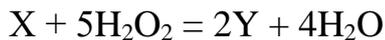




ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ. 2021–2022 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

Задания, решения и критерии оценки

1. В каждом из приведённых превращений участвует простое твёрдое вещество X, а образуется вещество Y. Используя уравнения химических реакций, установите вещества X и Y и запишите их формулы в ответ.

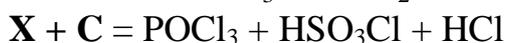
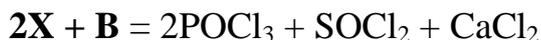


Формулы веществ запишите латинскими буквами, например, так: H_3PO_4

Ответ: X – I_2 , Y – HIO_3 .

2 балла – по 1 баллу за каждое вещество

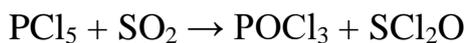
2. В каждом из приведённых превращений участвует одно и то же сложное вещество X. Используя правые части уравнений химических реакций, установите формулы всех неизвестных веществ.



Формулы веществ запишите латинскими буквами, например: CuSO_4

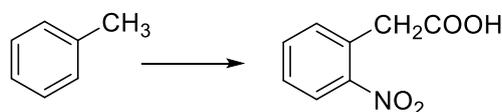
Ответ: X – PCl_5 , A – SO_2 , B – CaSO_3 , C – H_2SO_4 , D – H_3BO_3 или $\text{B}(\text{OH})_3$.

Решение.



5 баллов – по 1 баллу за каждое вещество

3. Расположите в правильном порядке стадии селективного синтеза *орто*-нитрофенилуксусной кислоты из толуола. Некоторые стадии могут использоваться несколько раз, а некоторые не использоваться совсем. На каждой стадии должен получаться только один органический продукт. В качестве ответа введите последовательность цифр без пробелов, например: 12344321.



- 1) NaCN
- 2) H₂SO₄ (конц.), t°
- 3) HNO₃ (конц.), H₂SO₄ (конц.), t°
- 4) Br₂ на свету
- 5) Br₂, FeBr₃, t°
- 6) H₂SO₄, H₂O, t°

Решение.

Для получения *орто*-нитротолуола, необходима защита *пара*-положения сульфированием. Карбоксильная группа вводится путём радикального бромирования метильной группы, нуклеофильного замещения с цианидом и кислотного гидролиза нитрила. Снятие сульфогруппы проводят кислотным гидролизом, который можно провести в любой момент после нитрования.

Ответ и критерии оценивания:

Варианты

236416

234616

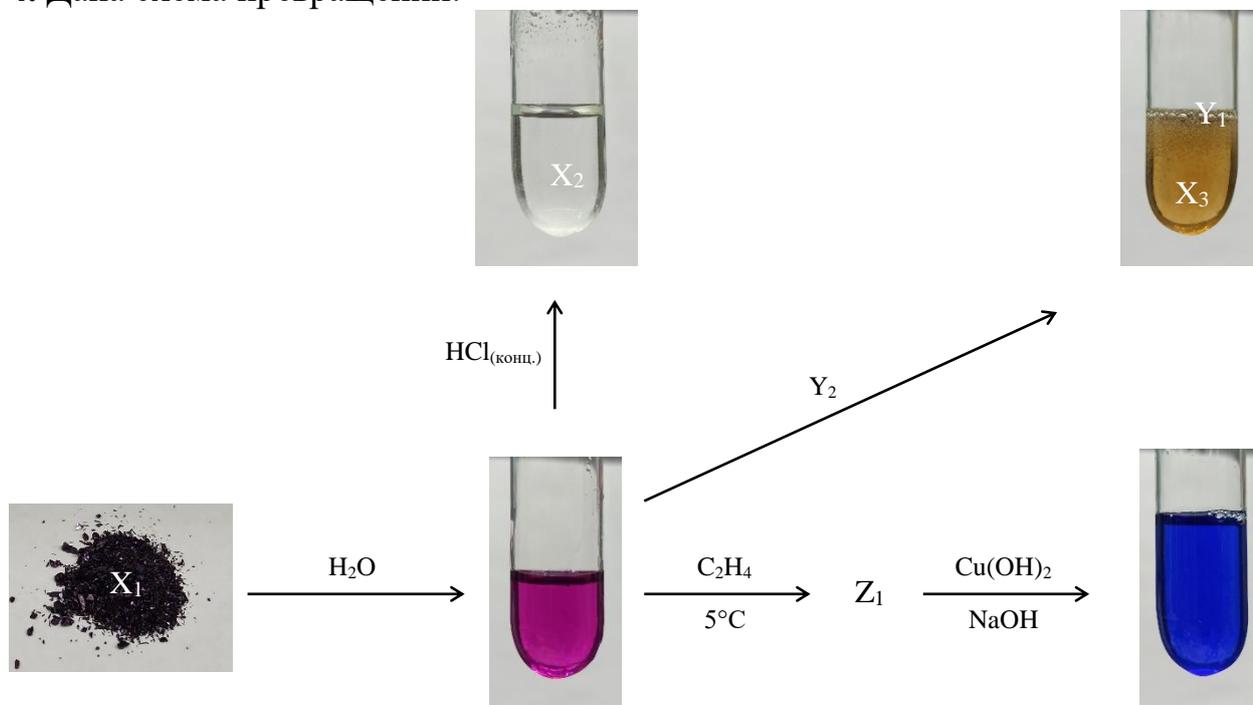
23416

оценивать полным баллом – **4 балла**

Если постановка сульфогруппы не использовалась (вариант 3416) – **2 балла**.

Остальные варианты – 0 баллов.

4. Дана схема превращений:



Также известно следующее:

- 1) Вещество X_1 окрашивает пламя в фиолетовый цвет.
- 2) При термическом разложении X_1 образуются вещества X_3 , X_4 и Y_1 .
- 3) Если проводить разложение X_1 при другом температурном режиме, то возможно образование соли X_5 , в которой массовая доля элемента, общего для всех веществ X_1 – X_5 , равна 23,3 %.
- 4) При растворении X_4 в воде образуются X_1 и X_3 .
- 5) Вещество Y_2 разлагается с образованием Y_1 при внесении в раствор Y_2 вещества X_3 .

Идентифицируйте все неизвестные вещества (X_1 – X_5 , Y_1 , Y_2 , Z_1), в ответе укажите их молярные массы (г/моль). Атомные массы элементов необходимо брать с точностью до целых, кроме хлора ($M(\text{Cl}) = 35,5$ г/моль).

Ответ:

	X_1	X_2	X_3	X_4
Вещество	KMnO_4	MnCl_2	MnO_2	K_2MnO_4
Молярная масса, г/моль	158	126	87	197
	X_5	Y_1	Y_2	Z_1
Вещество	K_3MnO_4	O_2	H_2O_2	$(\text{CH}_2\text{OH})_2$
Молярная масса, г/моль	236	32	34	62

4 балла – по 0,5 балла за каждый правильный ответ.

5. Ниже приведены правые части уравнений реакций соединений железа с азотной кислотой. Определите, какое соединение железа использовалось в каждом случае. Выберите формулы соединений из перечня: А) FeO , Б) Fe_3O_4 , В) Fe_2O_3 , Г) $\text{FeO}(\text{OH})$, Д) $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Е) $\text{Fe}(\text{OH})_3$

- 1) = $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 2) = $3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 5\text{H}_2\text{O}$
- 3) = $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) = $2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 5) = $3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$

Ответ и критерии оценивания:

- 1 – Е
- 2 – А
- 3 – Д
- 4 – В
- 5 – Б

3 балла – по 0,6 балла за каждый правильный ответ.

6. Раствор основания **В1** с концентрацией 0,1 М разбавили в 10 раз, при этом рН раствора изменился на 1,0. Раствор основания **В2** с концентрацией 0,1 М разбавили в 10 раз, при этом рН раствора изменился на 0,54.

а) Увеличился или уменьшился рН в обоих случаях?

б) Из приведённого перечня выберите формулы веществ **В1** и **В2**.

1) NaOH; 2) C₆H₅OH; 3) Cu(OH)₂; 4) Al(OH)₃; 5) (C₂H₅)₂NH; 6) PH₃

Ответ:

а) При разбавлении раствора сильного или слабого основания концентрация ионов [OH⁻] в растворе уменьшается, раствор становится менее щелочным, рН **уменьшается**.

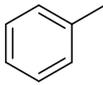
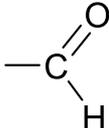
б) В1 – 1 (сильное основание); В2 – 5 (растворимое в воде слабое основание).

3 балла – по 1 баллу за каждый правильный ответ.

7. Органическое соединение **А** состоит из трёх элементов, массовая доля кислорода в нём равна 12,3 %, а молярная масса не превышает 150 г/моль. При взаимодействии вещества **А** с избытком аммиачного раствора оксида серебра выпадает осадок, который не реагирует с соляной кислотой. При окислении **А** перманганатом калия в присутствии серной кислоты образуются газ и карбоновая кислота, которая часто используется как консервант.

1) Найдите молекулярную формулу **А**.

2) Определите структуру **А**. Отметьте, какие фрагменты или функциональные группы есть в молекуле **А**.

$>C=C<$	$-C\equiv C-$		$-OH$		$-COOH$
1	2	3	4	5	6

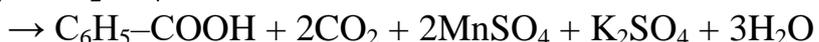
3) Сколько молей KMnO₄ потребуется для окисления 5 моль вещества **А** в сернокислом растворе? В ответ запишите целое число.

Ответ:

1) C₉H₆O (Комментарий: C₆H₅-C≡C-CHO)

2) Правильные ответы – 2, 3, 5.

3) C₆H₅-C≡C-CHO + 2KMnO₄ + 3H₂SO₄ →



n(KMnO₄) = 2 · 5 = 10 (моль)

4 балла – 1,5 балла за вопрос 1), 1,5 балла за вопрос 2) (+0,5 за каждый правильный ответ, -0,5 за каждый неправильный, но не меньше 0 за вопрос), 1 балл за вопрос 3.

8. Соль **A** массой 36,0 г растворили в воде, не допуская контакта раствора с воздухом. Если к образовавшемуся бесцветному раствору добавить избыток азотной кислоты, то у раствора появится окраска. При выпаривании полученного раствора образуется кристаллогидрат, в котором содержится 48,4 г безводной соли **B**. При термическом разложении соли **B** образуются твёрдое вещество и смесь двух газов, мольное соотношение компонентов в которой составляет 1 : 4. Разложение соли **A** при нагревании приводит к образованию таких же продуктов, что и в случае соли **B**, но в другом соотношении.

- 1) Какие соли были взяты? Укажите в ответе их молярные массы (в г/моль), атомные массы элементов необходимо брать с точностью до целых.
- 2) Определите с точностью до целых массу (в граммах) газовой смеси, выделяющейся при полном термическом разложении 36,0 г соли **A**.
- 3) Определите объёмную долю того компонента газовой смеси, образующейся при разложении соли **A**, которого меньше в смеси. Ответ укажите в процентах с точностью до целых.

Решение:

1) Так как после действия азотной кислоты на соль **A** качественный состав смеси продуктов разложения не поменялся, то можно сделать вывод, что соли **A** и **B** – нитраты некоторого металла с переменной валентностью, причём в **B** степень окисления металла выше, чем в **A**. С учётом того, что соль, содержащая катионы металла с меньшей степенью окисления, не окрашивает раствор, а другая соль окрашивает, то разумно предположить, что соль **A** – нитрат железа(II), а соль **B** – нитрат железа(III). Проверим этот вывод. Количества нитратов железа должны быть одинаковыми:

$$n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 36,0 \text{ г} : 180 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 48,4 \text{ г} : 242 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$$

Значит, наше предположение было верно. Соль **A** – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, соль **B** – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Молярная масса соли **A** равна 180 г/моль, соли **B** – 242 г/моль.

2) Газовая смесь, образующаяся при разложении обеих солей – это смесь кислорода и оксида азота (IV):



При разложении 0,2 моль нитрата железа (II) образуется 0,4 моль диоксида азота и 0,05 моль кислорода. Их массы равны:

$$m(\text{NO}_2) = 0,4 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 18,4 \text{ г}$$

$$m(\text{O}_2) = 0,05 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 1,6 \text{ г}$$

Масса газовой смеси:

$$m(\text{смесь}) = 18,4 \text{ г} + 1,6 \text{ г} = 20,0 \text{ г}$$

3) Объёмная доля кислорода (компонент смеси, которого образуется меньше) равна: $\varphi(\text{O}_2) = 1 : 9 \cdot 100\% \approx 11\%$.

Ответ:

1) $M(\text{A}) = 180$ г/моль

$M(\text{B}) = 242$ г/моль

2) $m(\text{смеси}) = 20$ г

3) $\varphi(\text{O}_2) = 11\%$

5 баллов – по 2 балла за вопросы 1) и 2) и 1 балл за вопрос 3).

9. Металл **A** не растворяется в азотной кислоте, но растворяется в царской водке. Если 6,00 г металла **A** растворить в царской водке, а затем добавить к полученному раствору избыток водного раствора хлорида аммония, то выпадет 13,65 г жёлтого осадка соли **B**. При сжигании 6,00 металла **A** в хлоре получается 8,18 г соединения **B**, плохо растворимого в воде. Если раствор металла **A** в царской водке упарить, а остаток прокалить в токе хлора при 300°C, то получится бинарное соединение **Г**, хорошо растворимое в воде. Известно, что массовая доля металла **A** в соединении **B** в 1,267 раза больше, чем в соединении **Г**. Определите формулы веществ **A–Г** и запишите их, используя английскую раскладку клавиатуры (пример: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Решение:

Нерастворимость металла в азотной кислоте, а также способность растворяться в царской водке говорят о том, что металл **A** является благородным. Поскольку при сжигании металла в хлоре может получиться только бинарное соединение (хлорид), определим формулу соединения **B**. Общая формула **B** может быть записана, как MeCl_n . Массовая доля металла в хлориде составляет $6,00/8,18=0,7335$. Составим уравнение относительно массовой доли металла в MeCl_n :

$$\begin{aligned}\omega(\text{Me}) &= \frac{M(\text{Me})}{M(\text{Me}) + n \cdot M(\text{Cl})}; \\ 0,7335 &= \frac{M(\text{Me})}{M(\text{Me}) + 35,5n}; \\ 0,2665M(\text{Me}) &= 26,04n; \\ M(\text{Me}) &= 97,7n\end{aligned}$$

При $n = 2$, находим, что молярная масса металла 195,4 г/моль, что соответствует платине. Таким образом, металл **A** – Pt, а соединение **B** – PtCl_2 .

Поскольку бинарное соединение **Г** получается при прокаливании в токе хлора, логично предположить, что **Г** – также является хлоридом платины. Массовая платины в **Г** будет составлять $0,7335/1,267 = 0,5789$. Тогда молярная масса

хлорида **Г** равна $195,1/0,5789 = 337$ г/моль, что соответствует хлориду платины (IV) PtCl_4 .

При растворении платины в царской водке образуется $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$, поэтому соль **Б**, по всей видимости, представляет собой гексахлороплатинат (IV) аммония $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$.

Действительно, массовая доля платины в соли **Б** $6,00/13,65 = 0,4395$ удовлетворяет данной формуле.

Ответ:

А – Pt

Б – $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ или $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ или $\text{N}_2\text{H}_8\text{PtCl}_6$

В – PtCl_2

Г – PtCl_4

4 балла – по 1 баллу за каждое вещество

10. Органическая соль **X** хорошо растворима в воде. Если к раствору **X** добавить нитрат серебра, то выпадет жёлтый осадок **A**, нерастворимый в аммиаке и азотной кислоте. Если нагреть соль **X** с гидроксидом натрия, то получатся вода, неорганическая соль **B** и органические вещества **Y** и **Z** (других органических веществ в данной реакции не образуется). Вещество **Y** представляет из себя газ (при н. у.), обесцвечивающий бромную воду и раствор перманганата калия, но не реагирующий с аммиачным раствором оксида серебра. При гидрировании вещества **Y** образуется насыщенный углеводород, каталитическим окислением которого раньше производили уксусную кислоту. Вещество **Z** представляет собой жидкость, практически нерастворимую в воде, но растворимую в водных растворах кислот. Вещество **Z** не реагирует с альдегидами и кетонами. Определите вещества **A**, **B**, **X**, **Y**, **Z**. Для веществ **A** и **B** приведите формулу, используя английскую раскладку клавиатуры. Для органических веществ **X**, **Y**, **Z** приведите молярные массы (г/моль), округлённые до целых.

Решение.

Выпадение жёлтого осадка нерастворимого в аммиаке и азотной кислоте осадка с серебром указывает на образование иодида серебра AgI (вещество **A**). Значит, соль **X** представляет собой иодид некоторого органического катиона. Логично предположить, что неорганическая соль **B** представляет собой иодид натрия NaI (вещество **B**). Вещество **Y** при гидрировании образует насыщенный углеводород, значит само является ненасыщенным углеводородом. Поскольку **Y** является газом при нормальных условиях, значит количество атомов углерода в нём < 5 . Для получения уксусной кислоты раньше использовали каталитическое окисление бутана на кобальтовом катализаторе. Из описанных химических свойств следует, что вещество **Y** – алкен. Таким образом, вещество **Y** представляет из себя бутен (молярная масса 56 г/моль). Нерастворимость в воде и растворимость в кислотах указывают на основную природу вещества **Z**. По

всей видимости, вещество **Z** является амином (самый популярный класс органических оснований). Поскольку **Z** не реагирует с карбонильными соединениями (и это специально оговаривается в условии задачи), можно сделать вывод, что **Z** – третичный амин. Следовательно, соль **X** представляет собой четвертичную аммонийную соль. При элиминировании по Гофману образуются вода, алкен и третичный амин. Поскольку вещества **Y** и **Z** – единственные органические продукты, значит единственный алкен, который может получиться при элиминировании это бутен. Это возможно либо в случае солей триметилбутиламмония, либо тетрабутиламмония. Поскольку триметиламин хорошо растворяется в воде, единственный подходящий вариант тетрабутиламмоний. Таким образом вещество **X** – это иодид тетрабутиламмония (молярная масса 369 г/моль), а вещество **Z** – трибутиламин (молярная масса 185 г/моль).

Ответ:

Формула **A** – AgI

Формула **B** – NaI

Молярная масса **X** (г/моль) – 369

Молярная масса **Y** (г/моль) – 56

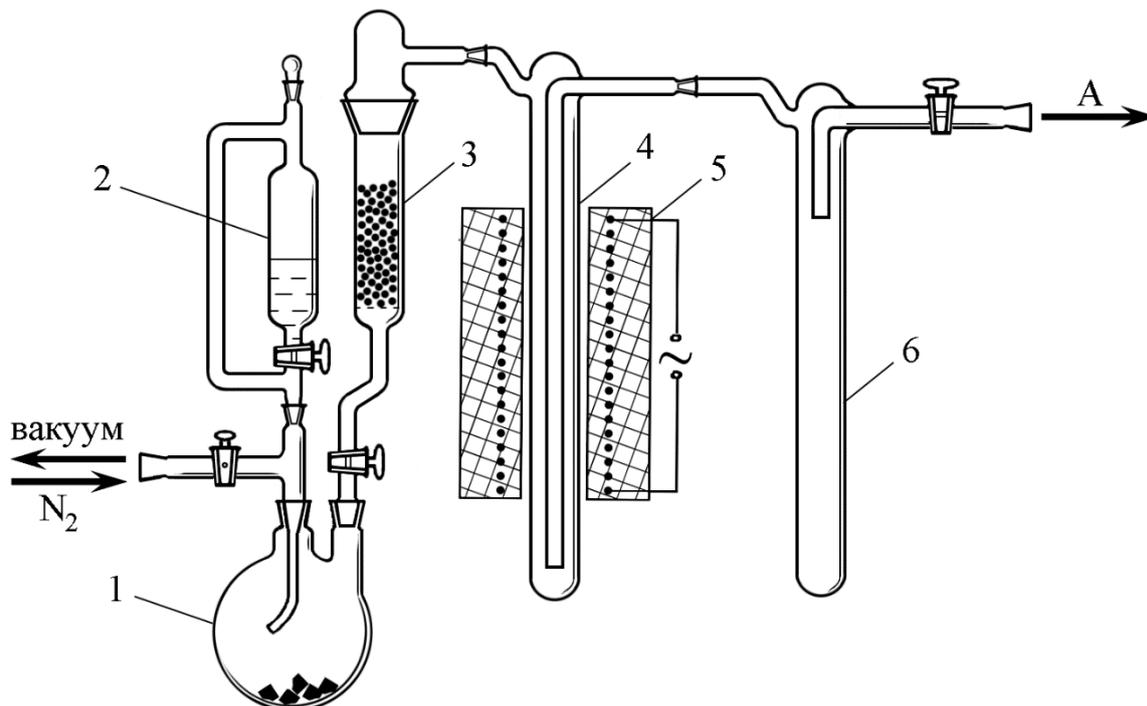
Молярная масса **Z** (г/моль) – 185

5 баллов – по 1 баллу за каждый правильный ответ

11. Вещество **A** – бесцветный ядовитый газ (при 20°C и 1 атм) со специфическим неприятным запахом. Молекулы **A** состоят из атомов двух элементов: **X** и **Y**. Известно несколько лабораторных способов получения **A**, один из которых рассмотрен ниже.

Для первой реакции берут тщательно высушенные и очищенные от примесей простые вещества **B** и **C**. Вещество **B** – самый распространённый в земной коре щелочноземельный металл. Вещество **C** – порошок тёмно-красного цвета, состоит из элемента **X**. Вещества **B** и **C** смешивают в массовом отношении 2 : 1, что близко к стехиометрическому (небольшой избыток **B**). Смесь нагревают в инертной атмосфере и получают соединение **D**.

Для второй реакции вещество **D** помещают в двугорлую круглодонную колбу (1), и подключают к прибору, как показано на рисунке.



Прибор многократно вакуумируют и наполняют сухим азотом, чтобы полностью удалить воздух. В колбу с веществом D небольшими порциями вводят воду из воронки (2). При взаимодействии D с водой выделяется газ A, который осушают твёрдой безводной щёлочью в колонке (3). Выделяющийся газ A загрязнён веществом E. Молекулы E тоже состоят из атомов элементов X и Y. Пары соединения E в 1,94 раза тяжелее газа A.

Для удаления примеси E выделяющийся газ нагревают в трубке для пиролиза (4) с помощью трубчатой печи (5). В ловушке (6) конденсируются побочные продукты пиролиза.

Определите вещества A–E. В поля для ответов введите их молекулярные формулы. Химические знаки необходимо вводить, используя английскую раскладку клавиатуры. Пример: NaNO_3 .

Ответ:

A	B	C	D	E
PH_3 или H_3P	Ca	P	Ca_3P_2	P_2H_4

По 1 баллу за каждое верно определённое вещество. Итого 5 баллов

12. Вещество A – соль, состоящая из трёх элементов, один из которых – натрий. Горячий раствор A реагирует с простыми веществами B и C. Вещество B – кристаллы жёлтого цвета, C – кристаллы тёмно-серого цвета. Вещества B и C образованы элементами – соседями по одной подгруппе в Периодической системе Д.И. Менделеева.

При взаимодействии раствора A с веществом B образуется соль D, состоящая из тех же трёх элементов, что и соль A. Продукт реакции A с веществом C – соль E, которая состоит из четырёх элементов. Если аккуратно подкислить

разбавленный раствор D, то можно получить опалесцирующий светло-жёлтый коллоидный раствор вещества B. Если подкислить раствор E, получится коллоидный раствор вещества C красного цвета. Если подкислить раствор, содержащий смесь солей D и E, то образуется коллоидный раствор вещества F жёлто-оранжевого цвета, частицы которого состоят из атомов двух химических элементов.

В таблице ниже приведены сведения о коллоидных растворах веществ B, C и F.

Вещество	B	C	F
Концентрация вещества в растворе, мг/л	300	800	600
Концентрация коллоидных частиц в растворе, мкмоль/л	78,1	84,4	104,9
Среднее число атомов в одной частице	120	120	120

Определите вещества A–F. В поля для ответов введите их молекулярные формулы. Химические знаки необходимо вводить, используя английскую раскладку клавиатуры. Пример: NaNO₃.

Ответ:

A	B	C	D	E	F
Na ₂ SO ₃	S или S ₈	Se или Se ₈	Na ₂ S ₂ O ₃ или Na ₂ SSO ₃ или Na ₂ O ₃ S ₂ или Na ₂ SO ₃ S	Na ₂ SO ₃ Se или Na ₂ SSeO ₃ или Na ₂ SeSO ₃	SeS ₂ или S ₂ Se

**6 баллов – по 1 баллу за каждое верно определённое вещество.
Всего – 50 баллов.**