

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Олимпиада школьников по химии и химической  
технологии  
«Потомки Менделеева»  
2024/2025 учебный год**

**Комплект решений теоретического тура**

**10-й класс**

Контактные данные

сайт: <https://malun.kpfu.ru/mendeleev>  
telegram: <https://t.me/potomkimendeleeva>  
email: [ammoniy.olimpiada@mail.ru](mailto:ammoniy.olimpiada@mail.ru)  
тел.: +7(843)206-54-04 доб. 5403

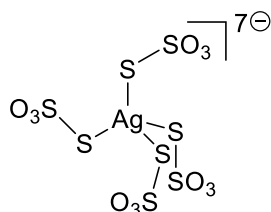
## Решение задачи 10-1 (Курамшин Б.К.)

1.  $[\text{Kr}]4d^{10}$ .

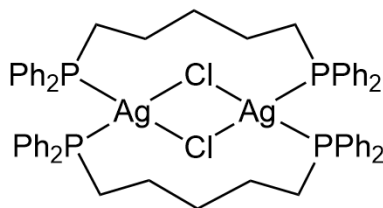
2. Атомы кислорода в тетраэдрических пустотах имеют КЧ 4, значит, на 2 атома серебра приходится 4 связи Ag–O. Значит,  $\text{КЧ}(\text{Ag}) = 2$ .

3. Если серебро в составе А имеет КЧ 4, то, вероятнее всего, оно содержит тиосульфатный комплексный анион  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{7-}$ . По заряду аниона видно, что, с учетом соотношения, он компенсируется 9 однозарядными катионами и 2 однозарядными анионами. В условиях синтеза это могут быть только аммоний и хлорид-ион. Итак, А –  $(\text{NH}_4)_9[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]\text{Cl}_2$ .

Структурная формула аниона в составе А:

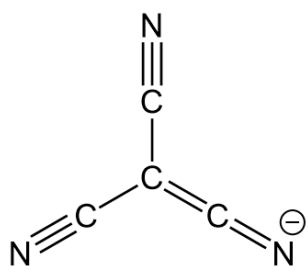


4. Структурная формула составляется в соответствии с наличием дифенилфосфиновых групп и двух десятичленных циклов: за вычетом 4 групп  $\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$  остается 10 атомов углерода и 20 атомов водорода, что соответствует 10  $\text{CH}_2$ -группам.



Таким образом В – **1,5-бис(дифенилфосфино)пентан**.

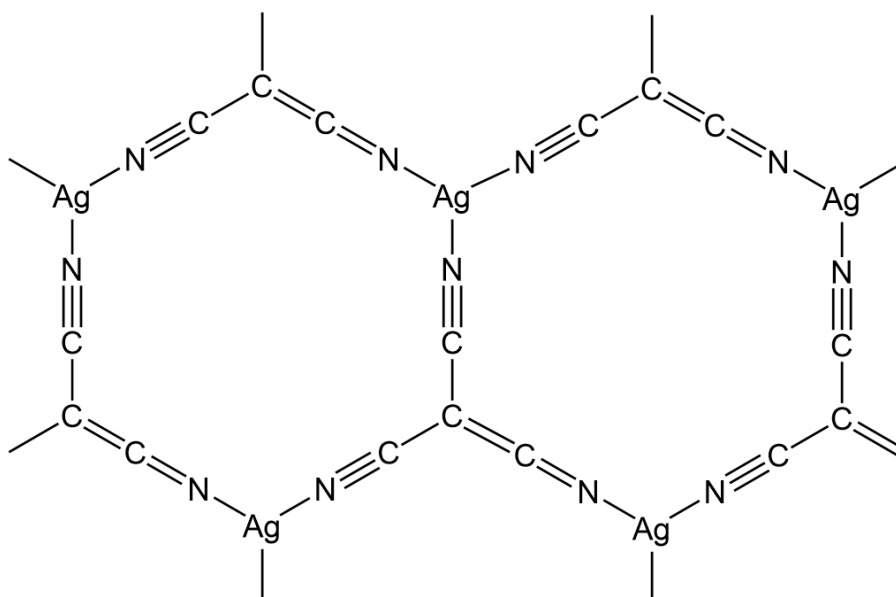
5. Молярная масса соединения в расчете на 1 атом серебра равна  $107.87/0.545 = 197.93$  г/моль, то есть на анион приходится 90 г/моль. С учетом того, что анион, по-видимому, плоский, вероятно, он содержит атомы 2 периода. Комбинации из В и С, О и F не дают 90 г/моль при целых числах атомов, остаются две возможные комбинации:  $\text{C}_4\text{N}_3$  и  $\text{N}_3\text{O}_3$ . В последнем случае не удастся нарисовать структуру моноаниона с осью симметрии 3 порядка, в которой хотя бы один атом оказывался бы в узлах графитоподобной структуры. Тогда как для  $\text{C}_4\text{N}_3^-$  возможна структура  $\text{C}(\text{CN})_3^-$ :



Вследствие резонанса, три фрагмента  $-\text{CN}$  в структуре эквивалентны и у структуры есть симметрия третьего порядка.

Таким образом  $\Gamma - \text{AgC}(\text{CN})_3$ .

6. Структура слоя  $\Gamma$ :



7. Структура построена как сетка из ромбоподобных циклов, включающих ответвления из атомов серебра и цианид-ионов. Каждый ромбоподобный цикл содержит:

- 4 Ag, принадлежащих 4 циклам (входят в состав цикла с коэффициентом 1/4);
- 12 Ag, принадлежащих 2 циклам (входят в состав цикла с коэффициентом 1/2);
- 8 Ag в ответвлениях, которые также относятся к 2 циклам (коэффициент 1/2);
- 16 CN, принадлежащих 2 циклам (коэффициент 1/2);
- 16 CN в ответвлениях, которые также относятся к 2 циклам (коэффициент 1/2).

Всего с учетом коэффициентов получается, что каждый цикл имеет состав: 11 Ag, 16 CN. То есть  $x = 11$ ,  $y = 16$ .

8. На каждый фрагмент  $\text{Ag}_{11}(\text{CN})_{16}^{5-}$  по условию приходится 1  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ , 2 молекулы  $\text{CH}_3\text{CN}$ . Если катион металла –  $\text{M}^{n+}$ , то формула соединения:  $\text{M}_6[\text{Ag}_{11}(\text{CN})_{16}]_n[\text{Ag}(\text{CN})_2]_n \cdot 2n\text{CH}_3\text{CN}$ . Формульная единица соединения в таком виде содержит  $20n$  атомов азота, то есть на каждый моль Д выделяется  $10n$  моль  $\text{N}_2$ .

Количество выделившегося азота равно:

$$n(\text{N}_2) = 92.54 \cdot 10^{-6} \cdot 101325 / (8.314 \cdot 298) = 3.785 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Значит, в 1 г Д содержится  $3.785 \cdot 10^{-3} / (10n)$  моль вещества, то есть его молярная масса равна:

$$M(\text{Д}) = \frac{1}{3.785 \cdot 10^{-3} / 10n} = 2642n = 6M + 1602.84n + 159.90n + 41.05 \cdot 2n$$

$$M = 132.86n.$$

Видно, что  $\text{M}$  – это Cs. Д –  $\text{Cs}_6[\text{Ag}_{11}(\text{CN})_{16}][\text{Ag}(\text{CN})_2] \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}$ .

### Система оценивания

1	Электронная конфигурация	0.5 балла
2	КЧ серебра	0.5 балла
3	Формула А – 1 б Структурная формула аниона – 1 б	2 балла
4	Структура Б – 1 б Название Б – 1 б	2 балла
5	Формула Г – 1 б Структура аниона – 1 б	2 балла
6	Фрагмент структуры Г	2 балла
7	Значения $x$ и $y$ – по 1.5 б	3 балла
8	Формула Д – 1.5 б Металл М – 1.5 б	3 балла

Итого 15 баллов

### Решение задачи 10-2 (Нуритдинов М.М. Маляров С.С.)

Для определения состава веществ  $\text{Hr}_1\text{-Hr}_5$  необходимо внимательно изучить способы получения первых трех веществ. Из данных параграфов можно сделать вывод, что все эти вещества состоят из натрия и еще двух неизвестных элементов ( $\text{X}$  – бинарный газ +  $\text{Na}$  = трехэлементное соединение).

Определим состав  $\text{Hr}_1$ . Во-первых, найдем металл  $\text{M}$  и его гидроксид:

$$\frac{m(\text{M})}{m(\text{M}(\text{OH})_n)} = \frac{M(\text{M})}{M(\text{M}) + 17.02n} = \frac{1.00 \text{ г}}{1.52 \text{ г}}$$

$$\Rightarrow$$

n	M	Металл
1	32.69	×
2	65.38	<b>Zn</b>
3	98.08	×

Следовательно, металл  $\text{M}$  – **Zn**.

Из данных о том, что продуктами первой реакции являются только гидроксид цинка и искомое вещество, можно сделать вывод: весь натрий из гидроксида натрия идет на образование  $\text{Hr}_1$ . Найдем массу  $\text{NaOH}$  и составим уравнение.

$$n(\text{NaOH}) = 2n(\text{Zn}(\text{OH})_2) = 2 \cdot \frac{1.52 \text{ г}}{65.39 \text{ г/моль} + 2 \cdot 17.02 \text{ г/моль}} = 0.0306 \text{ моль.}$$

$$m(\text{NaOH}) = 40.19 \text{ г/моль} \cdot 0.0306 \text{ моль} = 1.223 \text{ г} \Rightarrow$$

Уравнение:  $1.00 \text{ г} + 1.223 \text{ г} + \text{X} = \text{Y} + 1.52 \text{ г}$ , где  $\text{X}$  – в-во  $\text{X}$ ,  $\text{Y}$  –  $\text{Hr}_1$ .

Используя данные таблицы о массе полученных веществ, решим приведенное выше уравнение:  $1.00 \text{ г} + 1.223 \text{ г} + 0.736n = 1.00n + 1.52 \text{ г} \Rightarrow n = 2.663 \Rightarrow m(\text{X}) = 1.960 \text{ г}$ ,  $m(\text{Hr}_1) = 2.663 \text{ г}$

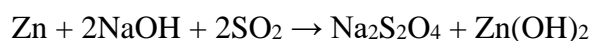
Определим газ  $\text{X}$ :

K (коэф перед X)	M(X), г/моль	Газ X
1	128.10	×
2	64.05	<b>SO<sub>2</sub></b>
3	42.70	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (×)
4	32.03	O <sub>2</sub> (×), CH <sub>3</sub> OH (×)

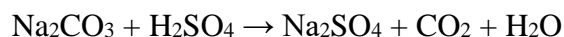
Газ  $\text{X}$  – **SO<sub>2</sub>**, тогда  $\text{Hr}_1$  – **Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**.

Проверим это:

$$M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4) \cdot 0.5n(\text{NaOH}) = 2.664 \text{ г.}$$



Определим соединение **A**. Молярная масса  $Y = 1.375 \cdot 32.00 \text{ г/моль} = 44 \text{ г/моль} \Rightarrow Y - \text{CO}_2$ . Тогда соль **A** должна содержать натрий, углерод и кислород. Под это описание подходят карбонат натрия и гидрокарбонат натрия. Проверим это, используя данные титрования:



$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow 10 \text{ мл} \cdot 0.018 \text{ М} = 18 \text{ мл} \cdot 0.010 \text{ М} \Rightarrow \text{отношение } 1 \text{ к } 1 \Rightarrow \mathbf{A - Na_2CO_3}$$

Используя таблицу, определим соединение **Нр<sub>2</sub>**:

$$\frac{m(\text{SO}_2)}{m(\text{Нр}_2)} = \frac{0.674}{1.00k} = \frac{M(\text{SO}_2)}{nM(\text{Na}) + mM(\text{S}) + lM(\text{O})}$$

К (коэф.)	М (Нр <sub>2</sub> ), г/моль	В-во Нр <sub>2</sub>
1	95.06	≈ Na <sub>2</sub> SO (×)
2	190.11	<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>
3	285.18	≈ Na <sub>2</sub> S <sub>3</sub> O <sub>9</sub> (×)
4	380.23	×

$\Rightarrow \mathbf{Нр}_2 - \mathbf{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$

Определим оксид **Z**:

$$\frac{36.81\%}{16n} = \frac{100\% - 36.81\%}{M} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{Z - MnO}_2$$

n	M	Оксид <b>Z</b>
0.5	13.73	×
1	27.47	×
1.5	41.20	×
2	54.93	<b>MnO<sub>2</sub></b>
2.5	68.67	×
3	82.40	×

Используя данные о титровании, найдем кол-во вещества карбоната натрия:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.01 \text{ л} \cdot 0.6 \text{ моль/л} = 0.006 \text{ моль}, n(\text{CO}_2) = \frac{0.0672 \text{ л}}{22.4 \text{ л/моль}} = 0.003 \text{ моль} \Rightarrow$$

Часть углерода (карбонат-ионов) содержится в веществе **C**. Найдем его молярную массу:

$$n((\text{Na}_2\text{CO}_3) - n(\text{CO}_2)) = n(\mathbf{C}) = 0.003 \text{ моль} \Rightarrow M(\mathbf{C}) = \frac{0.611 \text{ г}}{0.003 \text{ моль}} = 203.67 \text{ г/моль}$$

Данная молярная масса намного больше, чем  $M(\text{MnCO}_3)$ . Тогда можно предположить, что в ходе реакции образуется основной карбонат марганца  $\text{Mn}_n(\text{OH})_m\text{CO}_3$ .

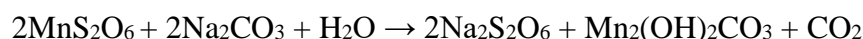
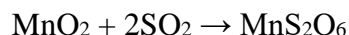
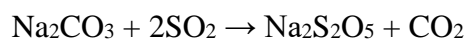
$$M(\text{Mn}_n(\text{OH})_m) = 203.67 \text{ г/моль} - 60.01 \text{ г/моль} = 143.66 \text{ г/моль}$$

Методом подбора несложно найти, что искомое вещество **C** – **Mn<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**.

Используя полученные данные, найдем вещество **Нр<sub>3</sub>**:

$$\frac{m(SO_2)}{m(Hp_3)} = \frac{0.622}{1.00k} = \frac{M(SO_2)}{nM(Na) + mM(S) + lM(O)}$$

Также можно заметить, что  $206 - 190 = 16$ , что соответствует молярной массе одного атома кислорода. **Hp<sub>3</sub>** – **Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>6</sub>**.



К (коэф.)	М (Hp <sub>3</sub> ), Г/МОЛЬ	В-во Hp <sub>3</sub>
1	103.01	×
2	206.01	<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>
3	309.02	Na <sub>3</sub> S <sub>2</sub> O <sub>11</sub> (такое соединение не может существовать)

Опираясь на вещества **Hp<sub>1</sub>-Hp<sub>3</sub>**, можно сделать вывод, что кислая соль **D** – гидросульфат натрия (**NaHSO<sub>4</sub>**). Это можно проверить по реакциям 5 и 7.

В результате реакции 5 выделяется вода, так как водорода нет в **Hp<sub>4</sub>**. Найдем искомое вещество:

$$\frac{m(Hp_4)}{m(H_2O)} = \frac{1.00 \text{ г}}{1.00 \text{ г} - 1.0811 \text{ г}} = -\frac{M(Hp_4)}{k \cdot M(H_2O)} \Rightarrow$$

к (кол-во моль воды на 1 моль Hp <sub>4</sub> )	М(Hp <sub>4</sub> ), Г/МОЛЬ	В-во Hp <sub>4</sub>
0.5	111.07	≈ Na <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> (×)
1	222.15	<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>
1.5	333.22	×

$$\frac{m(Hp_4)}{m(D)} = \frac{1.00 \text{ г}}{1.0811 \text{ г}} = \frac{M(Hp_4)}{k \cdot M(D)}$$

к (кол-во моль D на 1 моль Hp <sub>4</sub> )	М(Hp <sub>4</sub> ), Г/МОЛЬ	М(D), Г/МОЛЬ	В-во D
1	111.07	120.08	<b>NaHSO<sub>4</sub></b>
2	222.15	120.08	<b>NaHSO<sub>4</sub></b>

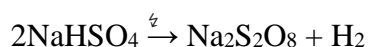
Из двух вышеприведённых таблиц можно сделать вывод, что **D** – **NaHSO<sub>4</sub>**, а **Hp<sub>4</sub>** – **Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** (обратите внимание на первые столбцы, там получается несоответствие).

Определим соединение **Hp<sub>5</sub>**:

$$\frac{m(Hp_5)}{m(D)} = \frac{1.00 \text{ г}}{1.0084 \text{ г}} = \frac{M(Hp_5)}{k \cdot M(D)}$$

к (коэф. перед D)	М(Hp <sub>5</sub> ), Г/МОЛЬ	В-во Hp <sub>5</sub>
1	119.07	×
2	238.12	<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub></b>
3	357.20	×

**Нр5 – Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>.** Этот факт подтверждается выделением кислорода при его термическом разложении.



Комплексное соединение **E**, вероятнее всего, содержит ионы серебра, фенантролиновые лиганды и пероксодисульфат-анионы. Молярная масса **E** на 1 атом серебра:  $\frac{107.87 \text{ г/моль}}{0.1633} = 660.16 \text{ г/моль}$ . На анион и лиганды приходится  $660.56 \text{ г/моль} - 107.87 \text{ г/моль} = 552.69 \text{ г/моль}$ . Молярная масса 1 молекулы фенантролина равна  $180.19 \text{ г/моль}$ . Остаток  $192 \text{ г/моль}$ , соответствующий персульфат-аниону, получается при вычитании двух фенантролиновых лигандов. Тогда **E** - **[Ag(phen)<sub>2</sub>]S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>**. Интересно, что серебро в данном соединении имеет степень окисления +2. Реакция получения имеет вид:



Используя кристаллографические данные вещества **F**, определим его формулу:

$$V_{\text{яч}} = abc \sin \beta = 2034.056 \text{ \AA}^3 = 2034.056 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3$$

$$\rho(\mathbf{F}) = \frac{Z \cdot M(\mathbf{F})}{N_a \cdot V_{\text{яч}}} = 1.583 \text{ г/см}^3 = \frac{2M(\mathbf{F})}{6.022 \cdot 10^{23} \cdot V_{\text{яч}}} \Rightarrow M(\mathbf{F}) = 969.52 \text{ г/моль}$$

Поскольку комплекс биядерный, он точно содержит 2 атома Sm ( $150.36 \text{ г/моль}$ ). Также в его состав должен входить лиганд  $\text{C}_5\text{Me}_5$  ( $135.25 \text{ г/моль}$ ), связывающийся с атомом комплексообразователя посредством  $\pi$ -взаимодействия. В условии задачи также сказано, что в состав **F** входят 2 типа лигандов с разным видом связывания M-L. Значит, второй лиганд должен быть  $\sigma$ -лигандом ( $\sigma$ -L), точно содержащим серу (вероятно, в составе фрагментов  $\text{SO}_2$ ). Пусть в состав комплекса входят 2 атома Sm,  $x$  лигандов  $\text{C}_5\text{Me}_5$  и  $y$   $\sigma$ -L.

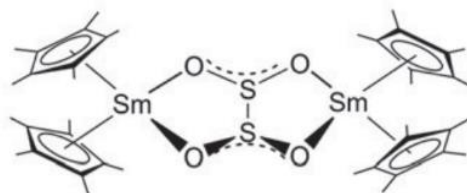
Получаем следующее уравнение:

$$y \cdot M(\sigma - \text{L}) = 969.52 - 2 \cdot 150.36 - 135.25x = 668.80 - 135.25x$$

Пусть  $y = 1$ . Также примем, что на  $\sigma$ -лиганд приходится некоторое количество фрагментов (или молекул)  $\text{SO}_2$ , тогда составим таблицу:

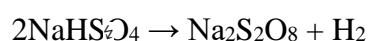
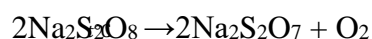
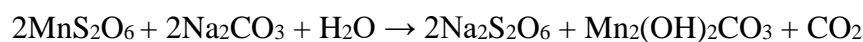
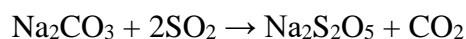
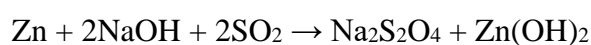
$x$	$M(\sigma\text{-L})$ , г/моль	Формула лиганда $\sigma\text{-L}$
1	533.55	8.33 фрагментов $\text{SO}_2$ – не подходит
2	398.30	6.22 фрагментов $\text{SO}_2$ – не подходит
3	263.05	4.11 фрагментов $\text{SO}_2$ – не подходит
4	127.80	1.99 фрагментов $\text{SO}_2$ – это очень близко к 2. Скорее всего, в состав комплекса входит не сам $\text{SO}_2$ , так как он связывался бы с атомами Sm по $\pi$ -типу, а $\pi$ -лиганд у нас уже есть. Следовательно, формула лиганда $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$ .
5	-7.45	С этого момента дальнейший перебор теряет смысл, так как нас не интересуют отрицательные молярные массы.

Таким образом, **F** – **[Sm<sub>2</sub>( $\mu_2$ -S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)( $\eta^5$ -C<sub>5</sub>Me<sub>5</sub>)<sub>4</sub>]**. Структурная формула **F**:



X	Y	Z	A	B	C	D
SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	MnS <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Mn <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHSO <sub>4</sub>
E	F	Hp <sub>1</sub>	Hp <sub>2</sub>	Hp <sub>3</sub>	Hp <sub>4</sub>	Hp <sub>5</sub>
[Ag(phen) <sub>2</sub> ]S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	[Sm <sub>2</sub> (μ <sub>2</sub> -S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )(η <sup>5</sup> -C <sub>5</sub> Me <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> ]	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>

**Уравнения реакций:**



Если посмотреть на ряд соединений **Hp<sub>1</sub>-Hp<sub>5</sub>**, то можно легко сделать вывод, что соединение **Hp<sub>0</sub>** – **Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** или **Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•5H<sub>2</sub>O**.

Способы получения тиосульфата натрия	Обязательное условие
$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Указание температуры (кипящий р-р)*
$2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	
$4\text{S} + 6\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{Na}_2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	Указание температуры (кипящий р-р)*
$4\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} + 6\text{NaOH} \rightarrow 3\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 5\text{H}_2\text{O}$	

(В англоязычной литературе Нуро – обозначение тиосульфата натрия)

**Структуры веществ Hp<sub>0-5</sub>:**

Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( <b>Hp<sub>0</sub></b> )	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ( <b>Hp<sub>1</sub></b> )	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( <b>Hp<sub>2</sub></b> )
$2\text{Na}^+ \left[ \begin{array}{c} \text{S} \\ \vdots \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \\ \vdots \\ \text{O} \end{array} \right]^{2-}$	$2\text{Na}^+ \left[ \begin{array}{c} \text{O} \\ \vdots \\ \text{O}=\text{S}-\text{S}=\text{O} \\ \vdots \\ \text{O} \end{array} \right]^{2-}$	$2\text{Na}^+ \left[ \begin{array}{c} \text{O} \\ \vdots \\ \text{O}=\text{S}-\text{S}=\text{O} \\ \vdots \\ \text{O} \end{array} \right]^{2-}$
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ( <b>Hp<sub>3</sub></b> )	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ( <b>Hp<sub>4</sub></b> )	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ( <b>Hp<sub>5</sub></b> )
$\text{Na}^+ \text{O}=\text{S}(=\text{O})-\text{S}(=\text{O})=\text{O} \text{Na}^+$	$\text{Na}^+ \text{O}=\text{S}(=\text{O})-\text{O}-\text{S}(=\text{O})=\text{O} \text{Na}^+$	$\text{Na}^+ \text{O}=\text{S}(=\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{S}(=\text{O})=\text{O} \text{Na}^+$



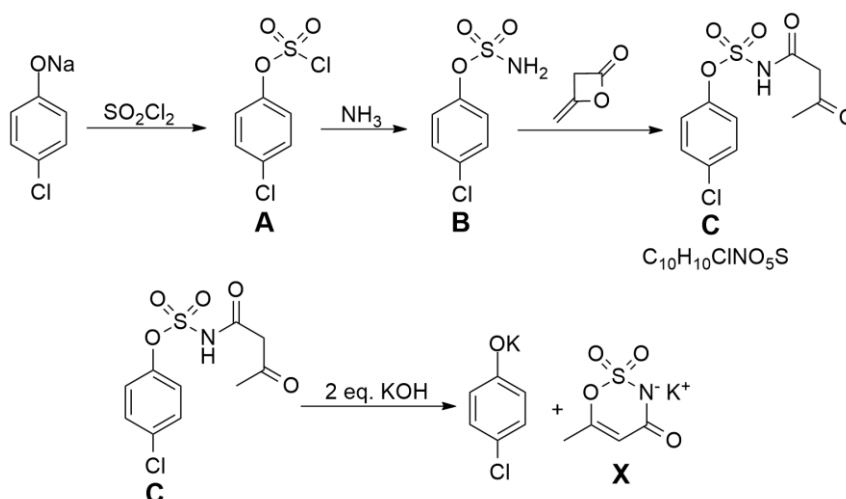
### Система оценивания

1	Формулы соединений <b>A-D, X, Y, Z, Нр<sub>1</sub>-Нр<sub>5</sub></b> - по 0.5 б	<b>6 баллов</b>
2	Формулы соединений <b>E</b> и <b>F</b> – по 0.5 б Структурная формула <b>F</b> – 0.5 б	<b>1.5 балла</b>
3	Уравнения реакций 1-8 - по 0.5 б	<b>4 балла</b>
4	Верный способ получения <b>Нр<sub>0</sub></b> – 0.5 б (без указания температуры – 0.3 б)	<b>0.5 балла</b>
5	Структуры анионов <b>Нр<sub>0</sub>-Нр<sub>5</sub></b> – по 0.5 б (сплошные связи O-Na – штраф 0.2 б)	<b>3 балла</b>

**Итого 15 баллов**

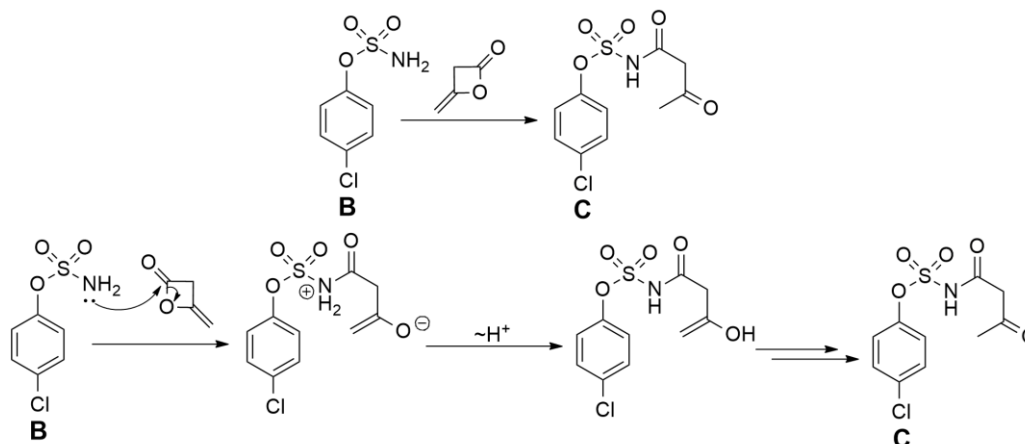
### Решение задачи 10-3 (Нуритдинов М. М.)

Цепочка синтеза **X** с расшифрованными веществами приведена ниже:



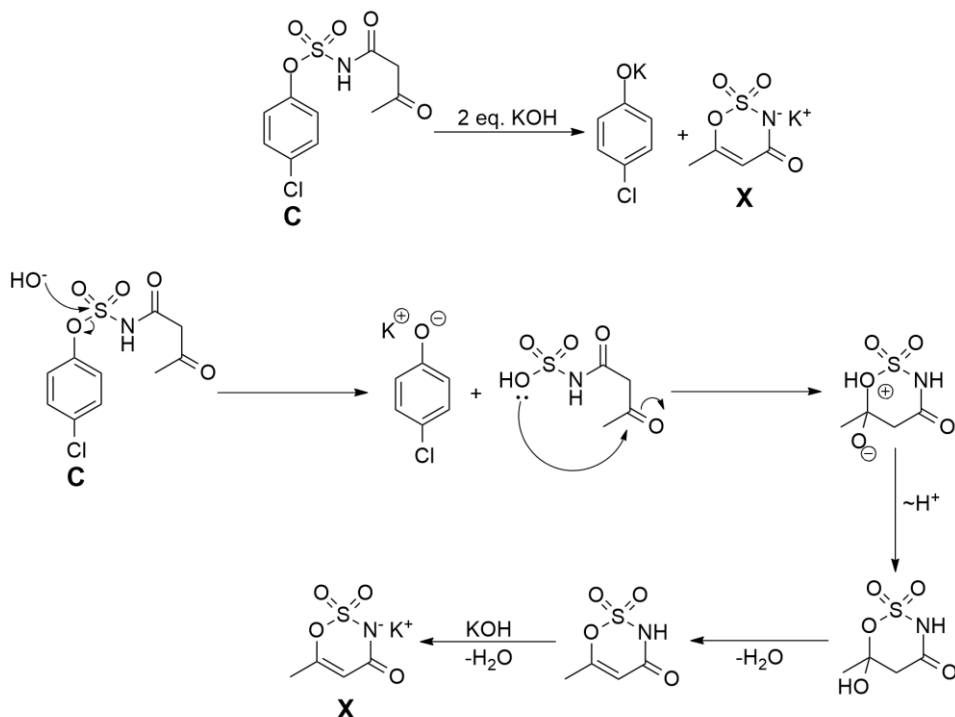
На первой стадии натриевая соль 4-хлорфенола атакует атом серы сульфурилхлорида, образуя монозамещённое вещество **A**. Дизамещённый вариант отбрасываем, так как в приведённой в условии брутто-формуле **C** всего 10 атомов углерода.

На второй стадии синтеза происходит замещение связанного с серой хлора на аминогруппу под действием аммиака. На третьей стадии раскрывается 4-членный гетероцикл и образуется вещество **C** по следующему механизму:

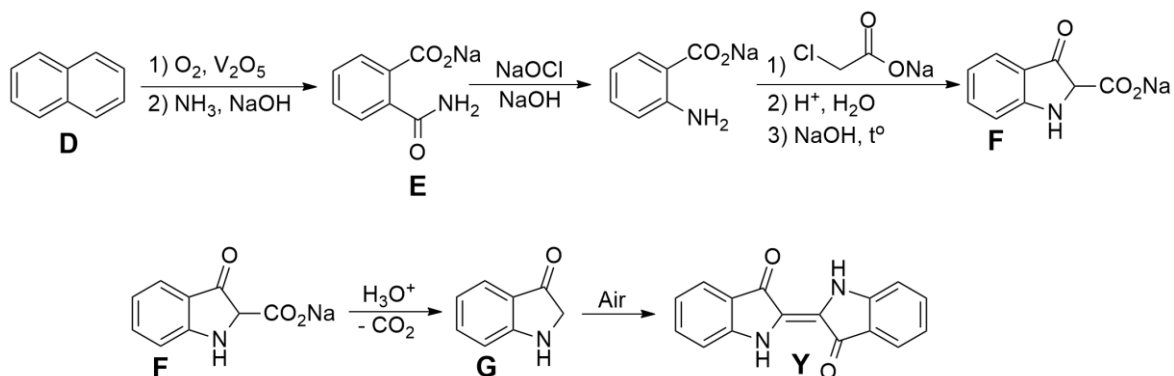


Электрофильный сложноэфирный атом углерода в лактоне подвергается атаке нуклеофильной аминогруппы вещества **B** с последующим раскрытием гетероцикла лактона. На следующей стадии механизма происходит перенос протона и таутомеризация. Здесь стоит заметить, что вещество **C** в форме сопряжённого енола также является устойчивым и засчитывается в качестве верного ответа.

В последней стадии синтеза **X** участвуют два эквивалента KOH. Сначала гидроксид-анион атакует атом серы, что ведёт к элиминированию аниона 4-хлорфенола и образованию серосодержащего фрагмента, который претерпевает внутримолекулярную циклизацию. В последствие происходит элиминирование гидроксильной группы и образование калиевой соли – *ацесульфам калия*.



Цепочка синтеза **Y** с расшифрованными веществами приведена ниже:



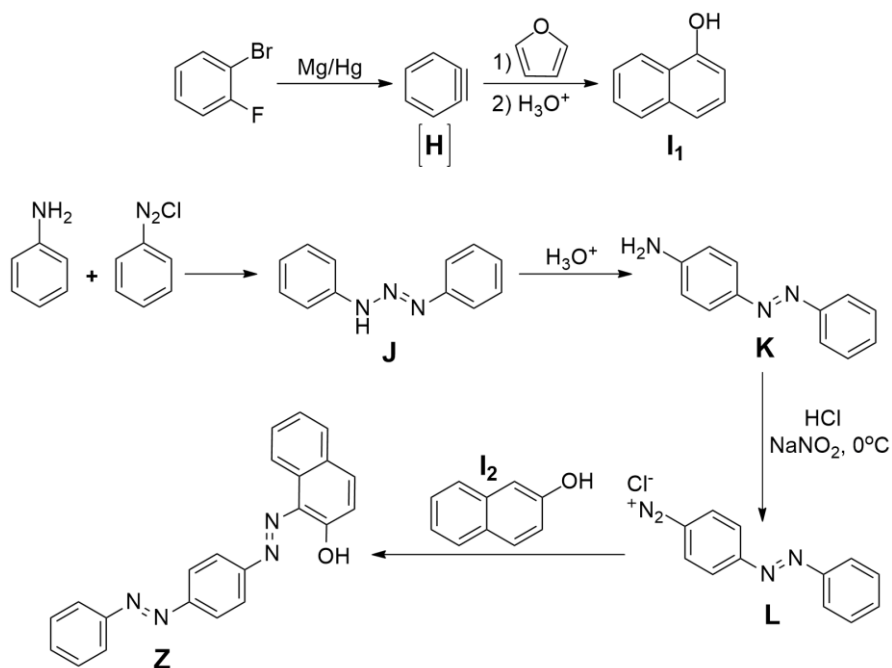
Определить вещество **D** можно исходя из открытой структуры в схеме, а также из условий первой стадии превращения **D** в **E**: окисление кислородом с катализатором  $V_2O_5$  обычно проводят для бензола или нафталина с получением малеинового или фталевого ангидрида соответственно. Приведённое на схеме вещество является производным фталевого ангидрида. Следовательно, **D** – нафталин,  $C_{10}H_8$ . Под действием  $NH_3/NaOH$  происходит раскрытие ангидрида с образованием соли **E**. В процессе получения **F** хлорацетат натрия

присоединяется к изображённому на схеме соединению через аминогруппу, а далее протекает аналог конденсации Кляйзена.

На следующем этапе протекает декарбоксилирование натриевой соли  $\beta$ -кетокислоты в кислой среде с образованием вещества **G**. Под действием кислорода воздуха оно претерпевает окислительную димеризацию, на что указывает резкое изменение числа циклов. Окислительный характер димеризации можно подтвердить, исходя из массовой доли углерода в **Y**, приведённой в условии. Простейшая формула вещества в расчёте на 8 атомов углерода имеет вид  $C_8H_5NO$ , тогда как у **G** -  $C_8H_7NO$ . Димеризация должна протекать таким образом, чтобы образовалась цепь сопряжения, дающая соединению окраску (о наличии окраски свидетельствуют приведённые ниже спектры). Тогда брутто-формула **Y** -  $C_{16}H_{10}N_2O_2$ , а наиболее вероятная структура реализуется при образовании связи между атомами углерода между карбонильной и аминогруппами. Вещество **Y** имеет тривиальное название "индиго" и является красителем.

Индиго имеет синий цвет, поэтому его максимум поглощения должен приходиться на жёлтую часть спектра (дополнительный к синему), что примерно соответствует диапазону длин волн 580-620 нм. Это спектр № 1.

Цепочка синтеза **Z** с расшифрованными веществами приведена ниже:



Вещество **H**, дегидробензол, очень неустойчиво и получается в результате дегалогенирования на первой стадии, вступая далее в реакцию Дильса-Альдера. На выходе получается вещество **I<sub>1</sub>** – нафтол-1. Соответственно, его изомер, **I<sub>2</sub>** – нафтол-2.

Далее возникает вопрос о структурах **J** и **K**. **K** является продуктом азосочетания. Поскольку на стадии **K-L** используется смесь HCl/NaNO<sub>2</sub>, стоит предположить, что именно **K** является таким продуктом. Тогда **J** – некое промежуточное на в ходе образования **K** вещество, изомерное ему. Следовательно, стадия **J-K** – перегруппировка под действием кислоты. Тогда остаётся предположить, что при получении **J** азот аминогруппы атакует терминальный азот диазогруппы и возникает группировка из трёх идущих подряд атомов азота.

Для расшифровки структурной формулы **Z** необходимо определить, по какому атому углерода нафта-2 пойдёт реакция. Самым активным  $\alpha$ -атомом углерода будет тот, который расположен наиболее близко к соседнему бензольному кольцу. Получившееся вещество **Z** имеет необычное тривиальное название “Судан III”.

У азокрасителей имеется яркое окрашивание проявляется благодаря наличию в них длинной сопряжённой системы двойных связей, в состав которой входит одна или более азогруппа, являющейся сильным хромофором. Хромофорная группа поглощает свет на определённой длине волны и, таким образом, определяет цвет молекулы.

### Система оценивания

1	Правильные структурные формулы <b>A-C</b> - по 0.5 б Правильная структурная формула <b>X</b> – 1 балл (если формула <b>X</b> указана без атома калия, за <b>X</b> ставится 0.5 б).	2.5 балла
2	Правильные структурные формулы <b>D-G</b> – по 0.5 б Правильная структурная формула <b>Y</b> – 1 б Применение и тривиальное название <b>Y</b> – по 0.5 б	4 балла
3	Выбор верного УФ-спектра с обоснованием (за правильный выбор без обоснования – 0 б; аргументированный выбор исходя из неверной окраски индиго – 1 б).	1.5 балла
4	Формула вещества <b>N<sub>1</sub></b> – 0.5 б Правильные структурные формулы <b>H, I<sub>2</sub>, K, L</b> – по 0.5 б Правильные структурные формулы <b>I<sub>1</sub>, J, Z</b> – по 1 б	5.5 баллов
5	Обоснование с упоминанием хромофорных групп или иное разумное объяснение	1.5 балла

**Итого 15 баллов**

### Решение задачи 10-4 (Соколов А.А.)

В задаче идет речь о комплексных анионах, значит необходимо подобрать металл и лиганд, формулы которых содержали бы в себе всего две буквы. Также из этих букв должно образовываться минимум три разных газообразных вещества – **X**, **Y** и **Z**. Это исключается из рассмотрения в качестве лигандов галогены, гидроксид-анион, воду, аммиак, нитрат-анион, цианид-анион, органические частицы, содержащие водород, так как из букв, содержащихся в них, нельзя составить химическую формулу металла и/или трех газов. Остаются кислородосодержащие лиганды серы (можно составить осмий, Os) и углерода (можно составить кобальт, Co). Первые встречаются гораздо реже и почти не образуют полиядерных комплексов (а они, судя по условию, в задаче присутствуют в виде соединений **D2** и **D3**), так что остановимся на рассмотрении вторых. Тогда искомые буквы – С и О.

Очертим круг возможных соединений кобальта, удовлетворяющим условию задачи: это оксиды, карбонаты, оксалаты, карбиды и карбонилы. Газообразными веществами **X**, **Y** и **Z** могут быть O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>.

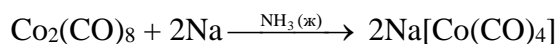
**C1** дает разные продукты разложения в присутствии **X** и без него – **B1** и **B2**, соответственно; в обоих случаях также образуется газ **Z**. При этом переход из **B1** в **B2** осуществляется путем прямой реакции первого с **X** при нагревании. Можно предположить, что **B1** и **B2** – это оксиды кобальта в различных степенях окисления, CoO и Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, **X** –

кислород, **Z** – CO<sub>2</sub>, а **C1** – карбонат кобальта(II). Данное предположение подтверждается расчетом с потерями масс.

Разложение **C2** до смешанного оксида кобальта сопровождается выделением ещё одного газа – **Y**. Скорее всего, это CO. С образованием такой смеси газов разлагаются оксалаты, и тогда веществом **C2** является оксалат кобальта(II).

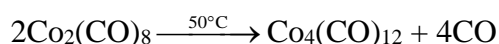
Реакция карбонатов кобальта (**C1**) и натрия (**K**) приводит к образованию дикарбонатокобальтата(II) натрия, комплексный анион **E** – [Co(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup>.

Из возможных вариантов соединений, определенных ранее, пока не были затронуты карбонилы и карбиды кобальта. Продуктом реакции **A1** с монооксидом углерода при умеренном нагревании и повышенном давлении как раз может быть первый член ряда карбониллов кобальта – Co<sub>2</sub>(CO)<sub>8</sub>. Такая реакция характерна для образования карбонила из простого вещества, значит **A1** – Co. При его взаимодействии с натрием в жидком аммиаке, вероятно, образуется комплекс с карбонильным анионом кобальта. Согласно расчету по массовой доле, в **F** на один атом кобальта приходится 112.0 г/моль остальных элементов, что соответствует четырем лигандам CO. Тогда **F** – [Co(CO)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, а **A1** и **D1** – это действительно Co и Co<sub>2</sub>(CO)<sub>8</sub>.



Взаимодействие кобальта с CO при более высокой температуре сопровождается выделением CO<sub>2</sub>, что указывает, что в ходе реакции также должно произойти восстановление какого-либо атома. Скорее всего, это тоже углерод, а образующийся **A2** – карбид кобальта Co<sub>2</sub>C. Массовая доля кобальта в нем 90.75 %, значит в **A3** она составляет 93.64 %. По расчету подходит карбид Co<sub>3</sub>C, который образуется при сплавлении Co<sub>2</sub>C с Co.

Умеренное нагревание 1.71 г Co<sub>2</sub>(CO)<sub>8</sub> приводит к выделению CO и образованию 1.43 г **D2**. Можно предположить, что в ходе этого процесса разрывается часть связей Co–CO и образуются связи Co–Co. Согласно расчету и информации о том, что происходит димеризация, продукт реакции **D2** имеет формулу Co<sub>4</sub>(CO)<sub>12</sub>.



В **D2** атомы кобальта образуют тетраэдр, значит количество связей между ними равно 6, а в соединении **D3** – 12. Тогда можно предположить, что в соединении **D3** и ионах **G**, **H** и **I** количество атомов металла равняется шести и во всех них присутствует октаэдрический фрагмент из атомов кобальта с 12-ю связями между ними.

Запишем в общем виде реакцию взаимодействия Co<sub>4</sub>(CO)<sub>12</sub> с натрием в ТГФ:



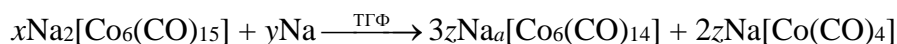
Материальный баланс атомов кобальта показывает, что 4x = 6z + 3z = 9z, значит можно предположить, что x = 9, z = 4. Тогда количество лигандов CO в **H** равняется (9·12–12·4)/4 = 15.



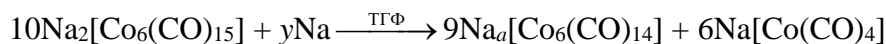
Определим заряд аниона **H**: y = 9·2.22 = 20. a = (20–12)/4 = 2. Значит **H** – [Co<sub>6</sub>(CO)<sub>15</sub>]<sup>2-</sup>.



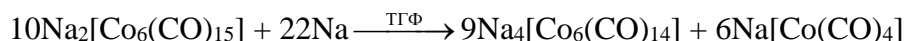
Запишем в общем виде реакцию взаимодействия  $\text{Na}_2[\text{Co}_6(\text{CO})_{15}]$  с натрием в ТГФ:



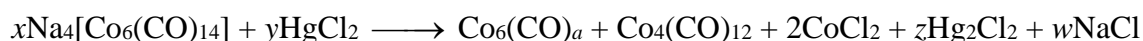
Материальный баланс атомов кобальта показывает, что  $6x = 18z + 2z = 20z$ , значит можно предположить, что  $x = 10$ ,  $z = 3$ . Тогда количество лигандов CO в **I** равняется  $(10 \cdot 15 - 6 \cdot 4) / 9 = 14$ .



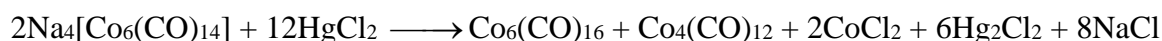
Определим заряд аниона **I**.  $n(\text{Na}) = 2,22 \text{ моль} / 2,27 = 0,98 \text{ моль}$ .  $n(\text{Na}_2[\text{Co}_6(\text{CO})_{15}]) = 1 \text{ моль} / 9 \cdot 4 = 0,44 \text{ моль}$ .  $y = 0,98 / 0,44 \cdot 10 = 22$ .  $a = (42 - 6) / 9 = 4$ . Значит **I** –  $[\text{Co}_6(\text{CO})_{14}]^{4-}$ .



На основании вышеизложенных рассуждений можно утверждать, что **D3** – нейтральный октаэдрический карбонильный комплекс кобальта. Представим его формулу как  $\text{Co}_6(\text{CO})_a$ . Соединение **L**, образующееся в реакции 4, – это, вероятно, хлорид кобальта(II),  $\text{CoCl}_2$ . Тогда в общем виде реакцию 4 можно записать так (предположив, что коэффициент перед **D3** – единица):



Материальный баланс атомов кобальта показывает, что  $x = 2$ . Тогда  $a = 16$ . **D3** –  $\text{Co}_6(\text{CO})_{16}$ .

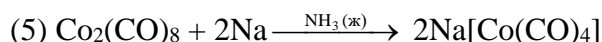
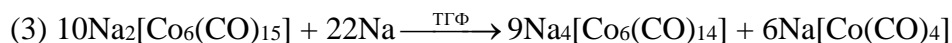
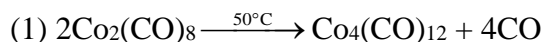


Остается определить анион **G**. Он содержит 6 атомов кобальта, которые составляют 45,00 % от его молярной массы. Тогда она равна  $58,933 \text{ г/моль} \cdot 6 / 0,4500 = 785,8 \text{ г/моль}$ . Без учета атомов кобальта, это соответствует 15-и лигандам CO и ещё 12,0 г/моль от дополнительного атома углерода, присутствующего в составе аниона. **G** –  $[\text{Co}_6(\text{CO})_{15}\text{C}]^{2-}$ .

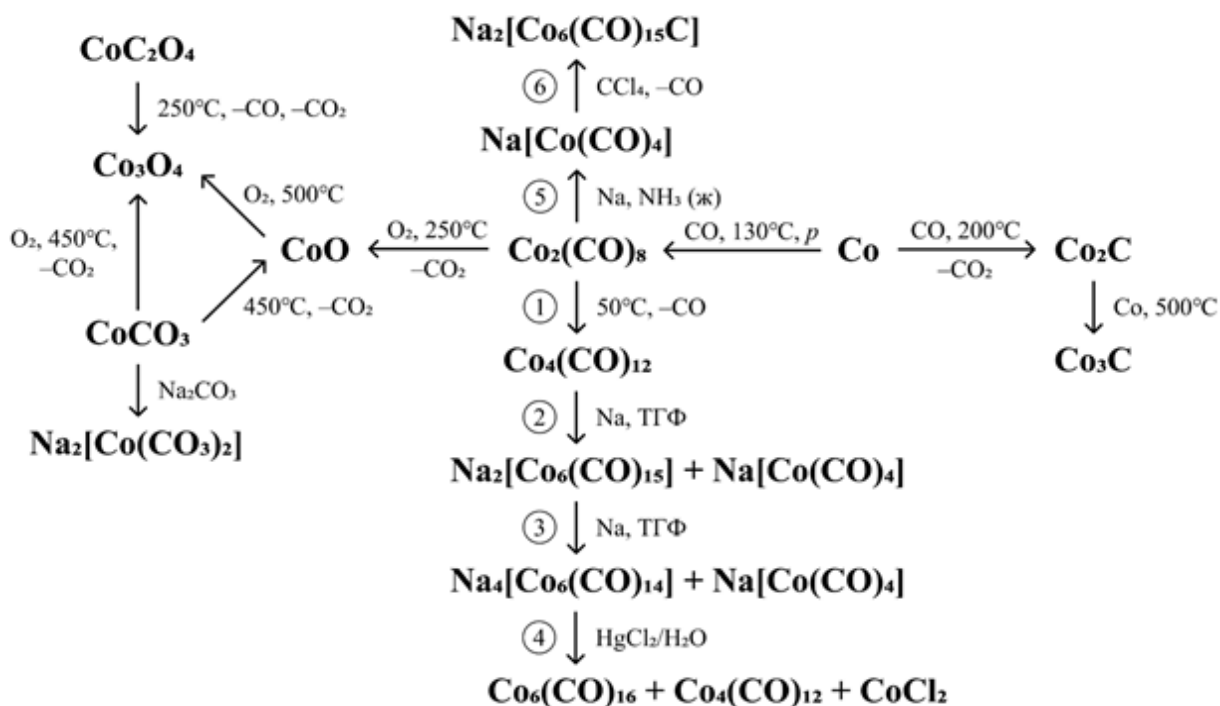


**X** –  $\text{O}_2$ , **Y** – CO, **Z** –  $\text{CO}_2$ , **A1** – Co, **A2** –  $\text{Co}_2\text{C}$ , **A3** –  $\text{Co}_3\text{C}$ , **B1** – CoO, **B2** –  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , **C1** –  $\text{CoCO}_3$ , **C2** –  $\text{CoC}_2\text{O}_4$ , **D1** –  $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ , **D2** –  $\text{Co}_4(\text{CO})_{12}$ , **D3** –  $\text{Co}_6(\text{CO})_{16}$ , **E** –  $[\text{Co}(\text{CO}_3)_2]^{2-}$ , **F** –  $[\text{Co}(\text{CO})_4]^-$ , **G** –  $[\text{Co}_6(\text{CO})_{15}\text{C}]^{2-}$ , **H** –  $[\text{Co}_6(\text{CO})_{15}]^{2-}$ , **I** –  $[\text{Co}_6(\text{CO})_{14}]^{4-}$ .

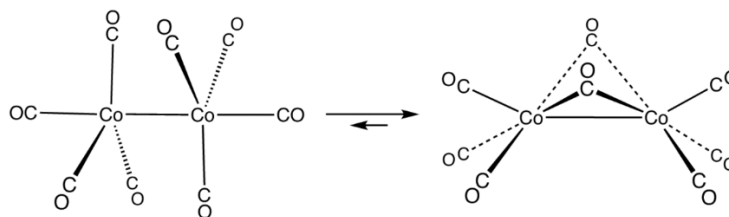
Уравнения реакций 1-6:



Полная схема превращений имеет вид:



Структуры **D1** в растворе и кристалле имеют следующий вид:



Обозначим количество терминальных лигандов за  $x$ , количество мостиковых – за  $y$ .

Тогда в **D3**:  $x + y = 16$

Общее количество связей  $\text{Co}-\text{CO}$  в **D3** равняется  $6 \cdot 4 = 24$ . Причем каждый терминальный лиганд образует одну связь, а мостиковый – 3. Тогда:  $x + 3y = 24$

Решая систему, получаем  $y = 4$ ;  $x = 12$ .

**D3** – 12 терминальных лигандов, 4 мостиковых лиганда

Аналогично для **I**:

$$x + y = 14$$

$$x + 3y = 30$$

$$y = 8; x = 6$$

**I** – 6 терминальных лигандов, 8 мостиковых лигандов

**Система оценивания**

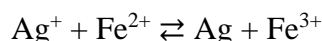
1	Формулы веществ <b>X, Y, Z, A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3</b> и анионов <b>E, F, G, H</b> и <b>I</b> – по 0.5 б	9 баллов
2	Уравнения реакций 1-6 – по 0.5 б	3 балла
3	Структурные формулы изомеров <b>D1</b> – по 0.5 б	1 балл

<b>4</b>	Количество терминальных и мостиковых лигандов в <b>D3</b> и <b>I</b> – по 0.5 б	<b>2 балла</b>
----------	---	----------------

**Итого 15 баллов**

### Решение задачи 10-5 (Алёшин Р.П.)

1. Указанное в вопросе «положение равновесия» намекает на протекание обратимой окислительно-восстановительной реакции:



Равновесие достигается при равенстве потенциалов полуреакций восстановления катионов:

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}$$

Обе полуреакции восстановления катионов металлов потребляют  $n_e = 1$  электрон, следовательно, уравнение можно переписать в виде:

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln[\text{Ag}^+] = E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 - E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 = \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]}$$

При смешении исходных растворов получаем 100 мл смеси с начальными концентрациями реагентов по 0.05 моль/л. Пусть в ходе реакции концентрации реагентов уменьшились на  $x$  моль/л, тогда  $[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Ag}^+] = 0.05 - x$  моль/л; а  $[\text{Fe}^{3+}] = x$  моль/л. Следовательно,

$$\ln \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]} = (E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 - E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0) \cdot \frac{F}{RT} = (0.799 \text{ В} - 0.771 \text{ В}) \cdot \frac{96485 \text{ Кл/моль}}{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298.15 \text{ К}}$$

$$\ln \frac{x}{(0.05-x)^2} = 1.09 \quad \frac{x}{(0.05-x)^2} = 2.974$$

Физический смысл имеет только корень  $x = 5.81 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

$$n(\text{Fe}^{2+}) = n(\text{Ag}^+) = 0.1 \text{ л} \cdot (0.05 - x \text{ моль/л}) = 4.42 \cdot 10^{-3} \text{ моль};$$

$$n(\text{Fe}^{3+}) = n(\text{Ag}) = 0.1 \text{ л} \cdot x \text{ моль/л} = 5.81 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$n(\text{TfO}^-) = 0.1 \text{ л} \cdot (2 \cdot 0.05 \text{ моль/л} + 0.05 \text{ моль/л}) = 0.015 \text{ моль}.$$

Электродный потенциал рассчитаем по серебру (расчёт по железу даёт тот же ответ):

$$E = 0.799 \text{ В} + \frac{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298.15 \text{ К}}{96485 \text{ Кл/моль}} \cdot \ln(0.05 - x) = 0.719 \text{ В}.$$

2. Наиболее пригодна трифторметансульфокислота, поскольку она является сильной кислотой (фактически суперкислотой), а её анион совпадает с анионом в солях металлов.

3. Известно не так много анионов, которые бы образовывали водорастворимые соли серебра и железа (II) одновременно. Согласно таблице растворимости, это могли быть нитрат, дигидрофосфат, ацетат и перхлорат.



Поскольку фосфорная и уксусная кислоты не являются сильными, обеспечить  $pH = 0$  в случае дигидрофосфатов и ацетатов было бы крайне затруднительно. Также известно, что железо образует комплексные частицы с фосфатными лигандами, что могло бы повлиять на редокс-потенциал для пары катионов железа.

С другой стороны, нитрат- и перхлорат-ионы в сильноокислой среде проявляют сильные окислительные свойства, что мешает изучению редокс-равновесий в их присутствии.

4. Кубик покрывается поверхностными слоями металлического серебра, препятствующего дальнейшему протеканию «реакции замещения». В результате в раствор переходит очень малое количество железа, которое окисляется в формы  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Электродный потенциал исходной системы равен:

$$E_{Ag^+/Ag} = E_{Ag^+/Ag}^0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln[Ag^+] = 0.799 \text{ В} + \frac{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298.15 \text{ К}}{96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}} \cdot \ln 0.4 = 0.775 \text{ В}.$$

В ходе опыта  $[Ag^+]$  понизится, значит, потенциал системы уменьшится. Получается, что в момент остановки реакции  $E_{ост} = 0.775 \text{ В} - 0.004 \text{ В} = 0.771 \text{ В} = E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0$ , и как следствие,  $[Fe^{2+}] = [Fe^{3+}]$ . В уравнение реакции  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  должны войти в равных количествах:



5. Исходный кубик, как и обычное железо, растворяется в кислотах-неокислителях, участвует в «реакциях замещения» с солями менее активных металлов, корродирует во влажном воздухе. Концентрированные кислоты-окислители в холодном виде пассивируют поверхность кубика.

Свойства кубика с модифицированной серебром поверхностью будут практически полностью соответствовать поведению металлического серебра. Кубик будет устойчив к действию разбавленных кислот-неокислителей, солей и не будет корродировать во влажном воздухе. В то же время поверхностное серебро способно растворяться в холодных концентрированных кислотах-окислителях, оставляя после себя пассивированную оксидами железа поверхность кубика.

В горячих концентрированных или холодных разбавленных кислотах-окислителях оба кубика растворяются полностью (за исключением инертности модифицированного кубика к  $H_2SO_4$ (разб) и  $HClO_4$ (разб)).

6. В данном случае требуется приравнять потенциалы полуреакций восстановления серебра как в виде свободного катиона, так и в виде комплексной соли:

$$E_{Ag^+/Ag} = E_{Ag_4[Fe(CN)_6]/Ag, [Fe(CN)_6]^{4-}}$$

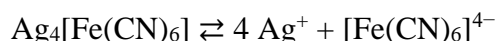
$$E_{Ag^+/Ag}^0 + \frac{RT}{F} \cdot \ln[Ag^+] = E_{Ag_4[Fe(CN)_6]/Ag, [Fe(CN)_6]^{4-}}^0 + \frac{RT}{4F} \cdot \ln \frac{1}{[Fe(CN)_6]^{4-}}$$

$$E_{Ag_4[Fe(CN)_6]/Ag, [Fe(CN)_6]^{4-}}^0 - E_{Ag^+/Ag}^0 = \frac{RT}{4F} \cdot \ln([Ag^+]^4 [Fe(CN)_6]^{4-})$$

$$\ln \text{ПР}(Ag_4[Fe(CN)_6]) = (E_{Ag_4[Fe(CN)_6]/Ag, [Fe(CN)_6]^{4-}}^0 - E_{Ag^+/Ag}^0) \cdot \frac{4F}{RT} = -101.36$$

$$PP(Ag_4[Fe(CN)_6]) = e^{-101.36} = 9.5 \cdot 10^{-45}$$

Принимая растворимость  $Ag_4[Fe(CN)_6]$  равной  $s$ , получим  $[Ag^+] = 4s$ ,  $[Fe(CN)_6^{4-}] = s$ , поскольку



$$\text{Тогда } PP(Ag_4[Fe(CN)_6]) = [Ag^+]^4 [Fe(CN)_6^{4-}] = (4s)^4 \cdot s = 256s^5$$

$$s = \sqrt[5]{\frac{9.5 \cdot 10^{-45}}{256}} = 5.2 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Электродный потенциал вновь рассчитаем по серебру (расчёт по соли ведёт к тому же числу):

$$E = 0.799 \text{ В} + \frac{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298.15 \text{ К}}{96485 \text{ Кл/моль}} \cdot \ln(4s) = 0.285 \text{ В.}$$

### Система оценивания

<b>1</b>	Приравнивание уравнений Нернста для положения равновесия – 1 б Нахождение корня квадратного уравнения – 1 б Нахождение количеств ионов и частиц – по 0.5 б Расчёт равновесного электродного потенциала – 0.5 б	<b>5 баллов</b>
<b>2</b>	Выбор трифторметансульфокислоты – 0.5 б	<b>0.5 балла</b>
<b>3</b>	Нахождение 4-х анионов растворимых солей металлов – по 0.2 б Исключение ацетатов и фосфатов как анионов слабых кислот – 1 б Исключение нитратов и перхлоратов как анионов-окислителей – 1 б	<b>2.8 балла</b>
<b>4</b>	Обоснованная запись уравнения реакции – 1 б	<b>1 балл</b>
<b>5</b>	Верное описание отношения кубиков отдельно к разбавленным и концентрированным кислотам, солям и влажному воздуху – по 0.4 б	<b>3.2 балла</b>
<b>6</b>	Расчёт $PP(Ag_4[Fe(CN)_6])$ – 1 б Расчёт растворимости $Ag_4[Fe(CN)_6]$ – 1 б Расчёт электродного потенциала – 0.5 б	<b>2.5 балла</b>
<i>Без подтверждения расчётом или обоснования ответа оценка составляет половину от максимально возможного балла</i>		

**Итого 15 баллов**