



Всероссийская химическая олимпиада
«Формула Единства» / «Третье тысячелетие»
2020-2021 учебный год. Заключительный этап

Решения задач для 8 класса с критериями

Задача 8.1

Пункт 1. Установим формулу соли **A**. Поскольку при добавлении хлорида бария к раствору этой соли выпадает осадок, а атомные массы всех элементов в **A** лежат в интервале от 15 до 36 а.е.м. остается не так много вариантов – силикат, фосфат, сульфат или сульфит, при этом катион металла, входящий в состав соли – Na, Mg или Al. Зная массовую долю металла легко установить соль. Запишем формулу в общем виде: $\text{Na}_x\text{ЭO}_y$, $\text{Mg}_x(\text{ЭO}_y)_2$ или $\text{Al}_x(\text{ЭO}_y)_3$ в случае алюминия.

$$\text{Для первого случая: } w(\text{Na}) = \frac{M(\text{Na}) \cdot x}{M(\text{соли})} = \frac{23x}{23x + \text{Э} + 16y} = 0,3651$$

$x=1$ или 2, перебирая y находим молярную массу элемента. Решение получается в случае $y=3$: Na_2SO_3

Пункт 2. Теперь установим формулу антидота **X**. Центральный элемент в **A** – сера, ее массовая доля 25,4% в сульфите натрия, следовательно, массовая доля серы в **X** 40,5%. Тогда аналогично можно формулу **X**:

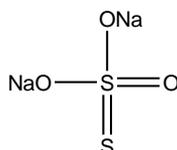
$$w(\text{S}) = \frac{M(\text{S})}{M(\text{соли})} = \frac{32 \cdot x}{23} = 0,3651$$

При $x=2$ получаем формулу **X** – $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_3$, тиосульфат натрия.

Определим формулу кристаллогидрата **X₁**. Количество вещества **Y** (серы): $4,16/32 = 0,13$ моль. По реакции 2 количество тиосульфата натрия такое же, так как Петя получил по массе больше, то излишек – это масса воды в кристаллогидрате, ее количество $11,7/18 = 0,65$ моль.

Отношение количеств тиосульфата натрия к воде составляет $0,13:0,65 = 1:5$, то есть формула **X₁** $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Пункт 3. Структурная формула:



Пункт 4. Второй способ получения антидота **X** – кипячение серы в растворе соли **B**, с массовой долей натрия 33,3%. Легко определить, что это **B** – нитрит натрия (Молярная масса этой соли 69 г/моль). Газ **Z** - веселящий газ N_2O .

Пункт 5. Применяется в качестве легкого анестезирующего веществ в медицине (другие газообразные соединения азота, которые могли бы выделиться в этой реакции, в медицине не применяются).

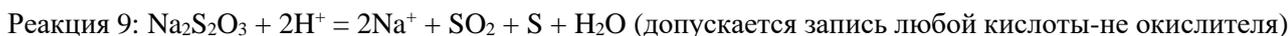
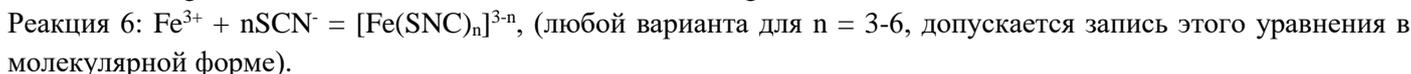
Пункт 6. При желании все формулы веществ можно подтвердить или определить с помощью приведённых массовых долей



Пункт 7. Количество KI_3 : $0,02\text{л} \cdot 0,1\text{M} = 0,002$ моль. По уравнению реакции 8, количество тиосульфата натрия в 2 раза больше, $0,004$ моль. Тогда его молярная концентрация $C_M = n/V = 0,004/0,01 = 0,4$ моль/л.

Пункт 8. Реакции:





Критерии

Установлены молекулярные формулы A, X, X₁ <i>Без расчета 1 балл за вещество</i>	3 × 2 = 6 баллов
Приведена структурная формула X	1 балл
Установлены молекулярные формулы B, Z	2 × 1 = 2 балла
Указано применение Z в медицине	1 балл
Установлены зашифрованные вещества K, D-I	7 × 2 = 14 баллов
Определена молярная концентрация раствора X	3 балла
Написаны уравнения реакций 1-9	9 × 2 = 18 баллов

Сумма: **45 баллов**

Задача 8.2

Решение легче всего начинать с определения вещества **IV**. Найдем количество вещества $n = V/V_m = 50/22,4 = 2,23$ моль. $M(\mathbf{IV}) = m/n = 38/2,23 = 17$ г/моль. Так как по условию в состав входят 4 атома, а один из элементов - водород, то единственным подходящим вариантом остается **NH₃**. Далее вычислим на основании данных об относительной плотности веществ $M(\mathbf{I})$, $M(\mathbf{III})$, $M(\mathbf{IX})$, $M(\mathbf{V})$:

$$M(\mathbf{I}) = D_{\mathbf{IV}}(\mathbf{I}) \cdot M(\mathbf{IV}) = 4,94 \cdot 17 = 84 \text{ г/моль}$$

$$M(\mathbf{III}) = D_{\mathbf{I}}(\mathbf{III}) \cdot M(\mathbf{I}) = 0,762 \cdot 84 = 64 \text{ г/моль}$$

$$M(\mathbf{IX}) = D_{\mathbf{III}}(\mathbf{IX}) \cdot M(\mathbf{III}) = 0,656 \cdot 64 = 42 \text{ г/моль}$$

$$M(\mathbf{V}) = D_{\mathbf{IX}}(\mathbf{V}) \cdot M(\mathbf{IX}) = 2,48 \cdot 42 = 104 \text{ г/моль}$$

I: в состав входит только один элемент с молекулярной массой 84 г/моль, значит формула **Kr**

III: в состав входит кислород, и молекула состоит из 3ех атомов, которые в сумме дают массу 64 г/моль, значит формула **SO₂**

IX: состоит из C и H, в сумме 9 атомов дают массу 42 г/моль. Из вариантов **CH₃₀**, **C₂H₁₈**, **C₃H₆**. Реальной молекулой, подходящей под описание, является только **C₃H₆**

V: **AB₄**, **A₂B₃** возможные формулы вещества **V**. Так как мы не знаем какой из элементов тяжелее, то составим 2 системы уравнений:

$$\begin{cases} |M(\mathbf{A}) - M(\mathbf{B})| = 9 \\ M(\mathbf{A}) + 4M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases}$$

$$\begin{cases} |M(\mathbf{A}) - M(\mathbf{B})| = 9 \\ 2M(\mathbf{A}) + 3M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases}$$

При раскрытии модуля получаются 4 системы с соответствующими решениями:

$$\begin{cases} M(\mathbf{A}) - M(\mathbf{B}) = 9 \\ M(\mathbf{A}) + 4M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\mathbf{A})=28, M(\mathbf{B})=19$$

$$\begin{cases} M(\mathbf{B}) - M(\mathbf{A}) = 9 \\ M(\mathbf{A}) + 4M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\mathbf{A})=13,6, M(\mathbf{B})=22,6$$

$$\begin{cases} M(\mathbf{A}) - M(\mathbf{B}) = 9 \\ 2M(\mathbf{A}) + 3M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\mathbf{A})=26,2, M(\mathbf{B})=17,2$$

$$\begin{cases} M(\mathbf{B}) - M(\mathbf{A}) = 9 \\ 2M(\mathbf{A}) + 3M(\mathbf{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\mathbf{A})=15,4, M(\mathbf{B})=24,4$$

Таким образом, подходящий вариант **SiF₄**

Теперь перейдем к определению молекулярных масс **VI**, **VII**, **X**. Для этого решаем систему из 3ех уравнений:

$$\begin{cases} Mr(\text{VI}) + Mr(\text{VII}) = 438.5 \\ Mr(\text{VII}) + Mr(\text{X}) = 450 \\ Mr(\text{X}) + Mr(\text{VI}) = 428.5 \end{cases} \quad \text{Таким образом, } Mr(\text{VI})=208.5, Mr(\text{VII})=230, Mr(\text{X})=220$$

VI: Содержит фосфор, $Mr(\text{VI})=208.5$, в сумме 6 атомов. Факты наводят на общую формулу $\text{P}n\text{H}a_5$, а молекулярная масса ограничивает нас вариантом PCl_5

VII: Оксид неизвестного неметалла с массой 230. Т.к. число атомов = 7, то речь идет об оксиде элемента из пятой группы. Ответ: As_2O_5

X: Оксид фосфора, включающий 10 атомов, значит формула P_4O_6

Далее определим оставшиеся 2 вещества **II** и **VIII**

$$Mr(\text{II}) = Mr(\text{VIII}) = \frac{Mr(\text{VI}) + Mr(\text{VII}) + Mr(\text{X})}{23.5} = 28$$

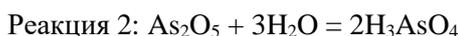
II: Так как это оксид углерода, то подходит только CO

VIII: Водородное соединение неизвестного элемента **Y**, имеет массу **28** и включает **8** атомов. Можно составить несколько виртуальных формул H_2Y_6 , H_6Y_2 , H_3Y_5 , H_5Y_3 , HY_7 , H_7Y . Под описание подходит H_6Y_2 , $Ar(\text{Y})=11$, тогда ответ B_2H_6

Пункт 1. Молекулярные формулы и массы зашифрованных веществ:

№	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Mr	84	28	64	17	104	208,5	230	28	42	220
Ф-ла	Kr	CO	SO₂	NH₃	SiF₄	PCl₅	As₂O₅	B₂H₆	C₃H₆	P₄O₆

Пункт 2. Реакции:



Критерии

Установлены молекулярные массы I-X	1 × 10 = 10 баллов
Установлены молекулярные формулы I-X	1 × 10 = 10 баллов
Написаны уравнения реакций 1-3	2 × 3 = 6 баллов

Сумма: **26 баллов**

Задача 8.3

Пункт 1. Рассчитаем массовую долю NaCl в растворе:

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{7,36\text{г}}{184\text{г}} = 0,04$$

По таблице плотностей определяем, что плотность раствора = **1,027 г/мл**

Пункт 2. Массовая доля соли одинакова для двух случаев:

$$\omega(\text{соли}) = \frac{11\text{г}}{100\text{г} + 11\text{г}} = 0,1$$

А вот объем конечных растворов разный:

$$V(\text{NaCl}) = \frac{m}{\rho} = \frac{111}{1.071} = 103.6 \text{ мл}$$

$$V(\text{KNO}_3) = \frac{m}{\rho} = \frac{111}{1.063} = 104.4 \text{ мл}$$

Пункт 3. Основываясь на данных взвешивания, $m(\text{H}_2\text{O})=150.47\text{г}$, $m(\text{KNO}_3)=9.58 \text{ г}$, $m(\text{p-ра}_1)=160,05 \text{ г}$.

$$\omega(\text{соли}) = \frac{9,58\text{г}}{160,05} = 0,06$$

Плотность раствора **1,036 г/мл**

Пункт 4. После упаривания масса соли осталась прежней, а вот масса раствора изменилась:

$$m(\text{p-ра}_2) = 119,65 \text{ г}$$

$$\omega(KNO_3) = \frac{9,58\text{г}}{119,65} = 0,08$$

Плотность раствора **1,049 г/мл**

Пункт 5. Так как плотность конечного раствора составляет 1,13 г/мл, то массовая доля соли = 20 %. Составим уравнение, обозначив массу добавленной соли за x :

$$\omega(KNO_3) = 0,2 = \frac{9,58\text{г} + x}{119,65 + x}$$

$x = 17,94$ г, а масса раствора = **137,6 г**

Пункт 6. Теперь обозначим за y массу добавленной воды.

$$m(\text{раствора})_{\text{стакан1}} = 137,6 + y$$

$$m(\text{раствора})_{\text{стакан2}} = (137,6 + y)/2 + 85$$

$$m(\text{раствора})_{\text{стакан3}} = (137,6 + y)/2 + 5$$

Зная, что $m(\text{раствора})_{\text{стакан2}} = 2m(\text{раствора})_{\text{стакан3}}$, составим уравнение:

$$\frac{137,6 + y}{2} + 85 = 2 * \left(\frac{137,6 + y}{2} + 5 \right)$$

$y = 12,4$ г масса добавленной воды

Пункт 7. $m(\text{соли})_{\text{стакан1}} = 17,94 + 9,58 = 27,5$ г,

После равного разлива по новым стаканам масса соли уменьшается вдвое:

$$m(\text{соли})_{\text{стакан1}}/2 = m(\text{соли})_{\text{стакан2}} = m(\text{соли})_{\text{стакан3}} = 13,75\text{г},$$

После добавления воды масса раствора в стакане 2 равна 160г: $m(\text{раствора})_{\text{стакан2}} = (137,6 + 12,4)/2 + 85 = 160\text{г}$.
Найдем массовую долю соли в стакане 2:

$$\omega(KNO_3)_{\text{ст. 2}} = \frac{13,75}{160} = 0,086$$

После добавления дополнительной порции соли масса раствора в стакане 3 равна 80г: $m(\text{раствора})_{\text{стакан3}} = (137,6 + 12,4)/2 + 5 = 80\text{г}$. Найдем массовую долю в стакане 3:

$$\omega(KNO_3)_{\text{ст. 3}} = \frac{13,75 + 5}{80} = 0,234$$

$$\omega(KNO_3)_{\text{ст. 3}} - \omega(KNO_3)_{\text{ст. 2}} = 0,234 - 0,086 = 0,148$$

Критерии

Определена плотность раствора NaCl	1 балл
Рассчитаны изменения объемов	2 × 1 = 2 балла
Определена плотность до упаривания	2 балла
Определена плотность после упаривания	2 балла
Рассчитана масса добавленной соли и получившегося раствора KNO ₃	7 баллов
Рассчитано, сколько воды добавили	6 баллов
Определена разница в массовых долях	5 баллов

Сумма: **25 баллов**



Всероссийская химическая олимпиада
«Формула Единства» / «Третье тысячелетие»
2020-2021 учебный год. Отборочный этап

Решения задач для 9 класса с критериями

Задача 9.1

Пункт 1. Установим формулу соли **A**. Поскольку при добавлении хлорида бария к раствору этой соли выпадает осадок, а атомные массы всех элементов в **A** лежат в интервале от 15 до 36 а.е.м. остается не так много вариантов – силикат, фосфат, сульфат или сульфит, при этом катион металла, входящий в состав соли – Na, Mg или Al. Зная массовую долю металла легко установить соль. Запишем формулу в общем виде: $\text{Na}_x\text{ЭO}_y$, $\text{Mg}_x(\text{ЭO}_y)_2$ или $\text{Al}_x(\text{ЭO}_y)_3$ в случае алюминия.

$$\text{Для первого случая: } w(\text{Na}) = \frac{M(\text{Na}) \cdot x}{M(\text{соли})} = \frac{23x}{23x + 9 + 16y} = 0,3651$$

$x=1$ или 2 , перебирая y находим молярную массу элемента. Решение получается в случае $y=3$: Na_2SO_3

Пункт 2. Теперь установим формулу антидота **X**. Центральный элемент в **A** – сера, ее массовая доля 25,4% в сульфите натрия, следовательно, массовая доля серы в **X** 40,5%. Тогда аналогично можно формулу **X**:

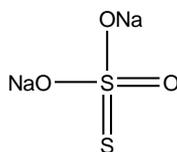
$$w(\text{S}) = \frac{M(\text{S})}{M(\text{соли})} = \frac{32 \cdot x}{23} = 0,3651$$

При $x=2$ получаем формулу **X** – $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_3$, тиосульфат натрия.

Определим формулу кристаллогидрата **X**₁. Количество вещества **Y** (серы): $4,16/32 = 0,13$ моль. По реакции 2 количество тиосульфата натрия такое же, так как Петя получил по массе больше, то излишек – это масса воды в кристаллогидрате, ее количество $11,7/18 = 0,65$ моль.

Отношение количеств тиосульфата натрия к воде составляет $0,13:0,65 = 1:5$, то есть формула **X**₁ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Пункт 3. Структурная формула:



Пункт 4. Второй способ получения антидота **X** – кипячение серы в растворе соли **B**, с массовой долей натрия 33,3%. Легко определить, что это **B** – нитрит натрия (Молярная масса этой соли 69 г/моль). Газ **Z** - веселящий газ N_2O .

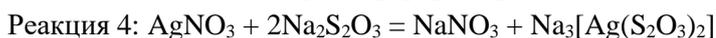
Пункт 5. Применяется в качестве легкого анестезирующего веществ в медицине (другие газообразные соединения азота, которые могли бы выделиться в этой реакции, в медицине не применяются).

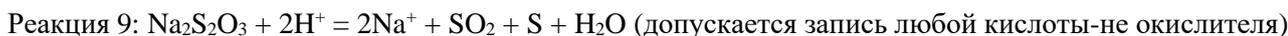
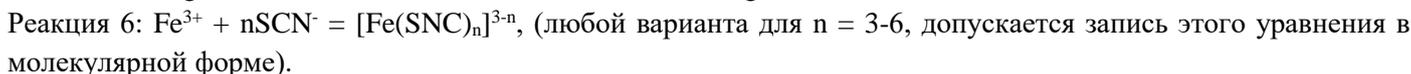
Пункт 6. При желании все формулы веществ можно подтвердить или определить с помощью приведённых массовых долей



Пункт 7. Количество KI_3 : $0,02\text{л} \cdot 0,1\text{M} = 0,002$ моль. По уравнению реакции 8, количество тиосульфата натрия в 2 раза больше, $0,004$ моль. Тогда его молярная концентрация $C_m = n/V = 0,004/0,01 = 0,4$ моль/л.

Пункт 8. Реакции:





Критерии

Установлены молекулярные формулы A, X, X₁ <i>Без расчета 1 балл за вещество</i>	3 × 2 = 6 баллов
Приведена структурная формула X	1 балл
Установлены молекулярные формулы B, Z	2 × 1 = 2 балла
Указано применение Z в медицине	1 балл
Установлены зашифрованные вещества K, D-I	7 × 2 = 14 баллов
Определена молярная концентрация раствора X	3 балла
Написаны уравнения реакций 1-9	9 × 2 = 18 баллов

Сумма: **45 баллов**

Задача 9.2

Решение легче всего начинать с определения вещества **IV**. Найдем количество вещества $n = V/V_m = 50/22,4 = 2,23$ моль. $M(\text{IV}) = m/n = 38/2,23 = 17$ г/моль. Так как по условию в состав входят 4 атома, а один из элементов - водород, то единственным подходящим вариантом остается **NH₃**. Далее вычислим на основании данных об относительной плотности веществ $M(\text{I})$, $M(\text{III})$, $M(\text{IX})$, $M(\text{V})$:

$$M(\text{I}) = D_{\text{IV}}(\text{I}) \cdot M(\text{IV}) = 4,94 \cdot 17 = 84 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{III}) = D_{\text{I}}(\text{III}) \cdot M(\text{I}) = 0,762 \cdot 84 = 64 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{IX}) = D_{\text{III}}(\text{IX}) \cdot M(\text{III}) = 0,656 \cdot 64 = 42 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{V}) = D_{\text{IX}}(\text{V}) \cdot M(\text{IX}) = 2,48 \cdot 42 = 104 \text{ г/моль}$$

I: в состав входит только один элемент с молекулярной массой 84 г/моль, значит формула **Kr**

III: в состав входит кислород, и молекула состоит из 3ех атомов, которые в сумме дают массу 64 г/моль, значит формула **SO₂**

IX: состоит из C и H, в сумме 9 атомов дают массу 42 г/моль. Из вариантов **CH₃₀**, **C₂H₁₈**, **C₃H₆**. Реальной молекулой, подходящей под описание, является только **C₃H₆**

V: **AB₄**, **A₂B₃** возможные формулы вещества **V**. Так как мы не знаем какой из элементов тяжелее, то составим 2 системы уравнений:

$$\begin{cases} |M(\text{A}) - M(\text{B})| = 9 \\ M(\text{A}) + 4M(\text{B}) = 104 \end{cases} \quad \begin{cases} |M(\text{A}) - M(\text{B})| = 9 \\ 2M(\text{A}) + 3M(\text{B}) = 104 \end{cases}$$

При раскрытии модуля получаются 4 системы с соответствующими решениями:

$$\begin{cases} M(\text{A}) - M(\text{B}) = 9 \\ M(\text{A}) + 4M(\text{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\text{A}) = 28, M(\text{B}) = 19$$

$$\begin{cases} M(\text{B}) - M(\text{A}) = 9 \\ M(\text{A}) + 4M(\text{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\text{A}) = 13,6, M(\text{B}) = 22,6$$

$$\begin{cases} M(\text{A}) - M(\text{B}) = 9 \\ 2M(\text{A}) + 3M(\text{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\text{A}) = 26,2, M(\text{B}) = 17,2$$

$$\begin{cases} M(\text{B}) - M(\text{A}) = 9 \\ 2M(\text{A}) + 3M(\text{B}) = 104 \end{cases} \quad M(\text{A}) = 15,4, M(\text{B}) = 24,4$$

Таким образом, подходящий вариант **SiF₄**

Теперь перейдем к определению молекулярных масс **VI**, **VII**, **X**. Для этого решаем систему из 3ех уравнений:

$$\begin{cases} Mr(\text{VI}) + Mr(\text{VII}) = 438.5 \\ Mr(\text{VII}) + Mr(\text{X}) = 450 \\ Mr(\text{X}) + Mr(\text{VI}) = 428.5 \end{cases} \quad \text{Таким образом, } Mr(\text{VI})=208.5, Mr(\text{VII})=230, Mr(\text{X})=220$$

VI: Содержит фосфор, $Mr(\text{VI})=208.5$, в сумме 6 атомов. Факты наводят на общую формулу $\text{P}n\text{H}a\text{l}_5$, а молекулярная масса ограничивает нас вариантом PCl_5

VII: Оксид неизвестного неметалла с массой 230. Т.к. число атомов = 7, то речь идет об оксиде элемента из пятой группы. Ответ: As_2O_5

X: Оксид фосфора, включающий 10 атомов, значит формула P_4O_6

Далее определим оставшиеся 2 вещества **II** и **VIII**

$$Mr(\text{II}) = Mr(\text{VIII}) = \frac{Mr(\text{VI}) + Mr(\text{VII}) + Mr(\text{X})}{23.5} = 28$$

II: Так как это оксид углерода, то подходит только CO

VIII: Водородное соединение неизвестного элемента **Y**, имеет массу **28** и включает **8** атомов. Можно составить несколько виртуальных формул H_2Y_6 , H_6Y_2 , H_3Y_5 , H_5Y_3 , HY_7 , H_7Y . Под описание подходит H_6Y_2 , $Ar(\text{Y})=11$, тогда ответ B_2H_6

Пункт 1. Молекулярные формулы и массы зашифрованных веществ:

№	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Mr	84	28	64	17	104	208,5	230	28	42	220
Ф-ла	Kr	CO	SO₂	NH₃	SiF₄	PCl₅	As₂O₅	B₂H₆	C₃H₆	P₄O₆

Пункт 2. Реакции:

Реакция 1: $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$

Реакция 2: $\text{As}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{AsO}_4$

Реакция 3: $\text{B}_2\text{H}_6 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{BO}_3 + 6\text{H}_2$

Критерии

Установлены молекулярные массы I-X	1 × 10 = 10 баллов
Установлены молекулярные формулы I-X	1 × 10 = 10 баллов
Написаны уравнения реакций 1-3	2 × 3 = 6 баллов

Сумма: **26 баллов**

Задача 9.3

Пункт 1. Рассчитаем, например, массовое содержание добавок в белой соли. Для этого выразим их массы в килограммах — тогда масса **A** составит 0.0007 кг, а масса **B** — 0.001 кг. Теперь разделим эти величины на массу взятой для эксперимента белой соли — то есть на 3.5 кг, а затем умножим на 100 % — получим 0.02 % (0,2г) для **A** и примерно 0.03 % (0,3 г) для **B**. Аналогично можно рассчитать, что массовая доля **C** в розовой соли составляет примерно 0.07 % (0,7 г), а массовая доля **D** в черной соли — 0.7 % (7 г)

Пункт 2. Ляпис — это одно из тривиальных названий нитрата серебра. Выпадение белого творожистого осадка (хлорида серебра) при его взаимодействии с **X** свидетельствует о том, что в состав **X** входит хлорид-анион. При внесении **X** в пламя оно окрашивается в желтый цвет, что, в свою очередь, свидетельствует о наличии в составе **X** катиона натрия. Таким образом, можно сделать вывод, что **X** — это хлорид натрия NaCl .

Определим вещество **A**. То, что при нагревании оно теряет массу, пока ни о чем не говорит. Однако можно заметить, что перекись водорода — это достаточно сильный окислитель и, соответственно, образование темно-оранжевой окраски раствора **E** после добавления перекиси может свидетельствовать об образовании триiodид-аниона — I_3^- . То есть можно сделать вывод, что при добавлении перекиси образуется иод, который реагирует с **E**, поскольку перекись взята в недостатке. Значит, **E** — это некоторый иодид. Относительная атомная масса иода довольно велика, поэтому рассчитаем молекулярную массу **E** в предположении, что массовая доля иода равна 76.51 % — для этого надо поделим $M(\text{I})/0.7651 = 126.9/0.7651 = 166$. Вычтем из 166 относительную

атомную массу иода и получим 39.1, что соответствует калию. Значит, **Е** — это иодид калия. Он образуется при сильном прокаливании 0.700 г **А**, при этом остается 0.543 г **Е**. Количество **Е**, таким образом, равно 3.27 ммоль. Допустим, что формула **А** — это KIY , где **Y** — это некоторый неизвестный фрагмент. Тогда его относительную молекулярную массу можно найти, разделив потерю массы при прокаливании на количество иодида калия — мы получим 48 а.е.м. Элемента с такой молекулярной массой нет, но если разделить на 3, то получится 16, что соответствует относительной атомной массе кислорода. Таким образом, формула **А** — это KIO_3 . Черный цвет пищевой соли из третьей пачки, а также то, что из нее было получено простое вещество, дают возможность предположить, что **Д** — это уголь. Также об этом свидетельствует то, что при сгорании **Д** образуется вещество, которое дает белый осадок с известковым молоком. Тогда смесь газов, которая образовалась при сжигании **Д** — это CO и CO_2 , что можно проверить впоследствии.

Бурое бинарное вещество **С** реагирует с углем при нагревании, при этом образуется простое вещество серого цвета. Часто подобная реакция подразумевает восстановление оксидов металлов, соответственно, можно предположить, что **С** — это оксид некоторого металла. Цвет **С** позволяет предположить, что это оксид железа (III), что можно проверить, ведь в задаче указано, что при прокаливании 400 мг **С** с избытком угля происходит потеря массы в 210.5 мг. Количество оксида железа равно 2.5 ммоль, и тогда количество образующегося угарного газа равно 7.5 ммоль (см. реакцию **10**), а его масса — как раз 210 мг. Итак, **С** — это оксид железа (III) — Fe_2O_3 , а **Г** — это само железо Fe . При его растворении в разбавленной серной кислоте образуется сульфат железа (III), который тоже может окислять иодид калия — реакция **3**.

Сказано, что при взаимодействии раствора Fe_2O_3 в серной кислоте с веществом **В** выпадает синий осадок. Эта реакция является качественной на определение ионов железа (III), и реагент, который для нее используется — это желтая кровяная соль. Попробуем рассчитать ее формулу исходя из данного в задаче состава: 42.48 % калия, 19.56 % **Д** (углерод), 22.81 % азота и 15.15 % **Г** (железо). Поделим эти проценты на молярные массы соответствующих элементов (которые округлены до десятых), тогда получим следующее соотношение — калий : углерод : азот : железо = $1.086 : 1.63 : 1.63 : 0.272$. Разделим каждый член этого соотношения на индекс железа (на 0.272), тогда получим, что калий : углерод : азот : железо = $3.993 : 5.99 : 5.99 : 1$. Тогда брутто-формулу соединения можно записать как $K_4FeC_6N_6$, или $K_4[Fe(CN)_6]$. Это соединение и дает с ионами железа (III) синий осадок $KFe[Fe(CN)_6]$ (вещество **Ф**, реакция **6**), массовая доля железа в котором равна 36.39%.

Таким образом, можно однозначно расшифровать все вещества:

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Х
KIO_3	$K_4[Fe(CN)_6]$	Fe_2O_3	С	KI	$KFe[Fe(CN)_6]$	Fe	$NaCl$

Пункт 3. Запишем все реакции, зашифрованные в задаче, согласно их номерам:

- $NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl$
- $2KIO_3 = 2KI + 3O_2$
- $3KI + H_2O_2 = KI_3 + 2KOH$
- $Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$
- $Fe_2(SO_4)_3 + 3KI = 2FeSO_4 + KI_3 + K_2SO_4$
- $Fe_2(SO_4)_3 + 2K_4[Fe(CN)_6] = 2KFe[Fe(CN)_6] + 3K_2SO_4$
- $2C + O_2 = 2CO$ (данная реакция может быть под номером 8)
- $C + O_2 = CO_2$
- $CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O$
- $Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$

Пункт 4. Состав газовой смеси можно найти двумя способами — рассмотрим оба. С одной стороны, можно найти количество $CaCO_3$ — оно равно 0.222 моль. Значит, и количество образовавшегося CO_2 равно 0.222 моль, а масса углерода в этом газе равна 2.664 г. Значит, масса углерода в угарном газе равна $3.500 - 2.664 = 0.836$ г, количество углерода равно 0.070 моль, а значит и количество CO равно 0.070 моль. Значит, объемная доля CO равна $0.070/0.292 = 0.24$. В таком случае, объемная доля CO_2 равна 0.76. С другой стороны, зная, что плотность смеси угарного и углекислого газов по воздуху равна 1.42 (а значит молярная масса смеси равна $29 \text{ г/моль} \cdot 1.42 = 41.18 \text{ г/моль}$), можно составить уравнение, приняв за x , например, объемную долю угарного газа:

$$28x + 44(1 - x) = 41.18$$

Решение этого уравнения дает те же значения объемных долей.

Пункт 5. Иодат калия KIO_3 добавляется в пищевую соль как иодирующая добавка, предназначенная для восполнения недостатка иода в организме людей. Желтая кровяная соль $K_4[Fe(CN)_6]$ добавляется затем, чтобы при хранении пищевая соль не слеживалась и не образовывала комочки, поэтому $K_4[Fe(CN)_6]$ называют анти-слеживающим агентом.

Критерии

Рассчитаны массовые содержания четырех добавок	1 × 4 = 4 балла
Расшифрованы 8 веществ A – G, X <i>в качестве B и F засчитываются также составы $K_4FeC_6N_6$ и $KFe_2C_6N_6$</i>	2 × 8 = 16 баллов
Написаны уравнения реакций 1 – 10 <i>при ошибке в коэффициентах 0 баллов</i>	1 × 10 = 10 баллов
Рассчитан объемный состав смеси угарного и углекислого газа	3 балла
Указано, с какой целью в пищевую соль добавляются KIO_3 и $K_4[Fe(CN)_6]$	1 × 2 = 2 балла
Сумма: 35 баллов	



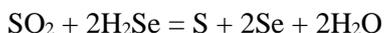
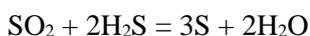
Всероссийская химическая олимпиада
«Формула Единства» / «Третье тысячелетие»
2020-2021 учебный год. Отборочный этап

Решения задач для 10 класса с критериями

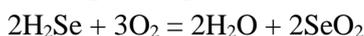
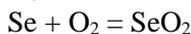
Задача 10.1

Пункт 1. Реакция «дым без огня», при которой из газообразных веществ образуется твердое – образование хлорида аммония из аммиака и хлороводорода. **ABC** – NH_4Cl , **AB** – NH_3 , **BC** – HCl (по условию газ **AB** легче газа **BC**). Желтое твердое вещество **D** – сера, вещество **BE** – вода. Тогда **DE** – SO_2 , **BD** – H_2S .

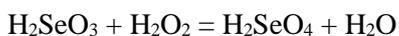
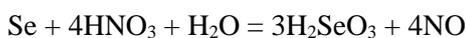
Определим **BG**: это водородное соединение, так как под буквой **B** зашифрован водород, при этом его плотность по водороду 40.5. $M(\text{BG}) = 81$ г/моль, под такую молярную массу подходит H_2Se . **BG** – H_2Se , **G** – Se.



Пункт 2. Определим вещество **1**: $M(1) = M(\text{BG}) + 30 = 111$ г/моль, это SeO_2 .



Пункт 3. Кислота **2**, очевидно, H_2SeO_3 . При взаимодействии с перекисью водорода образуется кислота **3** – H_2SeO_4 . Соль **4** – селенат золота (III), при растворении золота в сильных окислителях образуется соли трехвалентного золота.



Критерии

Определены вещества **AB, BC, ABC, BD, BE, D, DE, G, GB**

1 × 9 = 9 баллов

Если состав вещества **GB** не подтвержден расчетом, то за него 0 баллов

Определены вещества **1 – 4**

2 × 4 = 8 баллов

Написаны уравнения 9 реакций

1 × 9 = 9 баллов

Если реакция не уравнена, то за нее 0 баллов

Сумма: **26 баллов**

Задача 10.2

Пункт 1. I — ионная сила имеет размерность [моль/л], т.к. вычисляется из молярной концентрации соответствующих ионов. Если ионная сила электролита равна 0, то $\log S = \beta$. Таким образом, β — логарифм растворимости осаждаемого вещества в чистом растворителе, логарифм — безразмерная величина, в отличие от параметра S_0 , который обозначает саму растворимость вещества в чистом растворителе и имеет размерность, аналогичную величине S , [г/мл]. Справа в рассматриваемом выражении должна стоять безразмерная величина, т.к. параметр β безразмерен, то и произведение $K_S I$ должно быть безразмерной величиной. Следовательно, размерность K_S — [л/моль].

Пункт 2. Молярная концентрация не зависит от объёма раствора. Рассчитаем растворимость uCl в чистом растворителе S_0 , как было определено выше: $\log S_0 = \beta$, таким образом $S_0 = 10^\beta$, что равно: $S_0 = 0.565$ г/мл. Для расчёта молярной концентрации воспользуемся следующей формулой: $C_M(\text{uCl}) = \rho / M_{\text{uCl}}$, где M_{uCl} — молярная масса хлоруридина ($\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{ClN}_2\text{O}_5$), которая равна 276.5 г/моль. Таким образом, $C_M(\text{uCl}) = 2.04$ моль/л.

Пункт 3. Рассчитаем растворимость сульфата аммония при 22 °C по приведённой формуле:

$$P = 70.19 + 0.244 \cdot 22 + 7.21 \cdot 10^{-4} \cdot 22^2 = 75.9 \text{ г/100 г воды}$$

Рассчитаем массовую долю соли в данном растворе:

$$\omega = \frac{75.9}{100+75.9} = 0.431$$

Рассчитаем плотность раствора сульфата аммония при 22 °С по приведённой формуле:

$$\rho = 1.00 + 5.57 \cdot 10^{-3} \cdot 75.9 - 1.85 \cdot 10^{-5} \cdot 75.9^2 = 1.316 \text{ г/мл}$$

Рассчитаем молярную концентрацию сульфата аммония в анализируемом растворе:

$$C_M(\text{соли}) = \frac{n_{\text{соли}}}{V_{\Sigma}} = \frac{m_{\text{соли}}}{M_{\text{соли}} V_{\Sigma}} = \frac{\rho V_{\text{соли}} \omega}{M_{\text{соли}} (V_{\text{воды}} + V_{\text{соли}})}$$

$$C_M(\text{соли}) = \frac{1.316 \cdot 4.20 \cdot 0.431}{132} \frac{1}{(8.96 + 4.20)} \cdot 10^3 = 1.37 \text{ моль/л}$$

Рассчитаем ионную силу раствора сульфата аммония:

$$I = \frac{1}{2} \sum z_i^2 C_i = \frac{1}{2} ((+1)^2 \cdot 2 \cdot 1.37 + (-2)^2 \cdot 1.37) = 4.11 \text{ моль/л}$$

Подставим полученное выражение в уравнение Сеченова и выразим растворимость:

$$S = 10^{(\beta - K_s I)} = 10^{(-0.248 - 0.215 \cdot 4.11)} = 10^{-1.13} = 7.4 \cdot 10^{-2} \text{ г/мл}$$

Таким образом, растворимость уменьшится в $S_0/S = 7.6$ раз.

Пункт 4. Проанализируем уравнение Сеченова, чем больше ионная сила, тем сильнее проявляется эффект высаливания. Следовательно, нужно увеличить молярную концентрацию соли в анализируемом растворе, это можно сделать 2 способами: 1) добавить больше сульфата аммония, 2) увеличить температуру в разумных пределах, т.к. растворимость сульфата аммония увеличивается с повышением температуры.

Критерии

Определён физический смысл величины β	2 балла
Определены размерности величин β , K_s и I	1 × 3 = 3 балла
Рассчитана молярная растворимость uCl в чистой воде	3 балла
Рассчитана молярная концентрация сульфата аммония в анализируемом растворе	5 баллов
Рассчитана ионная сила раствора	2 балла
Рассчитана растворимость uCl после добавления сульфата аммония	3 балла
Определено, во сколько раз уменьшается растворимость	2 балла
Предложены способы уменьшения растворимости без изменения природы веществ	2 × 3 = 6 баллов

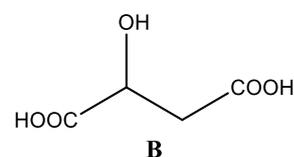
Сумма: 26 баллов

Задача 10.3

Пункт 1. Газ, очевидно, CO₂. Его количество 0.004 моль. Пусть кислота содержит n атомов углерода, n(A) = n(CO₂)/n = 0.004/n, M(A) = 45n. При n = 2 получаем щавелевую кислоту, A = HOOC–COOH, H₂C₂O₄

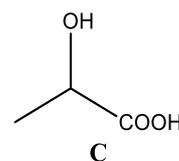


Пункт 2. Способность окисляться сернокислым раствором перманганата калия, взаимодействовать с бромоводородом и вступать в реакции поликонденсации свидетельствует о том, что **B** и **C** помимо кислотных содержат также спиртовые группы (аминогруппа невозможна, так как в молекулах содержатся только 3 элемента, это водород, углерод и кислород). Определим **B** по данным титрования: n(NaOH) = 0.00176 моль, n(B) = n(NaOH)/n = 0.00176/n, M(A) = 67n. Видим, что n должно быть четным, при n = 2, получаем разумный вариант.



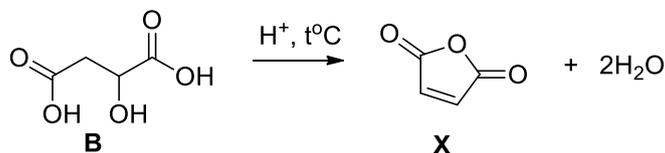
Определим кислоту **C**: на ее нейтрализацию требуется в 2 раза меньше щелочи, скорее всего она имеет такую же молярную массу, как **A**, но при этом является одноосновной. Учитывая, что **C** содержит спиртовой гидроксил, получаем формулу.

Именно 2-гидроксипропановая кислота является продуктом распада глюкозы в организме, а также ее тривиальное название связано с пищевым продуктом.

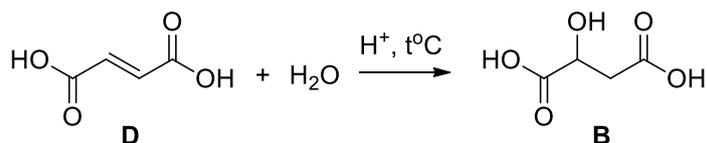
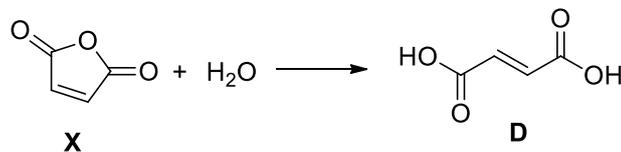


Пункт 3. **A** – щавелевая кислота, **B** – яблочная кислота, **C** – молочная кислота.

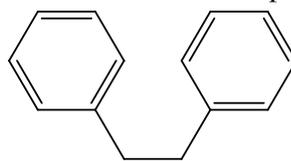
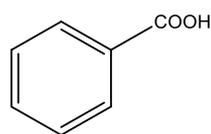
Пункт 4. Потеря массы 26.87% соответствует отщеплению двух молекул воды от одной молекулы кислоты **B**. Это возможно только в том случае, если получится циклический ангидрид, при этом спиртовой гидроксил также отщепится с образованием двойной связи C=C. Соединение **X** – ангидрид малеиновой кислоты.



Тогда **D** – малеиновая кислота, которая в сильноокислой среде может присоединить воду и снова превратиться в яблочную кислоту (**B**).



Пункт 5. Из данных о массовой доле углерода можно установить, что брутто-формула **Y** – $(\text{CH})_x$. Зная диапазон молярных масс (168 – 202), видим, что x может быть равен 13, 14, 15. При этом углеводород не может иметь нечетное число водородов, поэтому **Y** – $\text{C}_{14}\text{H}_{14}$. Скорее всего, соединение содержит ароматические фрагменты, тогда кислота **E** – бензойная кислота, которая часто образуется при окислении ароматических углеводов и используется в качестве консерванта в пищевой химии. **Y** – 1,2-дифенилэтан.



Критерии

Определены вещества A – E <i>Если состав веществ A, B не подтвержден расчетом, за них 0 баллов</i>	5 × 4 = 20 баллов
Определены вещества X, Y <i>Если состав веществ X, Y не подтвержден расчетом, за них 0 баллов</i>	2 × 3 = 6 баллов
Указаны условия превращения D в B	1 × 1 = 1 балл
Написаны уравнения 3 реакций <i>Если реакция не уравнена, то за нее 0 баллов</i>	1 × 3 = 3 балла
Сумма: 30 баллов	



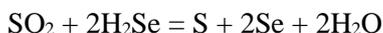
Всероссийская химическая олимпиада
«Формула Единства» / «Третье тысячелетие»
2020-2021 учебный год. Отборочный этап

Решения задач для 11 класса с критериями

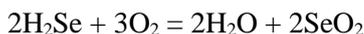
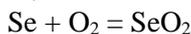
Задача 11.1

Пункт 1. Реакция «дым без огня», при которой из газообразных веществ образуется твердое – образование хлорида аммония из аммиака и хлороводорода. **ABC** – NH_4Cl , **AB** – NH_3 , **BC** – HCl (по условию газ **AB** легче газа **BC**). Желтое твердое вещество **D** – сера, вещество **BE** – вода. Тогда **DE** – SO_2 , **BD** – H_2S .

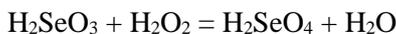
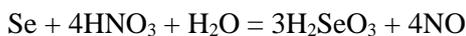
Определим **BG**: это водородное соединение, так как под буквой **B** зашифрован водород, при этом его плотность по водороду 40.5. $M(\text{BG}) = 81$ г/моль, под такую молярную массу подходит H_2Se . **BG** – H_2Se , **G** – Se.



Пункт 2. Определим вещество **1**: $M(1) = M(\text{BG}) + 30 = 111$ г/моль, это SeO_2 .



Пункт 3. Кислота **2**, очевидно, H_2SeO_3 . При взаимодействии с перекисью водорода образуется кислота **3** – H_2SeO_4 . Соль **4** – селенат золота (III), при растворении золота в сильных окислителях образуется соли трехвалентного золота.



Критерии

Определены вещества **AB, BC, ABC, BD, BE, D, DE, G, GB**

1 × 9 = 9 баллов

Если состав вещества **GB** не подтвержден расчетом, то за него 0 баллов

Определены вещества **1 – 4**

2 × 4 = 8 баллов

Написаны уравнения 9 реакций

1 × 9 = 9 баллов

Если реакция не уравнена, то за нее 0 баллов

Сумма: **26 баллов**

Задача 11.2

Пункт 1. I — ионная сила имеет размерность [моль/л], т.к. вычисляется из молярной концентрации соответствующих ионов. Если ионная сила электролита равна 0, то $\log S = \beta$. Таким образом, β — логарифм растворимости осаждаемого вещества в чистом растворителе, логарифм — безразмерная величина, в отличие от параметра S_0 , который обозначает саму растворимость вещества в чистом растворителе и имеет размерность, аналогичную величине S , [г/мл]. Справа в рассматриваемом выражении должна стоять безразмерная величина, т.к. параметр β безразмерен, то и произведение $K_s I$ должно быть безразмерной величиной. Следовательно, размерность K_s — [л/моль].

Пункт 2. Молярная концентрация не зависит от объёма раствора. Рассчитаем растворимость uCl в чистом растворителе S_0 , как было определено выше: $\log S_0 = \beta$, таким образом $S_0 = 10^\beta$, что равно: $S_0 = 0.565$ г/мл. Для расчёта молярной концентрации воспользуемся следующей формулой: $C_M(\text{uCl}) = \rho / M_{\text{uCl}}$, где M_{uCl} — молярная масса хлоруридина ($\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{ClN}_2\text{O}_5$), которая равна 276.5 г/моль. Таким образом, $C_M(\text{uCl}) = 2.04$ моль/л.

Пункт 3. Рассчитаем растворимость сульфата аммония при 22 °C по приведённой формуле:

$$P = 70.19 + 0.244 \cdot 22 + 7.21 \cdot 10^{-4} \cdot 22^2 = 75.9 \text{ г/100 г воды}$$

Рассчитаем массовую долю соли в данном растворе:

$$\omega = \frac{75.9}{100+75.9} = 0.431$$

Рассчитаем плотность раствора сульфата аммония при 22 °С по приведённой формуле:

$$\rho = 1.00 + 5.57 \cdot 10^{-3} \cdot 75.9 - 1.85 \cdot 10^{-5} \cdot 75.9^2 = 1.316 \text{ г/мл}$$

Рассчитаем молярную концентрацию сульфата аммония в анализируемом растворе:

$$C_M(\text{соли}) = \frac{n_{\text{соли}}}{V_{\Sigma}} = \frac{m_{\text{соли}}}{M_{\text{соли}} V_{\Sigma}} = \frac{\rho V_{\text{соли}} \omega}{M_{\text{соли}} (V_{\text{воды}} + V_{\text{соли}})}$$

$$C_M(\text{соли}) = \frac{1.316 \cdot 4.20 \cdot 0.431}{132} \frac{1}{(8.96 + 4.20)} \cdot 10^3 = 1.37 \text{ моль/л}$$

Рассчитаем ионную силу раствора сульфата аммония:

$$I = \frac{1}{2} \sum z_i^2 C_i = \frac{1}{2} ((+1)^2 \cdot 2 \cdot 1.37 + (-2)^2 \cdot 1.37) = 4.11 \text{ моль/л}$$

Подставим полученное выражение в уравнение Сеченова и выразим растворимость:

$$S = 10^{(\beta - K_s I)} = 10^{(-0.248 - 0.215 \cdot 4.11)} = 10^{-1.13} = 7.4 \cdot 10^{-2} \text{ г/мл}$$

Таким образом, растворимость уменьшится в $S_0/S = 7.6$ раз.

Пункт 4. Проанализируем уравнение Сеченова, чем больше ионная сила, тем сильнее проявляется эффект высаливания. Следовательно, нужно увеличить молярную концентрацию соли в анализируемом растворе, это можно сделать 2 способами: 1) добавить больше сульфата аммония, 2) увеличить температуру в разумных пределах, т.к. растворимость сульфата аммония увеличивается с повышением температуры.

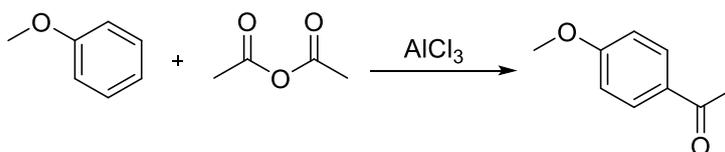
Критерии

Определён физический смысл величины β	2 балла
Определены размерности величин β , K_s и I	1 × 3 = 3 балла
Рассчитана молярная растворимость uCl в чистой воде	3 балла
Рассчитана молярная концентрация сульфата аммония в анализируемом растворе	5 баллов
Рассчитана ионная сила раствора	2 балла
Рассчитана растворимость uCl после добавления сульфата аммония	3 балла
Определено, во сколько раз уменьшается растворимость	2 балла
Предложены способы уменьшения растворимости без изменения природы веществ	2 × 3 = 6 баллов

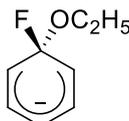
Сумма: 26 баллов

Задача 11.3

Пункт 1. Классическое электрофильное замещение:



Пункт 2. Комплекс Мезенгеймера – первый атом углерода находится в sp^3 -гибридизации, а отрицательный заряд делокализован по кольцу.



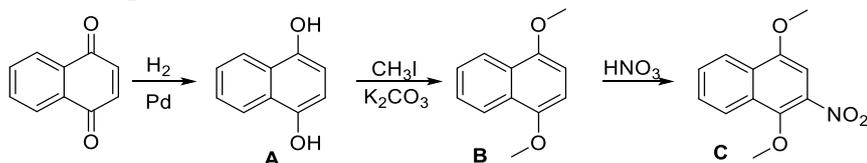
Пункт 3. Нуклеофильное замещение значительно облегчается, если в бензольном ядре присутствует достаточно сильный электроноакцепторный заместитель (-M и -I-заместители). Таким образом, заместители, дезактивирующие арены к электрофильному замещению, активируют его к нуклеофильному замещению, и наоборот.

В зачёт идут любые ответы с корректным описанием того, что -M и -I-заместители облегчают протекание нуклеофильного замещения.

Пункт 4. Первая стадия – восстановление нафтохинона. Формально может получиться несколько продуктов его восстановления. Чтобы определить правильный, надо: а) посмотреть на структуру вещества X; б) сравнить молекулярную формулу вещества С с формулой исходного соединения и проанализировать реакции его получения.

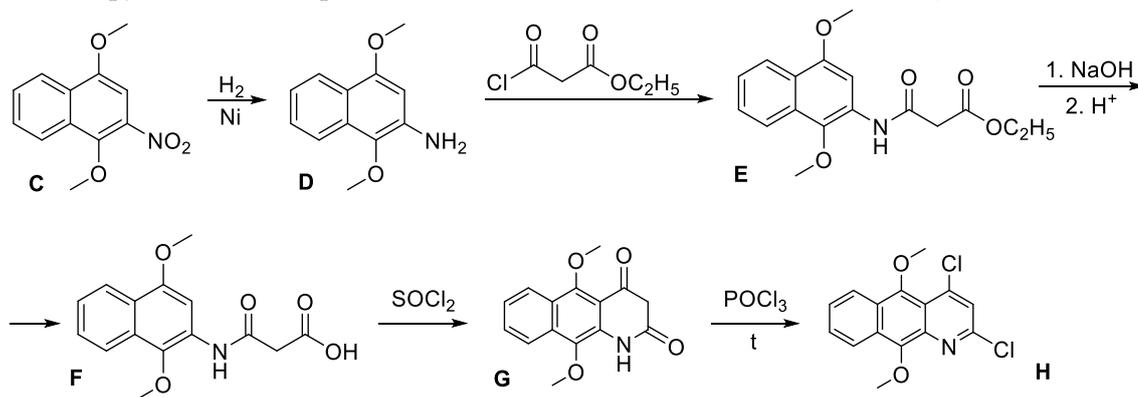
Формула нафтохинона – $C_{10}H_6O_2$. Соединение С содержит на два атома углерода больше. Введение новых атомов углерода возможно только на стадии метилирования, следовательно, в реакцию вступило 2 экв. CH_3I . При этом метильные группы замещают атомы водорода, т. е. «прирост» в молекулярной формуле – C_2H_4 . На стадии нитрования в молекулу вводится одна нитрогруппа (один атом азота в С) вместо атома водорода. Тогда молекулярная формула А – $C_{10}H_8O_2$. То есть прогидрировалась одна двойная связь. Очевидно, это связь $C=C$ в хиноидном цикле.

Вследствие кето-енольной таутомерии кето- группы в гидрированном нафтохиноне могут изомеризоваться в енольные. При этом происходит ароматизация второго 6-членного цикла, что и является движущей силой процесса. Итак, А – 1,4-дигидрокси-нафталин, В – 1,4-диметокси-нафталин, а С – 2-нитро-1,4-диметокси-нафталин. Действительно, X содержит фрагмент диметокси-нафталина, содержащего атом азота в том же кольце, что и метокси-группы.

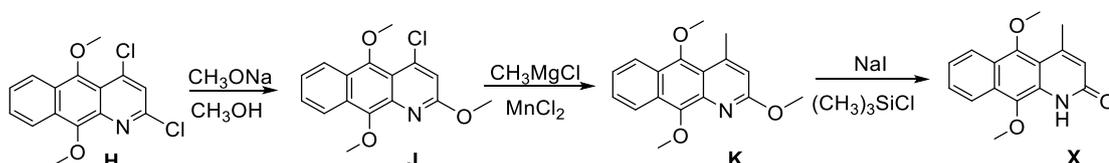


Аналогичное сравнение формул С и Е, а также общая логика позволяют сделать вывод, что D – продукт восстановления нитрогруппы до аминогруппы, а Е образуется в результате ацилирования аминогруппы ацилхлоридом.

Соединение Н ($C_{15}H_{11}Cl_2NO_2$) содержит на два атома углерода меньше, чем Е. Это – результат гидролиза сложной эфирной функции на стадии образования F ($C_{15}H_{15}NO_5$). Различие в молекулярных формулах F и Н обусловлено: а) отщеплением еще одной молекулы воды; б) замещением двух групп $-OH$ на Cl . Опять же, из приведенной структуры соединения X логично сделать вывод, что образование Н включает в себя циклизацию с образованием третьего, пиридинового цикла, протекающую с отщеплением молекулы воды. При этом должен образоваться диметокси-нафтопиридин-2,4(1H,3H)-дион, таутомерной формой которого является 2,4-дигидрокси-пиридин. Формальное замещение этих $-OH$ групп на атомы хлора и дает Н (на самом деле $POCl_3$ реагирует именно с кето- группами, но с образованием именно двойной связи $C=C$ или $C=N$).



Завершает синтез X нуклеофильное замещение одного из атомов хлора на метокси- группу, а второго – на метильную группу. Какой из атомов замещается в каждом случае, легко понять, посмотрев на структуру X. Наконец, обработка K иодидом натрия и Me_3SiCl приводит к отщеплению метила из метокси-группы с образованием X.



Критерии

Верная реакция электрофильного замещения в пункте 1	1 балла
Правильная структура комплекса Мейзенгеймера	2 балла
Корректное обоснование природы заместителей в пункте 3	2 балла
Приведены верные формулы соединений А-Е (5 штук)	2 × 5 = 10 баллов
Приведены верные формулы соединений F-К (5 штук)	3 × 5 = 15 баллов

Сумма: **30 баллов**