

Разбор заданий школьного этапа ВсОШ по химии

для 10 класса

2023/24 учебный год

Максимальное количество баллов — 50

Задание № 1

Общее условие:

Вещество **X**, содержащее 5 атомов — дымящая на воздухе тёмно-красная жидкость. Данное вещество используется в качестве окислителя в органическом синтезе. Максимальный выход вещества **X** достигнут в реакции сухого хлороводорода с тёмно-красными кристаллами **Y** в присутствии двухосновной кислоты **K** (98 г/моль) на холоде. Вещество **Y** (100 г/моль) — ангидрид кислот **Z₁** (118 г/моль) и **Z₂** (218 г/моль).

Условие:

Определите количество атомов, составляющих молекулы веществ **Y**, **Z₁**, **Z₂** и **K**.

Ответ:

Y	Z₁	Z₂	K
4	7	11	7

За каждый верный пункт — 0.5 балла, всего — 2 балла

Условие:

Запишите молекулярную формулу вещества **X**.

Ответ: CrO₂Cl₂

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

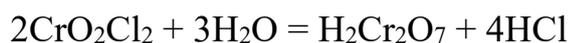
Определите сумму наименьших целых коэффициентов в уравнении реакции полного гидролиза **X** с образованием **Z₂**.

Ответ: 10**Точное совпадение ответа — 1 балл****Максимальный балл за задание — 4 балла***Решение.*

В неорганической химии ангидриды кислот представлены оксидами. Таким образом, необходимо найти оксид с молекулярной массой 100 г/моль. Наиболее классический для начального перебора вариант — рассмотреть состав оксида как $\text{Э}_2\text{O}_n$, где n — степень окисления элемента Э в этом оксиде. При $n = 6$ приходим к оксиду состава $\text{Cr}_2\text{O}_6 = \text{CrO}_3$ (4 атома), который является ангидридом хромовой H_2CrO_4 (7 атомов) и дихромовой $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (11 атомов) кислот. Информация об основности и молекулярной массе кислоты **K** указывает на то, что речь идет о серной кислоте H_2SO_4 .

Состав химических соединений шестивалентного хрома находит много аналогий с соединениями серы (VI), в том числе и в составе хлорангидридов типа хлористого сульфурита (SO_2Cl_2). Этот факт, а также указание числа атомов, входящих в состав молекулы **X**, позволяет утверждать, что **X** = CrO_2Cl_2 (хлористый хромил).

Полный гидролиз хлористого хромилита приводит к образованию дихромовой кислоты и хлороводорода:



$$4 + 1 + 3 + 2 = 10.$$

Задание № 2

Общее условие:

Частица NO_2^+ часто выступает в качестве интермедиата в реакциях нитрования органических соединений.

Условие:

Определите степень окисления атома азота в этой частице.

Ответ: +5

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Какую геометрическую форму имеет катион NO_2^+ ?

Ответ:

- Тетраэдрическая геометрия
- Треугольник
- Т-образная
- Линейная
- Угловая

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Геометрию частиц можно предсказывать, зная число электронов на внешней электронной оболочке центрального атома (метод Гиллеспи-Найхольма или ТООПВО — теория отталкивания электронных пар валентной оболочки). Суммарно на внешней электронной оболочке 5 (от атома азота) + 4 (от атомов кислорода) – 1 (общий заряд частицы) = 8 валентных электронов, которые

участвуют в образовании связей N-O или неподелённых пар у атома азота. Число двойных связей NO равно 2, число электронных пар равно 0, число неспаренных электронов равно 0. Таким образом, геометрия данной молекулы — линейная.

Задание № 3

Условие:

Радиоактивный изотоп элемента **X**, в ядре которого 40 % нуклонов приходится на протоны, при радиоактивном распаде выделяет одну α -частицу и превращается в изотоп элемента **Y**, ядро которого содержит 39.806 % протонов.

Альфа-частица представляет собой ядро гелия-4.

Определите зарядовое и массовое числа описанного изотопа элемента **X**.

Ответ:

Зарядовое число: 84

Массовое число: 210

За каждый верный пункт — 2 балла, всего — 4 балла

Решение.

Обозначим зарядовое число изотопа элемента **X** как **Z**, а массовое – как **A**.

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{Z}{A} = 0.4 \\ \frac{Z-2}{A-4} = 0.39806 \end{cases}'$$

которая может быть преобразована следующим образом:

$$\begin{cases} Z = 0.4 A \\ (0.4 \cdot A - 2) = 0.39806 \cdot (A - 4) \end{cases}'$$

Решая последнее уравнение, получаем **A** = 210 и **Z** = 84, что соответствует ${}^{210}_{84}\text{Po}$ и ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

Задание № 4

Условие:

Расположите вещества в порядке увеличения рН их 0.1 М водных растворов.

Ответ:

Азотная кислота - HNO_3
Хлорид аммония NH_4Cl
Гидроксиламин NH_2OH
Гидразин $\text{NH}_2\text{-NH}_2$
Аммиак NH_3

Точное совпадение ответа — 4 балла

Решение.

В первую очередь следует обратить внимание на хлорид аммония.

Это соединение будет гидролизываться:



В результате реакция среды станет кислой. Азотная кислота является сильной, поэтому рН её раствора окажется ниже, чем у хлорида аммония. В то же время оставшиеся соединения проявляют основные свойства, их водные растворы дают щелочную реакцию среды. Поэтому можно поставить хлорид аммония на второе место.

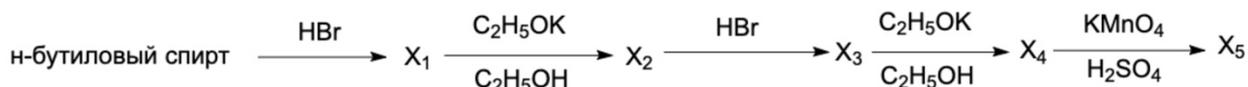
Далее стоит отметить, что наличие акцепторных индуктивных заместителей (ОН и NH₂ группы) в гидросиламине и гидразине должно уменьшать основные свойства атома азота по сравнению с аммиаком. Поэтому предварительный порядок $4 < (2 \text{ или } 5) < 3 < 1$.

Окончательный выбор между гидросиламином и гидразином можно сделать, исходя из электроотрицательности кислорода и азота: так как атом кислорода более электроотрицателен, чем азот, он будет в большей степени снижать основные свойства вещества.

Задание № 5

Общее условие:

Дана цепочка превращений.



Условие:

Определите молярную массу X_5 . Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 60

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Определите сумму минимальных целых коэффициентов в последней реакции.

Ответ: 59

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

При действии HBr на н-бутиловый спирт будет происходить нуклеофильное замещение с образованием 1-бромбутана. Под действием этилата калия в этаноле произойдёт элиминирование с образованием бутена-1. Далее HBr присоединяется с образованием 2-бромбутана (так как реакция идёт через образование более стабильного вторичного карбокатиона). В результате повторной обработки этилатом калия образуется 2-бутен, который будет далее окисляться с образованием двух молекул уксусной кислоты. Конечный продукт — уксусная кислота. Ответ: $M_r(\text{AcOH}) = 60$.

Уравнение превращения 5:



Сумма коэффициентов равна $5 + 8 + 12 + 8 + 4 + 12 + 10 = 59$.

Задание № 6

Условие:

Сколько существует изомерных соединений состава $C_6H_5NO_2$, содержащих в своём составе бензольное кольцо и не содержащих других циклов?

Ответ: 5

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Сколько из этих изомеров способны образовывать внутримолекулярную водородную связь?

Ответ: 1

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Так как в соединении должно быть бензольное кольцо, то можно выделить в брутто-формуле 6 атомов углерода и рассмотреть два случая: бензольное кольцо с одним заместителем и бензольное кольцо с двумя заместителями. Большее количество заместителей невозможно, так как для этого в брутто-формуле слишком мало атомов водорода.

Заметим, что в первом случае в качестве заместителя выступает нитрогруппа, поэтому возможны только две изомерные структуры — нитробензол и фенилнитрит.

Во втором случае в качестве заместителей выступают $-OH$ и $-NO$ (нитрозо) группы. Однако из-за возможностей орто, пара и мета- изомерии можно получить три структуры: орто-нитрозофенол, пара-нитрозофенол и мета-нитрозофенол.

Итого суммарно 5 структур.

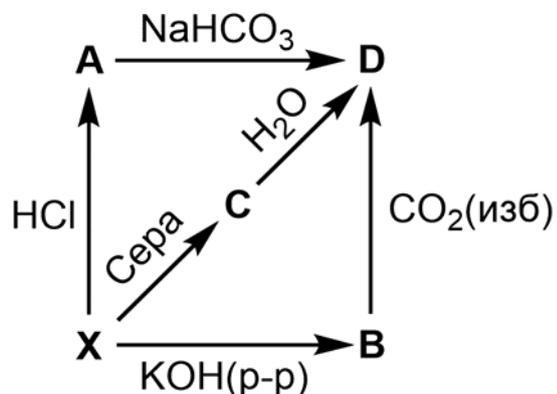
Для образования внутримолекулярной водородной связи необходимо выполнение двух условий: наличие кислого протона и присутствие рядом с ним элемента с высокой электроотрицательностью. Заметим, что относительно кислые протоны присутствуют только в изомерных нитрозофенолах (в составе $-OH$) групп. Однако только в структуре орто-нитрозофенола этот кислый протон находится рядом с электроотрицательным атомом кислорода. Поэтому водородная связь может образовываться только в орто-нитрозофеноле.

Ответ: 1

Задание № 7

Общее условие:

Дана схема превращений металла X, входящего в состав термитной смеси.



Условие:

Определите формулы всех зашифрованных соединений.

Ответ:

A	B	C	D	X
AlCl ₃	K[Al(OH) ₄] или K ₃ [Al(OH) ₆]	Al ₂ S ₃	Al(OH) ₃	Al

За каждый верный пункт — 0.5 балла, всего — 2.5 балла

Условие:

Определите сумму наименьших целочисленных коэффициентов в уравнении реакции металла X с очень разбавленной азотной кислотой, если известно, что в ходе реакции образуется нитрат аммония.

Ответ: 58

Точное совпадение ответа — 1.5 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Металл, входящий в состав термитной смеси — это магний или алюминий. Однако магний не подходит под превращения, загаданные на схеме, так как при взаимодействии с раствором KOH он превратится в гидроксид магния, который не будет реагировать с NH₃.

Поэтому **X** — алюминий. Тогда **A** — AlCl₃, **B** — K[Al(OH)]₄, **C** — Al₂S₃, **D** — Al(OH)₃.

Реакция алюминия с очень разбавленной азотной кислотой:



Итого получается $8 + 30 + 8 + 3 + 9 = 58$

Задание № 8

Общее условие:

Восстановите левые части уравнений реакций. В ответ запишите сумму наименьших целочисленных коэффициентов в каждом из них.

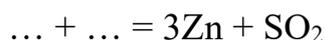
Условие:



Ответ: 10

Точное совпадение ответа — 2 балла

Условие:



Ответ: 7

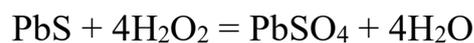
Точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

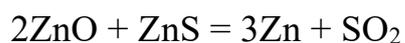
Предположим, что первая реакция является реакцией нейтрализации. Тогда в правой части уравнения может быть оксид или гидроксид свинца. Однако в реакции оксида/гидроксида свинца с серной кислотой выделяется максимум две молекулы воды. Поэтому представленное уравнение не является реакцией нейтрализации.

Можно предположить, что реакция является окислительно-восстановительной и что в её ходе происходит окисление соли свинца. Тогда окислитель в ходе реакции превращается в воду, что наталкивает на мысль о H_2O_2 . Исходя из стехиометрии, получаем:



Итого ответ: $1 + 4 + 1 + 4 = 10$.

Заметим, что в данной реакции происходит восстановление Zn из степени окисления +2 до 0. Для этого в системе должен присутствовать восстановитель, на роль которого подходит сера в низких степенях окисления. Такие варианты, как элементарная сера и SO_3^{2-} , явно не подходят, поэтому остаётся единственный вариант — S^{2-} . Таким образом, одно из соединений — это ZnS. Второе соединение — ZnO, определяется по матбалансу.



Итого получаем $2 + 1 + 3 + 1 = 7$.

Задание № 9

Общее условие:

Двойная соль **X**, содержащая в своем составе Fe (II), находит широкое применение в пищевой промышленности. При добавлении к раствору двойной соли **X** избытка щелочи и последующем нагревании раствора происходит выделение резко пахнущего газа, окрашивающего лакмусовую бумажку в синий цвет.

При добавлении к раствору навески 0.0500 г (по массе) раствора двойной соли **X** избытка раствора хлорида бария выпадает 59.5 мг белого осадка, нерастворимого в кислотах и щелочах, а на титрование полученного в ходе реакции с хлоридом бария раствора необходимо 5.10 мл $5.00 \cdot 10^{-3}$ М раствора KMnO_4 .

Условие:

Запишите название аниона, входящего в состав двойной соли.

Ответ: Сульфат

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Запишите название катиона, ответственного за выделение из раствора резко пахнущего газа.

Ответ: Аммоний

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Определите число молекул кристаллизационной воды, содержащихся в двойной соли **X**.

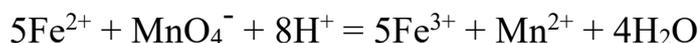
Ответ: 6

Точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Выделение газа после добавления щёлочи и последующего нагревания, а также синий цвет лакмусовой бумажки указывают на наличие в составе соли **X** катионов аммония. Реакция с хлоридом бария указывает на наличие сульфатов. Таким образом, можно сделать вывод о том, что соль **X** имеет следующий вид: $(\text{NH}_4)_x\text{Fe}(\text{SO}_4)_y \cdot z(\text{H}_2\text{O})$. При титровании раствора перманганатом калия происходит окисление Fe (II) до Fe (III):



Посчитаем количество Fe (II) и SO_4^{2-} в составе соли **X**:

$$n(\text{Fe}) = 5.10 / 1000 \cdot 0.005 \cdot 5 = 1.275 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 59.5 / 1000 / (\text{Mr}(\text{BaSO}_4)) = 2.55 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Отсюда соль **X** имеет формулу $(\text{NH}_4)_x\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$. Исходя из принципа электронейтральности, находим $x = 2$. Далее остаётся определить количество кристаллизационной воды. Для этого определим молярную массу соли **X** и вычтем из неё массу $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$:

$0.05 / (1.275 \cdot 10^{-4}) - \text{Mr}((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2) = 108$, что соответствует шести молекулам воды.

Задание № 10

Условие:

При сжигании 1 моль графита в недостатке кислорода при температуре 800 К образовалась смесь CO_2 и CO суммарным объёмом 22.40 литра (при н.у.), а также выделилось 333.22 кДж теплоты. Если пропустить полученную смесь газов через раствор KOH , то масса этого раствора увеличится на 35.20 г. Полученный после пропускания через раствор KOH газ сгорает в избытке кислорода с выделением 56.18 кДж теплоты.

Определите стандартную теплоту образования $\text{CO}_{2(\text{г})}$ и $\text{CO}_{(\text{г})}$ при температуре 800 К. Ответ выразите в кДж/моль, округлите до целых.

Ответ:

$\text{CO}_{2(\text{г})}$: засчитывается в диапазоне [388; 392]

$\text{CO}_{(\text{г})}$: засчитывается в диапазоне [108; 110]

За каждый верный пункт — 2 балла, всего — 4 балла

Решение.

Общее количество вещества газов, которые образовались в ходе сгорания графита, равно 1 моль. Если мы сложим тепловой эффект от сжигания графита и тепловой эффект от дожигания CO , то полученная теплота будет соответствовать теплоте сгорания 1 моль графита до газообразного CO_2 . Поэтому ответ на первую часть вопроса $333.22 + 56.18 = 389.4$ кДж/моль.

Для ответа на вторую часть вопроса необходимо определить состав полученной смеси. Считаем количество CO_2 :

$$35.2/44 = 0.8$$

Отсюда образовалось $1 - 0.8 = 0.2$ моль CO .

Тогда полученный тепловой эффект равен:

$$389.4 \cdot 0.8 + 0.2 \cdot Q(\text{CO}_{(\text{г})}) = 333.22 \text{ кДж.}$$

Итого получаем, что теплота образования CO равна 108.5 кДж/моль.

Ответ: 389.4 кДж/моль и 108.5 кДж/моль.

В качестве правильного ответа принимаются целые числа из диапазонов [388; 392] и [108; 110].

Задание № 11

Условие:

В таблице приведены все продукты некоторых реакций без стехиометрических коэффициентов. Запишите формулы реагентов, если известно, что взаимодействовали только два вещества.

Реагенты	Продукт реакции
...	HCOONa
...	
...	CrO ₃ + KHSO ₄ + H ₂ O
...	
...	(NH ₄) ₂ [BeF ₄] + H ₂ + NH ₃
...	
...	Fe(OH) ₃
...	

Ответ:

Реагенты	Продукт реакции
NaOH CO	HCOONa
K₂CrO₄ или K₂Cr₂O₇ H₂SO₄	CrO ₃ + KHSO ₄ + H ₂ O
NH₄F Be	(NH ₄) ₂ [BeF ₄] + H ₂ + NH ₃
Fe(OH)₂ H₂O₂	Fe(OH) ₃

За каждый верный пункт — 1 балл, всего — 4 балла

Решение.

Формиат натрия можно получить взаимодействием угарного газа со щёлочью при нагревании и повышенном давлении. Вторая реакция хорошо известна как способ получения оксида хрома (VI), в третьей бериллий окисляется водородом, наконец, последняя — ОВ-реакция взаимодействия гидроксида железа (II) с пероксидом водорода.

Задание № 12

Условие:

В трёх пронумерованных пробирках находятся крепкие растворы неорганических веществ. С веществами провели некоторые опыты, результаты которых представлены в таблице.

	1	2	3
1		Белый осадок	Жёлтый осадок
2	Белый осадок		Белый осадок, запах уксуса
3	Жёлтый осадок	Белый осадок, запах уксуса	
AgNO_3	Жёлтый осадок	Белый осадок	Без изменений
NH_3	Без изменений	Раствор нагрелся	Серо-коричневый осадок, растворяется в избытке аммиака

Известно, что соль 1 окрашивает пламя горелки в желто-зелёный цвет. Запишите формулы веществ.

Ответ:

1	2	3
BaI_2	H_2SO_4	CH_3COOAg

За каждый верный пункт — 2 балла, всего — 6 баллов

Решение.

Удобнее решать задачу, записывая в таблицу варианты катионов и анионов, которые могут входить в состав пронумерованных веществ:

	Катион	Анион
1	Ba^{2+}	I^{-}
2	NH_4^{+}	F^{-}
3	H^{+}	$SO_3^{2-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, Br^{-}$
4	ЩМ, ЩЗМ, Li	OH^{-}
5	Ag^{+}	$CH_3COO^{-}, F^{-}, H_2PO_4^{-}$
6	Fe^{3+}	$Cl^{-}, Br^{-}, SO_4^{2-}, NO_2^{-}$

Учитывая, что вещество **3** не демонстрирует изменений с нитратом серебра, но при этом реагирует с остальными веществами абсолютно так же как и последний, можно сделать предположение, что это растворимая соль серебра — фторид, ацетат или дигидрофосфат. Скорее всего серо-коричневый осадок, растворимый в избытке аммиака — это оксид серебра Ag_2O . При взаимодействии **2** с аммиаком выделяется теплота, что говорит об экзотермической реакции кислоты с основанием, а с нитратом серебра образуется белый осадок, судя по всему, нерастворимый в кислотах, тогда **3** — растворы SO_2 , H_2SO_4 , HCl , HBr . Заметим, что при взаимодействии **3** и **2** ощущается запах уксуса, такое возможно, только если **3** — **ацетат серебра**, в ходе реакции выделяется летучая уксусная кислота с резким запахом. Скорее всего, **1** содержит фосфат, гидрофосфат или иодид-ион, поскольку образует с нитратом серебра жёлтый осадок. Катион в **1** может образовывать белый осадок с анионом из **2**. Пересекающимися возможными анионами являются сульфат, бромид или хлорид. Единственный катион, образующий растворимый гидроксид (нет осадка с аммиаком), но при этом нерастворимый сульфат — это Ba^{2+} . Значит, **1** — **иодид бария**, так как гидрофосфат и фосфат нерастворимы в воде, а **2** — **серная кислота**.