмотрим исходный раствор сульфата натрия:

- $m_{\text{p-pNa}_2\text{SO}_4} = V_{\text{p-p}} \cdot \rho_{\text{p-p}} = 250 \cdot 1.091 = 272.75$ г – масса раствора Na₂SO₄;

- $m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m_{\text{p-p}} \cdot \omega_{\text{p-p}} = 272.75 \cdot 0.1 = 27.275$ г – масса Na₂SO₄ в исходном растворе Na₂SO₄;

- $m_2(\text{H}_2\text{O}) = 272.75 - 27.275 = 245.475$ г масса H₂O в исходном растворе Na₂SO₄;

- $\nu_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) / M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 27.275 / 142 = 0.192$ моль; $\nu_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu_2(\text{SO}_4^{2-})$; $\nu_2(\text{O})_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 4\nu_2(\text{Na}_2\text{SO}_4)$;

- $m_2(\text{SO}_4^{2-}) = \nu_2(\text{SO}_4^{2-}) \cdot M(\text{SO}_4^{2-}) = 0.192 \cdot 96 = 18.43$ г;

- $\nu_2(\text{H}_2\text{O}) = m_2(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 245.475 / 18 = 13.638$ моль; $\nu_2(\text{H}_2\text{O}) = \nu_2(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}}$;

- $\nu_2(\text{O})_{\text{p-p}} = \nu_2(\text{O})_{\text{Na}_2\text{SO}_4} + \nu_2(\text{O})_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \cdot 0.192 + 13.638 = 14.406$ моль;

- $m_2(\text{O})_{\text{p-p}} = \nu_2(\text{O})_{\text{p-p}} \cdot A(\text{O}) = 14.406 \cdot 16 = 230.5$ г.

3. После смешения растворов H₂SO₄ и Na₂SO₄ получаем:

$$m_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} = m_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4} + m_{\text{p-pNa}_2\text{SO}_4} = 285 + 272.75 = 557.75 \text{ г};$$

$$\omega(\text{O})_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} = m(\text{O})_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot 100\% / m_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} = (240+230.5) \cdot 100\% / 557.75 = 84.36\%;$$

$$\omega(\text{SO}_4^{2-})_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} = m(\text{SO}_4^{2-})_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} \cdot 100\% / m_{\text{p-pH}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4} = (55.83+18.43) \cdot 100\% / 557.75 = 13.31\%;$$

Ответ: $\omega(\text{O}) = 84.36\%$; $\omega(\text{SO}_4^{2-}) = 13.31\%$

Разбалловка: (15 баллов)

За определение массы раствора после смешения исходных растворов – 5 баллов;

За расчет массовой доли атомов кислорода в растворе – 5 баллов;

За расчет массовой доли SO_4^{2-} -ионов – 5 баллов.

Задача 5

Решение.

1. Рассчитаем сумму массовых долей кальция, железа и кислорода в минерале:

$$\omega(\text{Ca}) + \omega(\text{Fe}) + \omega(\text{O}) = 23.62\% + 22.05\% + 37.80\% = 83.47\% < 100\%,$$

отсюда следует, что "недостающие проценты" (16.53%) приходятся на некоторый неизвестный элемент X.

2. В условии задачи однозначно указано на то, что минерал *демантоид* относится к группе силикатных минералов. Следовательно, в его составе однозначно присутствует кремний (Si), который входит в состав силикатов (соли кремневой кислоты - силикаты). Таким образом, $\omega(\text{Si}) = 16.53\%$.

3. Составим выражение для атомного фактора соединения состава $\text{Ca}_x\text{Fe}_y\text{O}_z\text{Si}_k$:

$$\begin{aligned} x : y : z : k &= v(\text{Ca}) : v(\text{Fe}) : v(\text{O}) : v(\text{Si}) = \frac{\omega(\text{Ca})}{A(\text{Ca})} : \frac{\omega(\text{Fe})}{A(\text{Fe})} : \frac{\omega(\text{O})}{A(\text{O})} : \frac{\omega(\text{Si})}{A(\text{Si})} = \\ &= \frac{23.62}{40} : \frac{22.05}{56} : \frac{37.80}{16} : \frac{16.53}{28} = 0.591 : 0.394 : 2.363 : 0.590 = \\ &= 1.5 : 1 : 6 : 1.5 = 3 : 2 : 12 : 3. \end{aligned}$$

Таким образом, молекулярная формула *демантоид* – $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{O}_{12}\text{Si}_3$ – смешанный ортосиликат кальция и железа (III) ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ или $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$).

Ответ: $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ или $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$.

Разбалловка: (10 баллов)

За расчет массовой доли и определение кремния – 3 балла;

За составление атомного фактора – 5 баллов;

За установление химической формулы *демантоида* – 2 балла.

Задача 6

1. В задании речь идёт о нитрате калия (KNO_3) – вещество Z.

2. Некоторые соли азотной кислоты называются *селитрами*, поэтому другое распространённое название KNO_3 - *индийская селитра*. KNO_3 является составной частью чёрного пороха, который сгорает по уравнению:



3. Нитрат калия является одним из самых распространённых удобрений, поскольку содержит два важнейших для жизнедеятельности растений элементов – элемент X - азот (N); элемент Y – калий (K)

Ответ: KNO_3 – нитрат калия.

Разбалловка: (7 баллов)

За разгадку нитрата калия и его название – 4 балла;

За правильное определение элементов (по 1.5 балла за элемент) – 3 балла.

Задача 7

Решение.

По вертикали. **1.** Кремний. **2.** Электрон. **3.** Скандий. **4.** Водка. **5.** Берцелиус. **6.** Кислород. **7.** Железо.
8. Сера. **9.** Олово.

По горизонтали. **1.** Менделеев.

Разбалловка: (10 баллов)

За разгадку кроссворда (по 1 баллу за слово) – 10 баллов.

9 КЛАСС

(продолжительность – 4 часа; общее количество баллов 120)

Задача 1

Решение.

1. Непоглощённый газ – это CO: $n(\text{CO}) = 0.001$ моль.

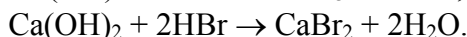
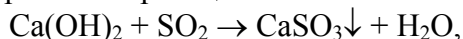
2. Масса смеси HBr и SO₂ равна: $0.527\text{ г} - 0.028\text{ г} = 0.499\text{ г}$.

Пусть в смеси содержится x моль HBr и y моль SO₂. По условию задачи $3 \cdot n(\text{H}) = n(\text{O})$. Можем составить систему из двух уравнений:

$$\begin{aligned} 3x &= 2y + 0.001, \\ 81x + 64y &= 0.499. \end{aligned}$$

$$x = 0.003 \text{ моль HBr}, y = 0.004 \text{ моль SO}_2.$$

3. С гидроксидом кальция протекают реакции:



Откуда: $n(\text{Ca(OH)}_2) = 500\text{ г} \cdot 0.0015 / 74\text{ г/моль} = 0.0010135$ моль.

$$n(\text{Ca(OH)}_2)_{\text{ост}} = 0.010135 - 0.004 - 0.0015 = 0.004635 \text{ моль}.$$

4. Масса раствора после пропускания газов равна:

$$m_{\text{р-р}} = m_{\text{р-ра}}(\text{Ca(OH)}_2) + m_{\text{смесь газов}} - m(\text{CO}) - m(\text{CaSO}_3) = 500 + 0.527 - 0.028 - 0.4 = 500.099\text{ г}.$$

В итоге, получаем:

$$\omega(\text{Ca(OH)}_2) = (0.004635 \cdot 74) \cdot 100\% / 500.099 = 0.069\%.$$

Ответ: $\omega(\text{Ca(OH)}_2) = 0.069\% \approx 0.07\%$.

Разбалловка: (18 баллов)

За определение числа молей CO – 3 балла;

За определение числа молей SO₂ и HBr (по 4 балла) – 8 баллов;

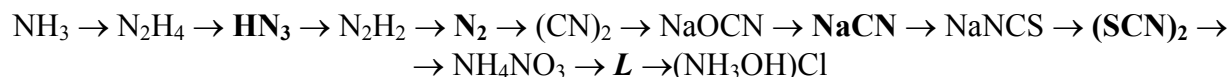
За расчет массы раствора – 4 балла;

За определение массовой доли гидроксида кальция после пропускания газов – 3 балла.

Задача 2

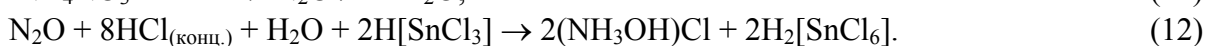
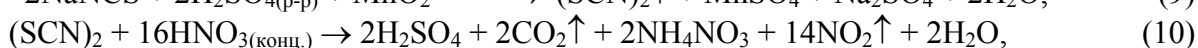
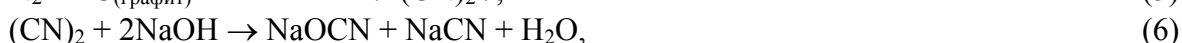
Решение.

1. Предложенной схеме превращений может соответствовать следующая цепочка реакций:



Таким образом, X – HN₃, Y – N₂, Z – NaCN, K – (SCN)₂, L – N₂O.

2. Реакции указанные на схеме приведены ниже (с указанием условий протекания):



Ответ: X – HN₃, Y – N₂, Z – NaCN, K – (SCN)₂, L – N₂O.

Разбалловка: (17 баллов)

За определение элементов **X, Y, Z, K, L** (по 1 баллу за вещество) – 5 баллов;

За реакции 1-12 (каждую по 1 балл) – 12 баллов.

Внимание! Разбалловка дана применительно к данному решению. В случае другого правильного варианта необходимо использовать только такую разбалловку!

Задача 3

Решение.

1. Проанализируем данные о составе веществ. Вещество **T** – бинарное соединение. В таблице содержание кислорода не задано (знак ?), что позволяет предположить, что оно равно 50.45%. Отсюда нетрудно рассчитать при разных значениях валентности *n* элемента в возможных оксидах атомную массу элемента **X**. Очевидно, что:

$$\frac{\omega_X}{\omega_O} = \frac{\frac{A_X}{M_{\text{XO}_{n/2}}}}{\frac{nA_O}{2M_{\text{XO}_{n/2}}}} = \frac{2A_X}{nA_O}, \quad A_X = \frac{\omega_X n A_O}{2\omega_O}$$

при $n=7$ ($\text{XO}_{7/2}$):
$$A_X = \frac{7\omega_X A_O}{2\omega_O} = \frac{7 \cdot 49.55 \cdot 16}{2 \cdot 50.45} = 55.00 \text{ г/моль.}$$

Этому условию удовлетворяет элемент Mn – марганец.

Таким образом, **T** – Mn_2O_7 (тёмная маслянистая жидкость (зелёная в отражённом свете, красная в проходящем свете), легко гидролизуется, термически неустойчиво). Итак, искомый элемент **X** – марганец (Mn).

2. Исходя из цепочки превращений (реакции 28 и I), логично предположить, что вещества **A** и **B** – также оксиды. Поскольку разница молекулярных масс **A** и **B** не кратна 16, то это указывает на то, что **A** и **B** содержат различное число атомов Mn. Пусть в **A** содержится 2 атома Mn, а в **B** 1 атом Mn. Тогда получаем уравнение:

$$M(\text{A}) - M(\text{B}) = 2 \cdot 55 + 16 \cdot x - 55 - 16 \cdot y = 71, \\ x - y = 1.$$

Следовательно, в оксиде **A** на 1 атом Mn и 1 атом O больше, чем в **B**. Такому случаю удовлетворяет пара соединений – Mn_2O_3 и MnO_2 . Полученный результат подтверждается и цепочкой превращений (реакции 28 и I). Таким образом, оксид **A** – Mn_2O_3 , оксид **B** – MnO_2 .

3. Исходя из реакций 3, 6 и 11 можно предположить, что **B** – чистый марганец, а **Ж** – один из его оксидов (бинарное вещество). Определить **Ж** удобно в паре с веществом **Д**, которое судя по условию и реакции 11 также является оксидом. Разница молекулярных масс **Ж** и **Д** равна 158 и также не кратна 16, то, как и в предыдущем случае, **Ж** и **Д** содержат различное число атомов Mn. Из уравнения реакции 6 следует, что в **Д** марганец находится в более низкой степени окисления, чем в MnO_2 . Поскольку оксид Mn (III) (Mn_2O_3) уже расшифрован, то можно предположить, что **Д** – оксид Mn (II) ($M(\text{MnO})=71$ г/моль – по условию). Следовательно, для вещества **Ж** $M(\text{Ж})=71+158=229$ г/моль. Такой молекулярной массе соответствует оксид Mn_3O_4 . Итак, вещество **Д** – MnO , вещество **Ж** – Mn_3O_4 .

4. Состав вещества **П** не трудно установить с помощью данных таблицы и реакции 24. Во-первых, вещество **П** – бинарное соединение. Во вторых, термическое разложение **П** приводит к оксиду MnO. Следовательно **П** – оксид. Составив атомный фактор для **П**

$$v(\text{Mn}) : v(\text{O}) = \frac{\omega(\text{Mn})}{A(\text{Mn})} : \frac{\omega(\text{O})}{A(\text{O})} = \frac{68.24}{55} : \frac{31.76}{16} = 1.240 : 1.985 = 5 : 8$$

позволяет определить состав соединения **П** – оксид Mn_5O_8 .

5. По разнице молекулярных масс **C** и **B** несложно понять, что **C** – оксид марганца (VI) (MnO_3).

6. Анализ уравнений реакций 14, 15, 18, 19, 20, 21 и 27 позволяет предположить, что соединения **З** и **Л** – сульфаты марганца. Поскольку разница молекулярных масс **З** и **Л** не кратна 96,

то это указывает на то, что **З** и **Л** содержат различное число атомов Mn. Схема *реакции 14* позволяет сделать вывод о том, что **З** – сульфат Mn (II) (MnSO_4) (получается восстановлением MnO_2 сульфатом Fe(II)). Тогда $M(\text{Л}) = 151 + 247 = 398$ г/моль. Это соответствует молекулярной массе сульфата Mn (III) ($\text{Mn}_2(\text{SO}_4)_3$).

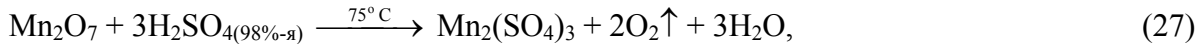
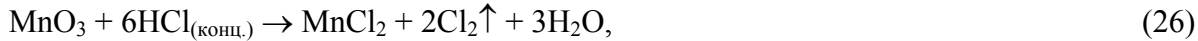
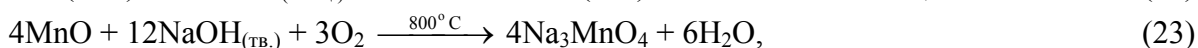
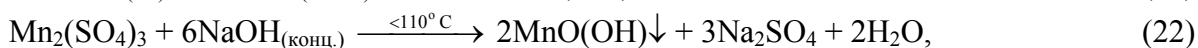
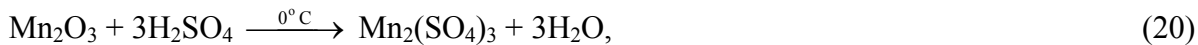
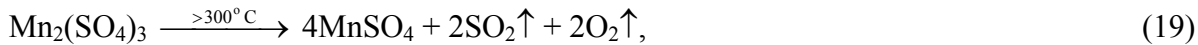
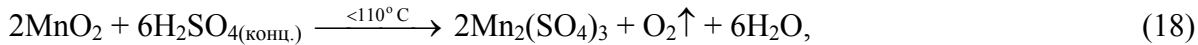
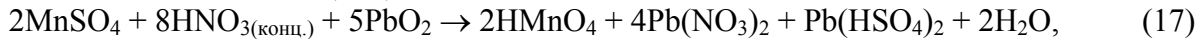
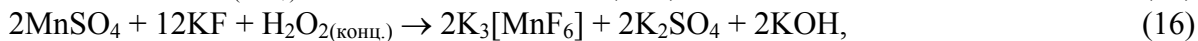
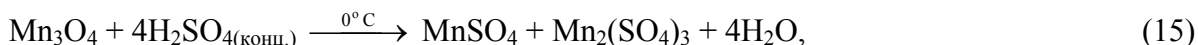
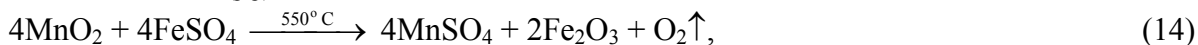
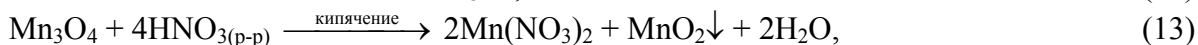
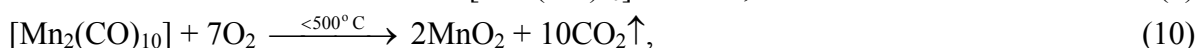
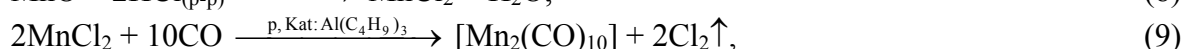
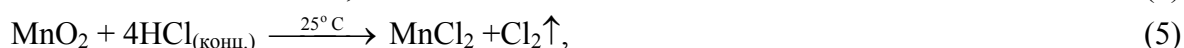
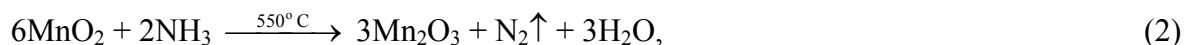
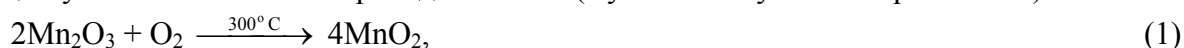
7. О составе вещества **Г** несложно догадаться, если рассмотреть реакции его получения – *реакции 5, 8 и 26*. Очевидно, что это хлорид Mn(II) (MnCl_2).

8. Анализ состава комплексных соединений **Е**, **И** и **Р** (см. таблицу) и реакций их получения позволяет сделать однозначный вывод об их составе: **Е** - $[\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}]$, **И** - $\text{K}_3[\text{MnF}_6]$ и **Р** - $\text{K}_2[\text{MnCl}_5]$.

9. С помощью данных таблицы и соответствующих уравнений реакции можно установить, что **Н** и **О** – это $\text{MnO}(\text{OH})$ и Na_3MnO_4 , соответственно.

10. Самыми сложными для определения являются вещества **К** и **М**, поскольку об их составе ничего не сказано и о свойствах можно судить только по уравнениям *реакций 17 и 21*. Вещества **К** и **М** это HMnO_4 и KMnO_4 , соответственно.

11. Реакции указанные на схеме приведены ниже (с указанием условий протекания):



Ответ: X – Mn; A – Mn₂O₃; Б – MnO₂; В – Mn; Г – MnCl₂; Д – MnO; Е – [Mn₂(CO)₁₀]; Ж – Mn₃O₄; З – MnSO₄; И – K₃[MnF₆]; К – HMnO₄; Л – Mn₂(SO₄)₃; М – KMnO₄; Н – MnO(OH); О – Na₃MnO₄; П – Mn₅O₈; Р – K₂[MnCl₅]; С – MnO₃; Т – Mn₂O₇.

Разбалловка: (30 баллов)

За определение элемента X – 2 балла;

За определение веществ А, Б, Г, Д, Ж, П, С и Т (по 0.5 балла за одно вещество) – 4 балла;

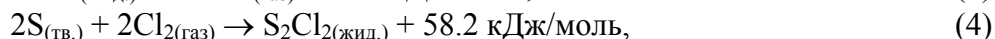
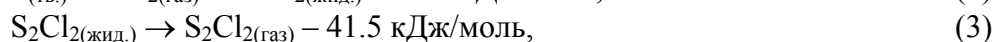
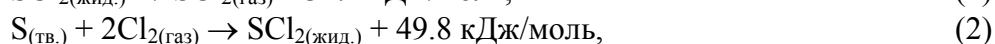
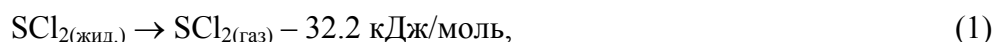
За определение веществ В, Е, З, И, К, Л, М, Н, О и Р (по 1 баллу за одно вещество) – 10 баллов;

За уравнения реакций 1-28 (по 0.5 балла за каждое уравнение) – 14 баллов.

Задача 4

Решение.

1. Составим несколько термохимических уравнений (с учётом знаков тепловых эффектов реакций):



2. Величина энергии связи -S-S- может быть рассчитана из теплового эффекта реакции:



Очевидно, что величина Q_x равна: $-Q_x = E(-\text{S-S-}) + 2E(-\text{S-Cl})$. При этом величина $E(-\text{S-Cl})$ может быть определена по термохимическому уравнению:



где $-Q_y = 2E(-\text{S-Cl})$ (величины $E(-\text{S-S-})$ и $E(-\text{S-Cl})$ могут быть только положительными).

3. Комбинируя термохимические уравнения 1, 2, 5 и 6, можем получить уравнение 8 ((8) = -(1) – (2) + (5) + (6)):

$$Q_y = 32.2 - 49.8 - 278.8 - 243 = -539.4 \text{ кДж/моль}, \text{ значит } E(-\text{S-Cl}) = 269.7 \text{ кДж/моль}.$$

4. Комбинируя термохимические уравнения 3, 4, 5 и 6, можем получить уравнение 7 ((7) = -(3) – (4) + 2·(5) + (6)):

$$Q_x = 41.5 - 58.2 - 2 \cdot 278.8 - 243 = -817.3 \text{ кДж/моль},$$

$$E(-\text{S-S-}) + 2E(-\text{S-Cl}) = 817.3 \text{ кДж/моль},$$

$$E(-\text{S-S-}) = 277.9 \text{ кДж/моль}.$$

5. Поскольку величина $E(-\text{S-S-}) = 277.9 \text{ кДж/моль} > 150 \text{ кДж/моль}$, значит связь -S-S- – прочная.

Ответ: 1) $E(-\text{S-S-}) = 277.9 \text{ кДж/моль}$; 2) $E(-\text{S-S-}) > 150 \text{ кДж/моль}$, значит связь -S-S- – прочная..

Разбалловка: (20 баллов)

За составление термохимических уравнений (по 1.5 балла за уравнение) – 12 баллов;

За расчет энергии связи энергии -S-S- и -S-Cl (по 3.5 балла за расчет) – 7 баллов;

За верный вывод о прочности связи -S-S- – 1 балл.

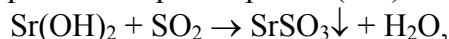
Задача 5

Решение.

1. Из условия задачи следует, что неизвестное вещество содержит серу: газ Y имеет запах тухлых яиц, что прямо указывает на то, что это сероводород ($Y - \text{H}_2\text{S}$); газ L имеет резкий запах, образуется при окислении X и с раствором гидроксида стронция образует осадок – это может быть сернистый газ ($L - \text{SO}_2$); веществом светло-жёлтого цвета Z может быть сера ($Z - \text{S}$).

2. Определим:

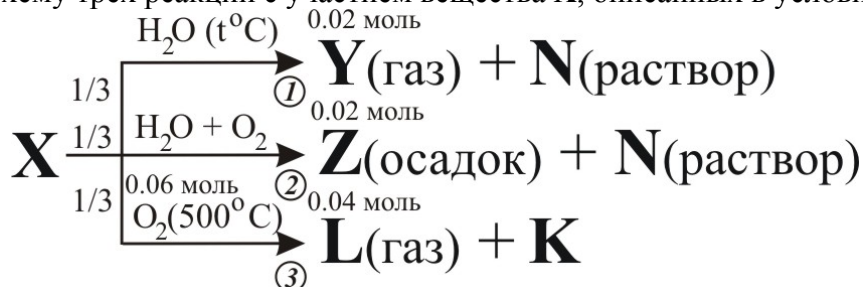
- число молей SO_2 , вступивших в реакцию с раствором $\text{Sr}(\text{OH})_2$:



$$v(\text{Sr}(\text{OH})_2) = v(\text{SO}_2) = 200 \cdot 0.0244 / 122 = 0.04 \text{ моль};$$

- число молей H_2S : $\nu(\text{H}_2\text{S}) = 0.448/22.4 = 0.02$ моль;
- число молей S : $\nu(\text{S}) = 0.64/32 = 0.02$ моль.

3. Составим схему трех реакций с участием вещества **X**, описанных в условии задачи:



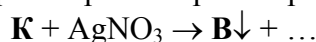
Из последнего уравнения следует, что масса вещества **K** равна:

$$m(\text{X}) + m(\text{O}_2) = m(\text{L}) + m(\text{K});$$

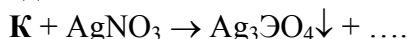
$$m(\text{K}) = m(\text{X}) + m(\text{O}_2) - m(\text{L}) = (8.16/3) + (1.344 \cdot 32/22.4) - (0.04 \cdot 64) = 2.08 \text{ г.}$$

Рассмотрим подробно вещество **K**. Это вещество представляет собой исходное вещество **X**, в котором 4 атома серы заменились на 4 атома кислорода. К такому выводу не трудно прийти, анализируя массу **K**: если из 2.72 г **X** вычесть массу 0.04 моль атомов S ($1.28 = 0.04 \cdot 32$), то получится 1.44 г, однако по уравнению материального баланса (см. выше) масса **K** равна 2.08 г. Разница $2.08 - 1.44 = 0.64$ г соответствует массе 0.04 моль атомов кислорода. Таким образом, вещество **X** содержало 4 атома S , а вещество **K** – 4 атома кислорода. Значит в состав **X** входит фрагмент ЭS_4 , а в состав **K** – ЭO_4 . Такие кислотные остатки встречаются у элементов V, VI и VI-групп. Следовательно, это может быть однозарядный, двухзарядный или трехзарядный анион.

4. Взаимодействие вещества **K** с раствором нитрата серебра можно представить схемой:



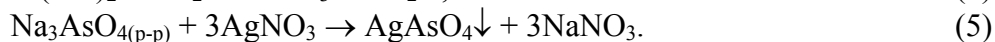
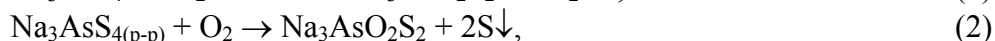
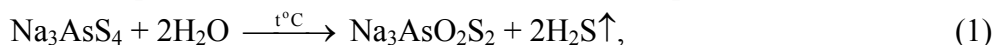
число молей AgNO_3 , вступивших в реакцию с раствором **K** равно: $\nu(\text{AgNO}_3) = 5.1/170 = 0.03$ моль. Пусть вещество **K** содержит трехзарядный анион (ЭO_4^{3-}), который с солью серебра образует труднорастворимое соединение. Тогда:



Получаем, что $\nu(\text{K}) = 0.1$ моль. Отсюда $M(\text{K}) = 208$ г/моль. Если вычесть массу четырех атомов кислорода (64) и массу возможных катионов (**K** растворимо в воде, что указывает на возможное присутствие в составе катионов K^+ или Na^+). В случае трёх атомов натрия (69 г/моль), имеем: $208 - 64 - 69 = 75$ г/моль, что соответствует атомной массе мышьяка. Значит **K** – это Na_3AsO_4 , а **X** – Na_3AsS_4 .

5. После аналогичных рассуждений и несложных вычислений получаем, что вещество **N** – $\text{Na}_3\text{AsO}_2\text{S}_2$.

6. Реакции указанные на схеме приведены ниже (с указанием условий протекания):



Ответ: **X** – Na_3AsS_4 ; **Y** – H_2S ; **Z** – S ; **L** – SO_2 ; **N** – $\text{Na}_3\text{AsO}_2\text{S}_2$; **K** – Na_3AsO_4 ; **M** – SrSO_3 ; **B** – Ag_3AsO_4 .

Разбалловка: (21 балл)

За определение веществ **Y**, **Z**, **L** и **M** (по 1.5 балла за каждое вещество) – 6 баллов;

За определение вещества **K** – 4 балла;

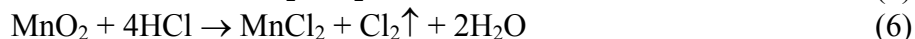
За определение веществ **X**, **N** и **B** (по 2 балла за каждое вещество) – 6 баллов;

За уравнения реакций (по 1 баллу за реакцию) – 5 баллов.

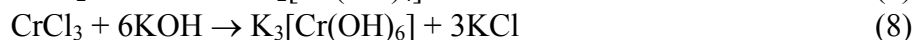
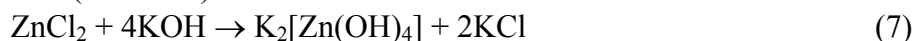
Задача 6

Решение.

1. Обработаем смесь оксидов соляной кислотой. В раствор перейдут ионы Cr^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} (*раствор 1*). SiO_2 не растворится (*осадок 1*). SiO_2 отделяем от раствора:



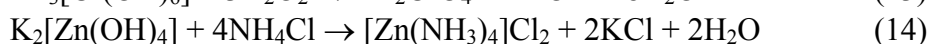
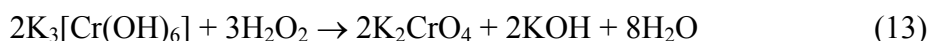
2. Добавляя к *раствору 1* избыток гидроксида калия (натрия) отделим ионы Cr^{3+} , Al^{3+} , Zn^{2+} (*раствор 2*) от ионов Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} (*осадок 2*):



или



3. Подействуем на *раствор 2* перекисью водорода (переводим Cr^{3+} в CrO_4^{2-} (*раствор 3*)), а затем прибавим хлорид аммония и выпарим раствор до небольшого объема для осаждения Al^{3+} (*осадок 3*):



4. Отделяем *осадок 3* и прокаливаем (получаем Al_2O_3):



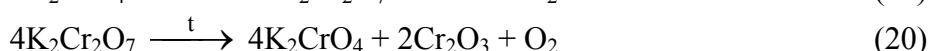
5. К *раствору 3* прибавляем концентрированный раствор K_2CO_3 и нагреваем (выпадает карбонат цинка (*осадок 4*)):



6. Отделяем *осадок 4* и прокаливаем (получаем ZnO):



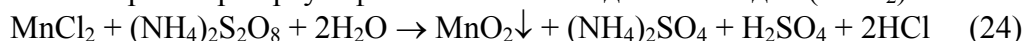
7. Подкисляем *раствор 3* соляной кислотой и прокаливаем:



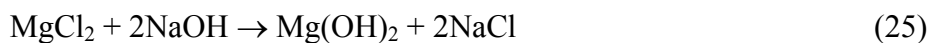
8. К *осадку 2* добавляем раствор хлорида аммония. При этом $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и $\text{Mn}(\text{OH})_2$ растворяются (*раствор 4*), а оставшийся осадок (*осадок 5*) отделяем и прокаливаем:



9. К *раствору 4* прибавляем раствор персульфата аммония и отделяем осадок (MnO_2):



10. К оставшемуся раствору прибавляем щелочь и выпавший осадок прокаливаем (получаем MgO):



Разбалловка: (14 баллов)

За каждое уравнение реакции (по 0.3 балла за реакцию) – 7 баллов (максимум);

За способ выделения каждого из оксидов в чистом виде (по 1 баллу за оксид) – 7 баллов.

10 КЛАСС

(продолжительность – 4 часа; общее количество баллов 120)

Задача 1

Решение.

1. Вещество **A** является органическим соединением, поэтому в его состав точно входят элемент С и Н, а обязательными продуктами сгорания являются углекислый газ и вода. Поскольку среди продуктов сгорания есть твёрдый остаток, то можно предположить, что это металлоорганическое соединение, а вещество **D** – оксид металла. Можно сделать предположение о том, что это магниорганическое соединение, тогда вещество **D** – MgO:

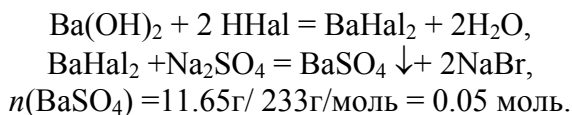
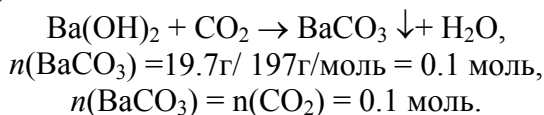
$n(\text{MgO}) = 4\text{г} / 40\text{ г/моль} = 0.1\text{ моль}$. Вероятно, наше предположение верно.

2. Сделаем ещё одно предположение о том, что вещество **A** – реактив Гриньяра. Следовательно, в состав вещества **A** входит галоген, а одним из продуктов сгорания является галогеноводород (HHal).

Поскольку масса хлоркальциевой трубки увеличилась на 1.8 г, то мы знаем массу воды, образовавшейся при сгорании вещества **A**:

$n(\text{H}_2\text{O}) = 1.8\text{г} / 18\text{г/моль} = 0.1\text{ моль}$.

3. Осадок, образовавшийся при пропускании оставшихся газов через баритовую воду (водный раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$) – это BaCO_3 :



Исходя из коэффициентов в двух последних реакциях, определим, что

$n(\text{HHal}) = 2n(\text{BaSO}_4) = 0.1\text{ моль}$.

4. Соотношение количества вещества всех продуктов сгорания равно 1:1:1:1, следовательно

$n(\text{C}) = n(\text{Mg}) = n(\text{Hal})$.

Для водорода получаем: $n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{HHal}) = 2 \cdot 0.1 + 0.1 = 0.3\text{ моль}$.

Такому соотношению элементов в соединении отвечает только CH_3MgHal :



$n(\text{CH}_3\text{MgHal}) = 0.1\text{ моль}$.

$M(\text{CH}_3\text{MgHal}) = 11.9\text{ г} / 0.1\text{ моль} = 119\text{ г/моль}$.

$A(\text{Hal}) = 119 - 12 - 3 - 24 = 80$. Следовательно вещество **A** – CH_3MgBr .

Ответ: **A** – CH_3MgBr ; **B** – CO_2 ; **B** – H_2O ; **Г** – HBr ; **D** – MgO .

Разбалловка: (18 баллов)

За определение числа молей С и Н (по 2 балла за каждый элемент) – 4 балла;

За вывод о том, что это реактив Гриньяра и расчет числа молей Mg – 6 баллов;

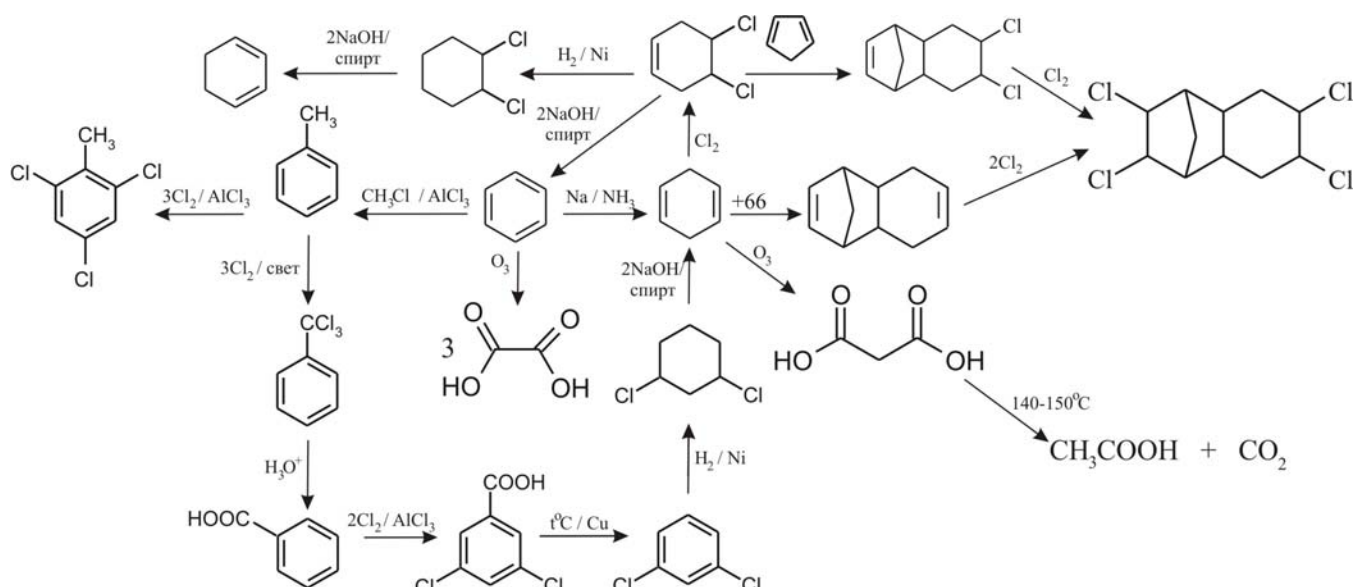
За определение брома и расчёт числа его молей – 4 балла;

За два примера использования вещества **A** в органическом синтезе (по 2 балла за каждый пример) – 4 балла.

Задача 2

Решение.

1. На приведённой ниже схеме дана расшифровка всех закодированных соединений и реакций между ними. Соединения закодированы под числами, равными *молекулярной массе* соединений, либо по брутто-формуле.



2. Соединение **X** – циклогексадиен-1,4, а соединение **M** - циклогексадиен-1,3. Различить эти соединения можно, например, по разным продуктам окисления перманганатом калия в кислой среде или способностью циклогексадиен-1,3 вступать в реакции Дильса-Альдера в качестве диена, в то время как циклогексадиен-1,4 в качестве диена в подобные реакции не вступает.

Ответ: **X** – циклогексадиен-1,4, а соединение **M** - циклогексадиен-1,3.

Разбалловка: (20 баллов)

За расшифровку всех закодированных соединений (по 1 баллу за соединение) – 17 баллов;

За ответ о том, как можно различить **X** и **M** (с написанием реакций) – 3 балла.

Задача 3

Решение.

1. Решение задачи представим в виде таблицы:

	НСООН _(газ)	+	CH ₃ OH _(газ)	⇌	НСООСН ₃ (газ)	+	H ₂ O _(газ)
Состояние равновесия							
<i>n</i> (равн.)	0.333		0.333		0.667		0.667
Величина равновесия $K_c = (n(\text{НСООСН}_3) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) / n(\text{НСООН}) \cdot n(\text{CH}_3\text{OH})) = 0.667^2 / 0.333^2 = 4$							
Неравновесное состояние (случай I)							
<i>n</i> (исх.)	1		2		0		0.5
<i>n</i> (равн.)	1- <i>x</i>		2- <i>x</i>		<i>x</i>		0.5+ <i>x</i>
(x – число молей CH ₃ OH (или НСООН) вступивших в реакцию к моменту достижения равновесия)							
$K_c = 4 = (x \cdot (0.5 + x)) / ((1 - x) \cdot (2 - x)); x = 0.79$ моль							
<i>n</i> (равн.)	0.21		1.21		0.79		1.29
Неравновесное состояние (случай II)							
<i>n</i> (исх.)	1		2		0		0
<i>n</i> (равн.)	1- <i>y</i>		2- <i>y</i>		<i>y</i>		<i>y</i>
(y – число молей CH ₃ OH (или НСООН) вступивших в реакцию к моменту достижения равновесия)							
$K_c = 4 = y^2 / ((1 - y) \cdot (2 - y)); y = 0.845$ моль							
<i>n</i> (равн.)	0.155		1.155		0.845		0.845

Ответ: $K_c = 4$; I случай: $n(\text{НСООСН}_3) = 0.79$, $n(\text{H}_2\text{O}) = 1.29$, $n(\text{НСООН}) = 0.21$, $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 1.21$; II случай: $n(\text{НСООСН}_3) = 0.845$, $n(\text{H}_2\text{O}) = 0.845$, $n(\text{НСООН}) = 0.155$, $n(\text{CH}_3\text{OH}) = 1.155$

Разбалловка: (14 баллов)

За вывод формулы и расчет константы равновесия – 5 баллов;

За расчёт состава равновесной смеси, включая метилформиат (I случай) – 4.5 балла;

За расчёт состава равновесной смеси, включая метилформиат (II случай) – 4.5 балла.

Задача 4

Решение.

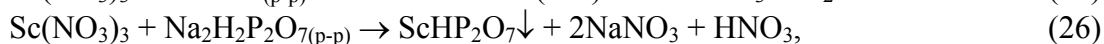
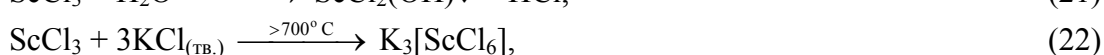
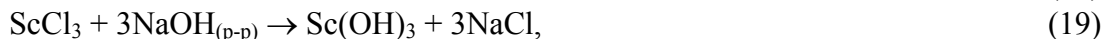
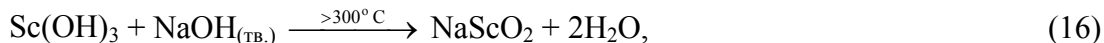
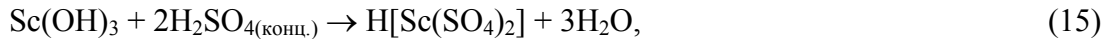
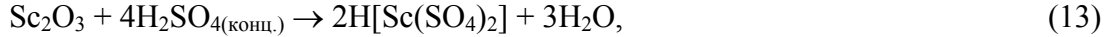
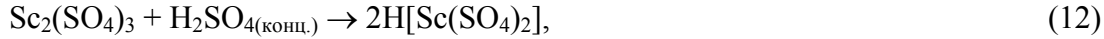
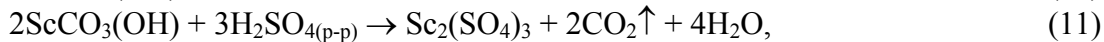
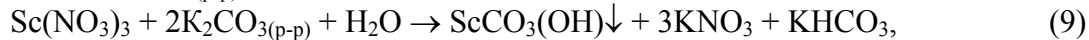
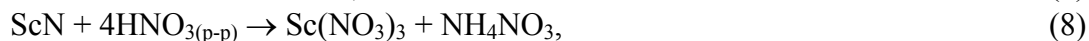
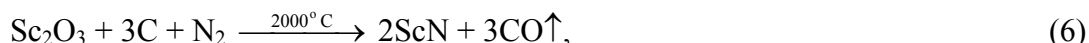
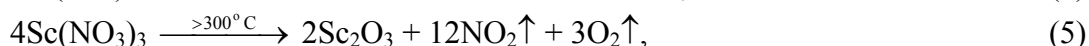
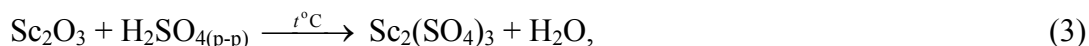
1. Следует обратить внимание на то, что вещество **А**, вероятно, является простым веществом, причём – металлом. На это указывают *реакции 2 и 20* – обычно достаточно активные металлы получают методом магнийтермии. Этот метод малопригоден для получения неметаллов (например, при получении таким способом кремния, последних получается очень сильно загрязнённых примесями). Следовательно, **Б** – оксид (см. *реакцию 1* – окисление **А**). На это также указывает и то, что **Б** – бинарное соединение. Очевидно, что:

$$\text{при } n=3 (\text{X}_2\text{O}_3): \quad A_X = \frac{3\omega_X A_O}{2 \cdot \omega_O} = \frac{3 \cdot 65.22 \cdot 16}{2 \cdot 34.78} = 45.00 \text{ г/моль.}$$

Это соответствует тому, что искомым элементом **Х** – скандий (Sc). Таким образом, вещество **Б** – Sc_2O_3 .

3. Рассуждая аналогично для соединений **Д**, **Л**, **О** и **П** (бинарные вещества), находим, что **Д** – ScN , **Л** – ScCl_2 , **О** – Sc_4C_3 и **П** – ScH_3 . Все остальные вещества находятся исходя из их свойств (см. цепочку превращений) и массовой доли Sc в соединении.

4. Указанные на схеме реакции приведены ниже (с указанием условий протекания):



Ответ: **А** – Sc; **Б** – Sc_2O_3 ; **В** – $\text{Sc}_2(\text{SO}_4)_3$; **Г** – $\text{Sc}(\text{NO}_3)_3$; **Д** – ScN; **Е** – $\text{ScCO}_3(\text{OH})$; **Ж** – $\text{H}[\text{Sc}(\text{SO}_4)_2]$; **З** – $\text{Sc}(\text{OH})_3$; **И** – NaScO_2 ; **К** – $\text{Na}_3[\text{Sc}(\text{OH})_6]$; **Л** – ScCl_3 ; **М** – $\text{ScCl}_2(\text{OH})$; **Н** – $\text{K}_3[\text{ScCl}_6]$; **О** – Sc_4C_3 ; **П** – ScH_3 ; **Р** – $\text{ScO}(\text{OH})$; **С** – ScHP_2O_7 .

Разбалловка: (30 баллов)

За определение элемента скандия и вещества **А** – 3 балла;

За определение веществ **Б, Д, Л, О и П** (по 0.5 балла за каждое вещество) – 3 балла;
За определение всех остальных веществ (по 1 баллу за каждое вещество) – 11 баллов;
За реакции 1-26 (по 0.5 балла за реакцию) – 13 баллов.

Задание 5

Решение.

1. Исходя из условия задачи, металлический кадмий (0.06 моль) окислился хлоридом металла (MeCl_n), который обладает окислительными свойствами. Очевидно, что для окисления 0.06 моль металлического кадмия до 0.06 моль ионов Cd^{2+} требуется 0.12 моль электронов.

2. Пусть ион металла (Me^{n+}) окислителя меняет свою степень окисления на 1 ($\text{Me}^{n+} \rightarrow \text{Me}^{(n+)-1}$), тогда число молей хлорида неизвестного металла необходимо 0.12 моль. Масса хлорида металла в растворе 19.5 г ($195 \cdot 0.1 = 19.5$), тогда $M(\text{MeCl}_n) = 19.5 / 0.12 = 162.5$ г/моль. Отсюда видно, что число атомов Cl в MeCl_n – нечетное. Поскольку $n=1$ не удовлетворяет условию задачи (в этом случае выделялся бы чистый металл, однако на дне стакана после реакции осадка нет), значит можно принять $n=3$. В этом случае имеем $A(\text{Me}) = 162.5 - 3 \cdot 35.5 = 56$ г/моль. Это железо (**Y** - Fe). FeCl_3 (вещество **X**) обладает окислительными свойствами.

3. Из п. 2 следует, что ионов Fe^{3+} в растворе было 0.12 моль. Отсюда масса чистого металла составляет $0.12 \cdot 56 = 6.72$ г. Именно такое количество другого металла и выделилось в результате проведенных химических реакций.

4. Уравнения реакций, указанных в условии задачи, приведены ниже:



5. Если реакции проводить не инертной атмосфере, то ионы железа (II) будут подвергаться окислению, и из раствора действием раствора аммиака будет выделяться не белый ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), а бурый ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) осадок.

Ответ: **X** - FeCl_3 ; **Y** - Fe.

Разбалловка: (18 баллов)

За определение металла в хлориде – 6 баллов;

За определение хлорида металла – 5 баллов;

За уравнение реакций (по 1.5 балла за реакцию) – 6 баллов;

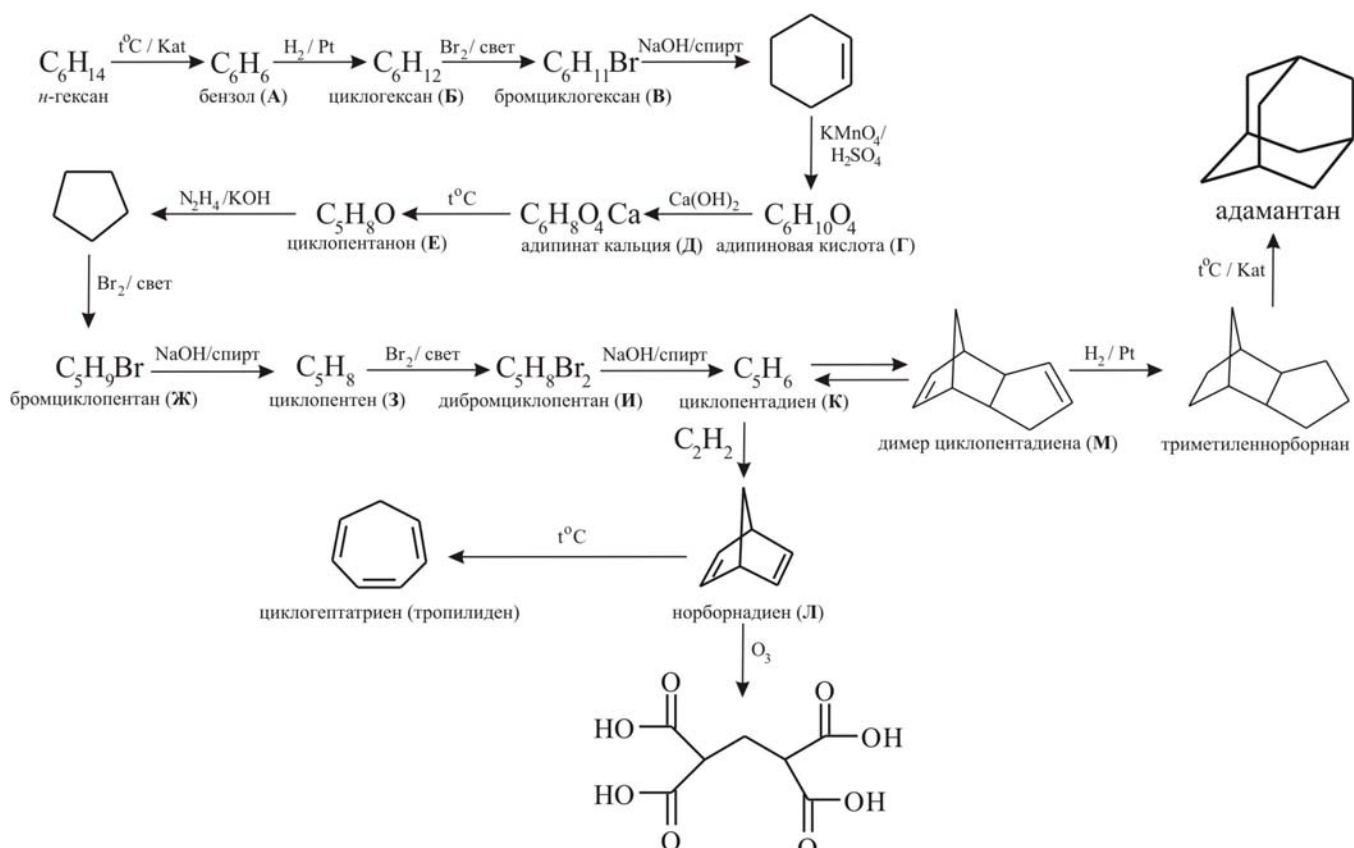
За вывод о необходимости инертной атмосферы – 1 балл.

Задача 6

Решение:

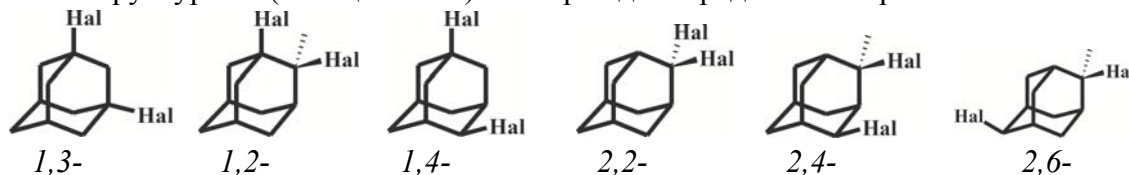
1. Ретросинтетический анализ цепочки превращений от циклогексена к углеводороду C_xH_y позволяет предположить, что исходное соединение – *n*-гексан (C_6H_{14}), в котором отношение числа атомов водорода при вторичных атомах C (8 атомов H в 4-х $-\text{CH}_2$ -группах) к числу атомов водорода при первичных атомах C (6 атомов H в 2-х $-\text{CH}_3$ -группах) равно 1.333 ($8/6 = 1.333$).

2. Описанная в задаче схема превращений приведена ниже:



3. В молекуле адамантана 4 третичных и 6 вторичных атомов углерода.

4. Число структурных (позиционных) изомеров дихлорадамантана равно 6:



Разбалловка: (20 баллов)

За определение состава веществ C_xH_y – 2 балла;

За определение строения веществ А-М (по 1 баллу за вещество) – 6 баллов;

За определение числа вторичных и третичных атомов углерода в молекуле адамантана – 2 балла;

За определение числа структурных (позиционных) изомеров дихлорадамантана – 2 балла;

За уравнения реакций (0.5 балла за реакцию) (16 реакций) – 8 баллов.

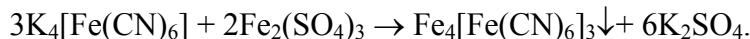
11 КЛАСС

(продолжительность – 4 часа; общее количество баллов 120)

Задача 1

Решение:

1. Желтая кровяная соль (или гексацианоферрат (II) калия, $K_4[Fe(CN)_6]$) реагирует с солями железа (III) с образованием труднорастворимого осадка берлинской лазури ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) по уравнению:



Определим числа молей участников реакции до и после взаимодействия:

$$v(K_4[Fe(CN)_6]) = 0.36 \text{ моль/л} \cdot 0.5 \text{ л} = 0.18 \text{ моль};$$

$$v(Fe_2(SO_4)_3) = 0.32 \text{ моль/л} \cdot 0.25 \text{ л} = 0.08 \text{ моль};$$

$$v_{\text{прореаг}}(K_4[Fe(CN)_6]) = 0.12 \text{ моль};$$

$$v_{\text{ост}}(K_4[Fe(CN)_6]) = 0.18 - 0.12 = 0.06 \text{ моль}.$$

Таким образом, фильтрат содержит 0.06 моль $K_4[Fe(CN)_6]$ и 0.24 моль K_2SO_4

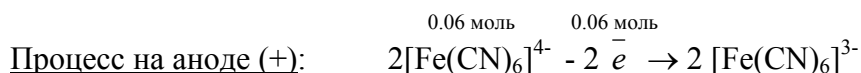
2. Запишем суммарное уравнение электролиза полученного раствора:



Общее число молей, прошедших через электролизёр равно:

$$n(e^-) = I \cdot \tau / F = \frac{1.61 \text{ А} \cdot 3600 \text{ с}}{96500 \text{ Кл/моль}} = 0.06 \text{ моль}$$

Процессы на электродах:



3. Масса раствора после проведения электролиза и осаждения берлинской лазури равна:

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(K_4[Fe(CN)_6]) + m_{\text{р-ра}}(Fe_2(SO_4)_3) - m(Fe_4[Fe(CN)_6]_3) - m(H_2) = 542 + 281.5 - 34.4 - 0.06 = 789 \text{ г. Т.К.}$$

плотность полученного раствора равна 1 г/мл, то $V_{\text{р-р}} = 789 \text{ мл}$.

После проведения электролиза в растворе содержатся 0.24 моль K_2SO_4 , 0.06 моль $K_3[Fe(CN)_6]$, 0.06 моль KOH и вода. Отсюда:

$$- \omega(K_2SO_4) = 0.24 \cdot 174 \cdot 100\% / 789 = 5.29\%;$$

$$- \omega(K_3[Fe(CN)_6]) = 0.06 \cdot 329 \cdot 100\% / 789 = 2.50\%;$$

$$- \omega(KOH) = 0.06 \cdot 56 \cdot 100\% / 789 = 0.43\%;$$

$$- \omega(H_2O) = 100 - 5.29 - 2.50 - 0.43 = 91.78\%.$$

4. Определим pH полученного после электролиза раствора:

$$C_M(KOH) = 0.06 / 0.789 = 0.076 \text{ моль/л}; \text{ тогда } pOH = -\lg[OH^-] = -\lg(0.076) = 1.12; pH = 14 - pOH = 12.88.$$

Ответ: $pH = 12.88$; $\omega(K_2SO_4) = 5.29\%$; $\omega(K_3[Fe(CN)_6]) = 2.50\%$; $\omega(KOH) = 0.43\%$; $\omega(H_2O) = 91.78\%$.

Разбалловка: (15 баллов)

За расчет состава раствора после осаждения берлинской лазури – 3 балла;

За расчет состава раствора после проведения электролиза – 3 балла;

За определение массы конечного раствора – 2 балла;

За определение массовой доли каждого вещества (по 1 баллу за вещество) – 4 балла;

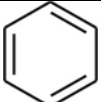
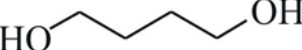
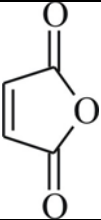
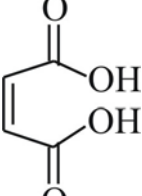
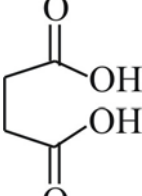
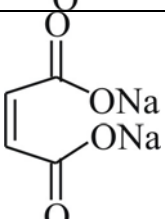
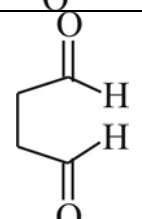
За расчет pH конечного раствора – 3 балла.

Задание 2

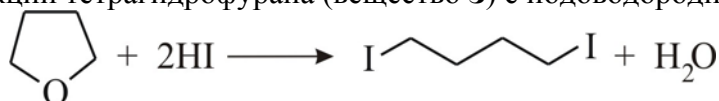
Решение.

1. Приведём в таблице вещества, зашифрованные на схеме:

В-во	Структура	Название	В-во	Структура	Название
------	-----------	----------	------	-----------	----------

А		бензол	Ж		бутандиол-1,4
Б		малеиновый ангидрид	З		тетрагидрофуран
В		малеиновая кислота	И		янтарная кислота
Г		малеат натрия	К		янтарный альдегид
Д	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	ацетилен	Л		фуран
Е	$\text{CH}_2\text{OH}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$	1,4-дигидроксипутин-2			

2. Уравнение реакции тетрагидрофурана (вещество З) с йодоводородной кислотой:



Разбалловка: (25 баллов)

За установление веществ А-Л (по 2 балла за вещество) – 22 балла;

За уравнение реакции ТГФ с йодоводородной кислотой – 3 балла.

Задача 3

Решение.

1. В условии задачи сказано, что в состав рассмотренных соединений помимо элемента X также входят элементы Y и Z. Единственное вещество, в состав которого не входят Y и Z – вещество А, значит оно образовано только элементом X. А – простое вещество.

2. Если А – простое вещество, значит вещество Б – оксид. Отсюда следует, что вещество З также оксид. Из уравнения реакции 17 следует, вещество К вероятно содержит Cl, O и элемент X. Таким образом, все приведённые на схеме вещества являются или оксидами, или хлоридами, или оксохлоридами.

3. Из цепочки превращений видно, что оксидами также являются вещества В и Ж. Нетрудно рассчитать разницу молекулярных масс этих соединений:

$$M(\text{Б}) - M(\text{В}) = 99 \text{ г/моль},$$

$$M(\text{Ж}) - M(\text{В}) = 67 \text{ г/моль},$$

$$M(\text{Б}) - M(\text{Ж}) = 32 \text{ г/моль}.$$

Таким образом, в веществе Б на два атома кислорода больше.

Поскольку в реакциях 15 и 14 не принимают участие хлорсодержащие вещества, ранее сделанный вывод о том, что З является оксидом подтверждается. Простой перебор позволяет найти, что это VO ($M(\text{VO}) = 67 \text{ г/моль}$). Значит искомый элемент X – ванадий.

4. Составление атомного фактора для веществ **Е**, **К**, **Л** и **М** позволяет в этом убедиться, если принять элемент с меньшей массовой долей за кислород ($O=Y$), тогда элемент **З** – хлор. Итак, атомный фактор:

$$\text{для } \mathbf{E}: v(V) : v(O) : v(Cl) = \frac{\omega(V)}{A(V)} : \frac{\omega(O)}{A(O)} : \frac{\omega(Cl)}{A(Cl)} = \frac{43.04}{51} : \frac{27.00}{16} : \frac{29.96}{35.5} = 0.844 : 1.688 : 0.844 = 1 : 2 : 1,$$

значит **Е** – VO_2Cl ;

$$\text{для } \mathbf{K}: v(V) : v(O) : v(Cl) = \frac{\omega(V)}{A(V)} : \frac{\omega(O)}{A(O)} : \frac{\omega(Cl)}{A(Cl)} = \frac{29.40}{51} : \frac{9.22}{16} : \frac{61.38}{35.5} = 0.576 : 0.576 : 1.729 = 1 : 1 : 3,$$

значит **К** – $VOCl_3$;

$$\text{для } \mathbf{L}: v(V) : v(O) : v(Cl) = \frac{\omega(V)}{A(V)} : \frac{\omega(O)}{A(O)} : \frac{\omega(Cl)}{A(Cl)} = \frac{36.96}{51} : \frac{11.59}{16} : \frac{51.45}{35.5} = 0.725 : 0.724 : 1.449 = 1 : 1 : 2,$$

значит **Л** – $VOCl_2$;

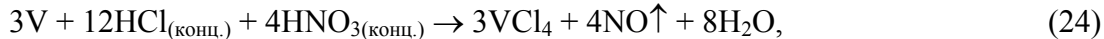
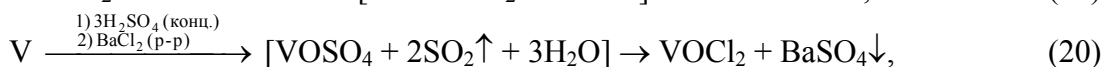
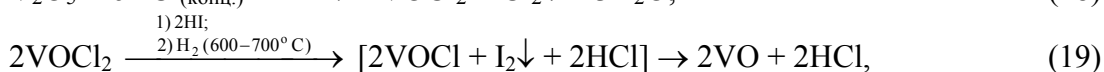
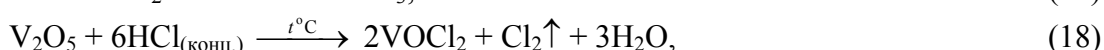
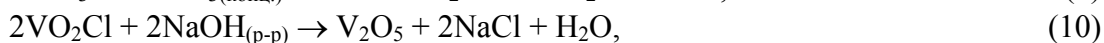
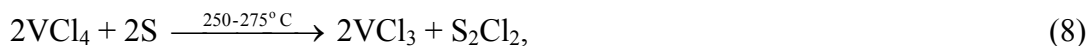
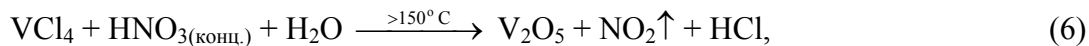
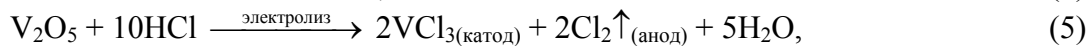
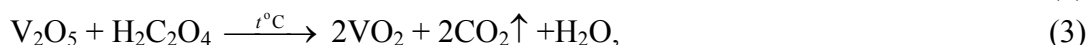
$$\text{для } \mathbf{M}: v(V) : v(O) : v(Cl) = \frac{\omega(V)}{A(V)} : \frac{\omega(O)}{A(O)} : \frac{\omega(Cl)}{A(Cl)} = \frac{49.76}{51} : \frac{15.61}{16} : \frac{34.63}{35.5} = 0.976 : 0.976 : 0.976 = 1 : 1 : 1,$$

значит **М** – $VOCl$.

4. По разнице молекулярных масс **А** (**V**) и оксида **Б**, можно найти формулу **Б**: $51 + 131 = 182$ г/моль. Такую молекулярную массу имеет V_2O_5 . Значит вещество **В** – VO_2 , а вещество **Ж** – V_2O_3 .

5. Исходя из уравнений реакций можем установить строение остальных зашифрованных соединений: **Г** – VCl_3 ; **Д** – VCl_4 ; **И** – VCl_2 ; **Н** – $H_2[VCl_6]$; **О** – $VCl_4^+VCl_4^-$.

6. Реакции, указанные на схеме приведены ниже (с указанием условий протекания):





Ответ: А - V; Б - V_2O_5 ; В - VO_2 ; Г - VCl_3 ; Д - VCl_4 ; Е - VO_2Cl ; Ж - V_2O_3 ; З - VO; И - VCl_2 ; К - VOCl_3 ; Л - VOCl_2 ; М - VOCl ; Н - $\text{H}_2[\text{VCl}_6]$; О - $\text{VCl}_4^+ \text{VCl}_4^-$.

Разбалловка: (30 баллов)

За определение химического элемента X и вещества А – 5 балла;

За определение веществ Б, В, Ж, З, Е, К, Л и М, (по 0.5 балла за каждое) - 4 балла;

За определение веществ Г, Д, И, Н и О, (по 1 баллу за каждое) - 5 баллов;

За определение вещества О - 1 балл;

За уравнения реакций 1-26, кроме 6, 19, 20, 23 (по 0.5 балла за каждое уравнение) – 11 баллов;

За уравнения реакций 6, 19, 20, 23 (по 1 баллу за каждое уравнение) – 4 балла

Задача 4

Решение:

1. Исходя из соотношения исходных газообразных веществ и продукта реакции можем схематично записать уравнение протекающей реакции:



2. Представим продукт реакции В в виде соединения трех элементов X, Y и Z, где x, y и z соответствующие стехиометрические коэффициенты – $\text{X}_x\text{Y}_y\text{Z}_z$. Отношение массовых долей элементов Y и X равно:

$$\frac{\frac{y \cdot A(Y)}{x \cdot A(X) + y \cdot A(Y) + z \cdot A(Z)}}{\frac{x \cdot A(X)}{x \cdot A(X) + y \cdot A(Y) + z \cdot A(Z)}} = \frac{y \cdot A(Y)}{x \cdot A(X)} = \frac{51.85}{40.74}$$

С другой стороны, отношение мольных долей Y и X равно 1, т.е. $y/x=1$. Таким образом, получаем:

$$\frac{A(Y)}{A(X)} = \frac{51.85}{40.74} = \frac{14}{11}.$$

Можно сделать вывод о том, что атомная масса элемента Y кратна 14, а элемента X – 11.

3. Составим атомный фактор для вещества В ($\text{X}_x\text{Y}_y\text{Z}_z$):

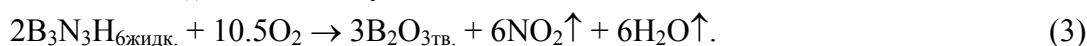
$$x : y : z = \frac{40.74}{11} : \frac{51.85}{14} : \frac{7.41}{A(Z)} = 1 : 1 : \frac{2}{A(Z)}$$

Очевидно, что такое соотношение элементов в В будет сохраняться только при условии, что $A(X)=1$ г/моль. Значит элемент Z – водород (H). Допустим, что элементы X и Y – это бор (B) и азот (N). Отсюда, простейшая формула В – BNH_2 .

4. При разложении вещества В давление в системе увеличивается в 3 раза. Очевидно, что твердым продуктом разложения является нитрид бора (BN), а газообразным – водород (H_2). Увеличение давления в три раза возможно только в том случае, если при разложении высвобождается 3 моль водорода, значит формула В – $\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_6$ (боразол, «неорганический бензол»):



5. Реакция горения $\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_{6\text{жидк.}}$ имеет следующий вид:



6. Стехиометрии реакции (1) удовлетворяют следующие соединения:



Следовательно, газ **A** – диборан (B_2H_6), а газ **B** – аммиак (NH_3) ($M(B_2H_6)/M(NH_3) = 1.647$).

Ответ: **A** – B_2H_6 ; **B** – NH_3 ; **B** – $B_3N_3H_6$; **Г** – H_2 ; **Д** – BN ; элементы **X**, **Y** и **Z** – **B**, **N** и **H**.

Разбалловка: (15 баллов)

За правильное определение элементов (по 2 балла за элемент) – 6 баллов;

За установление формул боразола и нитрида бора (по 2.5 балла за вещество) – 5 баллов;

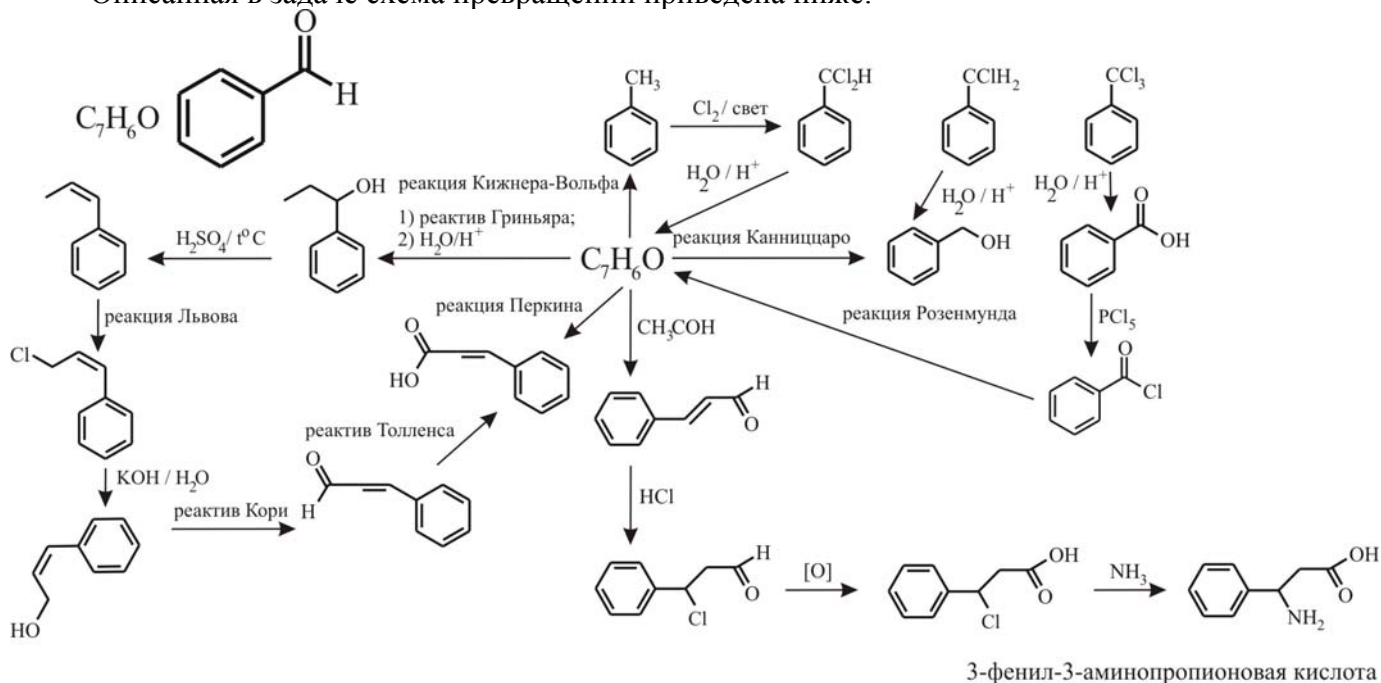
За уравнения реакций 1-3 (по 0.5 балла за уравнение) – 1.5 балла;

За определение веществ **A**, **B** и **Г** (по 0.5 балла за вещество) – 1.5 балла;

За расчет состава первоначальной смеси карбидов – 1 балл.

Задача 5

Описанная в задаче схема превращений приведена ниже:



Разбалловка: (18 баллов)

За установление структуры соединений (по 0.5 балла за структуру) – 9 баллов;

За расшифровку каждой реакции (по 0.5 балла за структуру) – 9 баллов.

Внимание! Разбалловка дана применительно к данному решению. В случае другого правильного варианта необходимо использовать только такую разбалловку!

Задача 6

Решение.

1. Сразу необходимо пояснить тот факт, что рассмотренный в данной задаче простые и сложные вещества не имеют отношение к платиновым металлам, за исключением силиката кальция ($CaSiO_3$), природный минерал которого назван в честь Волластона (первооткрывателя палладия, родия и платины в чистом виде) волластонитом.

2. Существует несколько путей решения этой задачи. Рассмотрим один из них. Реакция 13 является реакцией соединения CaO и некоторого вещества **Д**. Логично предположить, что это SiO_2 ($M(SiO_2)=60$ г/моль).

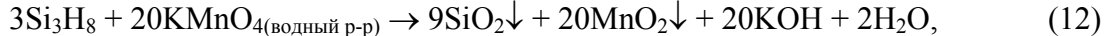
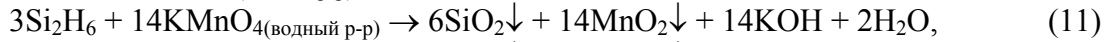
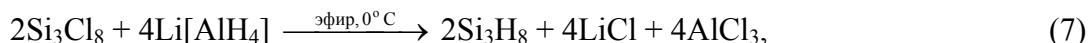
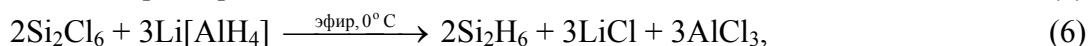
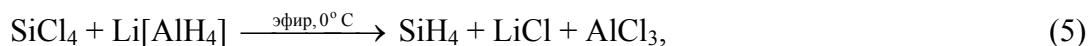
3. Веществом **A** может быть элементарный кремний, который при спекании с металлическим кальцием образует силицид кальция (вещество **Б**) с $M(Ca_2Si)=108$ г/моль.

4. Характерной особенностью кремния является способность (подобно атомам **C**) образовывать связи $Si-Si$ (однако менее прочные, по сравнению с $C-C$ -связями). При этом возникает подобие гомологических рядов как и у углеводородов. Анализ молекулярных масс соединений **B1**, **B2** и **B3** подтверждает эту гипотезу:

вещество **B1** – SiCl_4 ($M(\text{SiCl}_4)=170$ г/моль); **B2** – Si_2Cl_6 ($M(\text{Si}_2\text{Cl}_6)=269$ г/моль); **B3** – Si_3Cl_8 ($M(\text{Si}_3\text{Cl}_8)=368$ г/моль).

5. Из уравнений реакций 5-7 следует, что восстановление галогенсиланов алюмогидридом лития приводит к образованию соответствующих силанов: **Г1** – SiH_4 ($M(\text{SiH}_4)=32$ г/моль); **Г2** – Si_2H_6 ($M(\text{Si}_2\text{H}_6)=62$ г/моль); **Г3** – Si_3H_8 ($M(\text{Si}_3\text{H}_8)=92$ г/моль).

6. Реакции, указанные на схеме приведены ниже (с указанием условий протекания):



Ответ: **A** – Si; **Б** – Ca_2Si ; **B1** – SiCl_4 ; **B2** – Si_2Cl_6 ; **B3** – Si_3Cl_8 ; **Г1** – SiH_4 ; **Г2** – Si_2H_6 ; **Г3** – Si_3H_8 ; **Д** – SiO_2 ; **Е** – CaSiO_3 .

Разбалловка: (17 баллов)

За расшифровку кремния (А) – 2 балла;

За установление состава Б и Е (по 1 баллу за вещество) – 2 балла;

За установление состава B1, B2, B3, Г1, Г2 и Г3 (включая указание типа этого соединения) (по 1 баллу за каждое вещество) – 6 баллов;

За уравнения реакции 1-12 (кроме 2) (по 0.5 балла за каждое уравнение) – 6 баллов;

За уравнение реакции 2 – 1 балл.