

Из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом!

Указа
ние: - при расчетах значения атомных масс следует округлять до целых, кроме хлора ($A_r(\text{Cl}) = 35,5$; $A_r(\text{Cu}) = 63,5$)
- в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов

Каждая задача оценивается максимум 20 баллов

Задача 1.

В пяти разных пробирках находятся растворы, в которых содержится по 1,000 г различных индивидуальных соединений (A_1 - A_5). Дополнительно известно, что каждое из этих веществ состоит из трёх элементов, а соотношение атомов в каждом из них одинаковое (например, CaS и ZnO – в обоих соединениях соотношение атомов 1:1). В таблице ниже приведены некоторые экспериментально полученные данные для этих веществ.

№	Цвет раствора	Добавление лакмуса	Дополнительная информация
A_1	-	Раствор окрашивается в красный цвет	- при добавлении избытка гидрокарбоната натрия (<i>реакция 1</i>) выделяется 222,9 мл (н.у.) газа.
A_2	Малиновый	Нет изменений	- распространенный реактив в аналитической химии, садоводстве, медицине; - при пропускании сернистого газа раствор обесцвечивается (<i>реакция 2</i>).
A_3	-	Раствор окрашивается в красный цвет	- при добавлении избытка раствора нитрата серебра, происходит образование белого творожистого осадка (<i>реакция 3</i>) массой 2,682 г.
A_4	-	Нет изменений	- при добавлении раствора сульфата марганца (II) в присутствии серной кислоты и нескольких капель нитрата серебра в качестве катализатора, наблюдается образование малинового раствора (<i>реакция 4</i>); - массовая доля кислорода в соединении равна 47,41%.
A_5	Желтый	Раствор окрашивается в оранжево-красный цвет	- при добавлении в раствор раствора сульфата железа (II) (<i>реакция 5</i>) происходит выпадение 0,579 г окрашенного осадка; - массовая доля водорода в соединении равна 0,294%.

Определите индивидуальные соединения A_1 - A_5 .

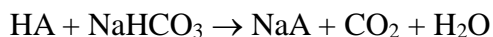
Для веществ A_1 , A_3 - A_5 обязательно приведите необходимые расчеты.

Запишите уравнения *реакций 1-5*.

Решение

Соединение **A₂** судя по цвету и описанию – однозначно перманганат калия **KMnO₄**. Тогда соотношение атомов в оставшихся веществах – 1:1:4.

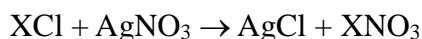
Вещество **A₁** вероятнее всего кислота (судя по окраске раствора после добавления в него лакмуса). Тогда уравнение реакции с гидрокарбонатом натрия будет иметь вид:



$$M(\text{HA}) = \frac{1,000}{0,2229/22,4} = 100,5 \text{ г/моль}$$

При условии, что скорее всего формула **A₁** – HЭО₄, получаем, что **A₁** – HClO₄

Вещество **A₃** вероятнее всего хлорид, тогда уравнение реакции с нитратом серебра будет иметь вид:



$$M(\text{XCl}) = \frac{1,000}{2,682/143,5} = 53,5 \text{ г/моль}$$

Вычитая 35,5 из полученной молярной массы, получаем, что M(X) = 18 г/моль, тогда под условие соотношения (1:4) подходит NH₄, сл-но **A₃** – NH₄Cl

Для вывода соединения **A₄**, необходимо вспомнить, какие окислители переводят Mn²⁺ до MnO₄⁻, это могут быть, например, Cl₂, KBiO₃, PbO₂ или K₂S₂O₈ (K₂S₂O₆(O₂) – пероксодисульфат калия). Под условие 1:1:4 подходит пероксодисульфат калия (K₂S₂O₈). ω(O/K₂S₂O₈) = 128/270 = 0,4741. Следовательно, **A₄** – K₂S₂O₈.

Вещество **A₅** вероятнее всего имеет формулу HYZ₄. При реакции с сульфатом железа (II) вероятнее всего протекает окислительно – восстановительная реакция.

$$\nu(\text{HYZ}_4) = \nu(\text{H}) = 1,000 * 0,00294 / 1 = 0,00294 \text{ моль} = M(\text{Y})$$

Предположим, что темный осадок – это просто Y, тогда

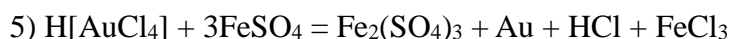
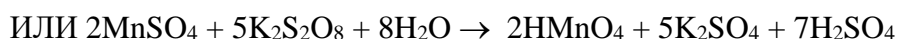
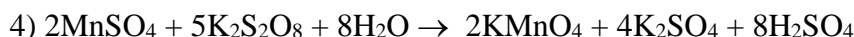
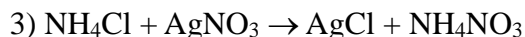
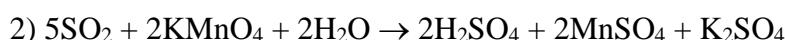
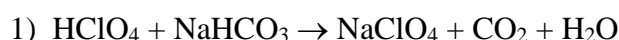
$$M(\text{Y}) = 0,579 / 0,00294 = 197 \text{ г/моль, что соответствует золоту, тогда}$$

$$M(\text{Z}_4) = 1 / 0,00294 - 197 - 1 = 142 \text{ г/моль, } M(\text{Z}) = 35,5 \text{ г/моль, что соответствует хлору.}$$

Следовательно, **A₅** – H[AuCl₄].

A₁	HClO₄	A₂	KMnO₄	A₃	NH₄Cl	A₄	K₂S₂O₈	A₅	H[AuCl₄]
----------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------	--	----------------------	----------------------------

Уравнения реакций:



Критерии оценивания

Вывод вещества **A₂**

2 балла

Вывод веществ **A₁**, **A₃**-**A₅**

2×4 = 8 баллов

(без расчета – 0 баллов)

Уравнения реакций

2×5 = 10 баллов

(если реакция не уравнена, но верно записаны участники реакции – 1 балл)

(в случае если вещество не было доказано расчетом, но реакция записана верно – 2 балла)

Задача 2.

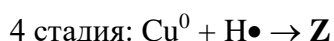
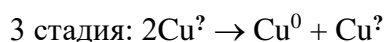
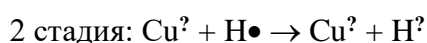
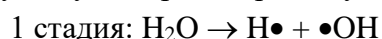
Ниже представлена методика получения достаточно интересного бинарного соединения **Z**, которое нельзя получить прямым взаимодействием веществ:

“В круглодонной колбе смешивается по 40 см³ 0,6 М раствора сульфата меди (II) и 2,4 М раствора фосфорноватистой кислоты (*реакция 1*). После этого реакцию смесь нагревают до 45°C в течение 15 минут. Затем смесь охлаждают, выпавший темно-коричневый осадок **Z** отфильтровывают, промывают водой и высушивают в инертной атмосфере. Выход реакции обычно составляет около 75% (1,161 г)”. Высушивание нужно проводить очень аккуратно, так как вещество достаточно легко разлагается (*реакция 2*). Сухой **Z** обладает пирофорными свойствами и поэтому его нельзя хранить на воздухе, ввиду возможности протекания *реакции 3*.

1) Рассчитайте состав осадка **Z**, если дополнительно известно, что фосфорноватистая кислота берется в избытке, а фильтрат обесцвечивает подкисленный серной кислотой раствор перманганата калия (*реакция 4*) благодаря наличию в нём кислоты, содержащей 37,8% фосфора.

2) Запишите уравнения *реакций 1-4*.

Один из современных способов получения **Z** заключается в применении «сонохимии». То есть химические реакции проводят под воздействием ультразвуковых колебаний (от 20 кГц до нескольких МГц). При таком проведении эксперимента, за счет образования пузырьков и их последующего разрушения удаётся достичь локального нагрева температуры до 5000°C. Для получения **Z** достаточно подвергнуть воздействию раствор нитрата меди (II) ультразвуковой волной (20 Гц) в течение 4 часов. Ниже представлен механизм реакции (т.е. промежуточные реакции, которые приводят к образованию **Z**). К сожалению, в представленной схеме отсутствуют заряды промежуточных частиц:



3) Запишите механизм реакции, поставив на месте «?» необходимый заряд иона.

4) Запишите уравнение реакции растворения **Z** в а) концентрированной азотной кислоте с образованием бурого газа, б) концентрированной серной кислоте с образованием газа с резким запахом.

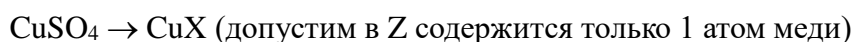
Решение

1) Вывод **Z**:

Так как сульфат меди (II) находится в недостатке, то расчет ведется по нему:

$$\nu(\text{CuSO}_4) = 0,04 \cdot 0,6 = 0,024 \text{ моль}$$

Вероятнее всего **Z** содержит Cu, тогда, можно записать схему реакции:

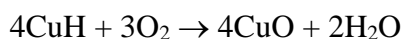
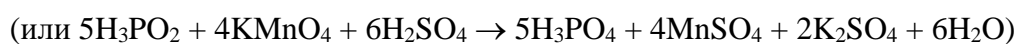
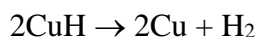
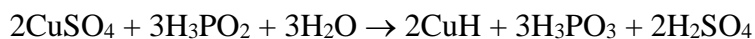


$$m_{\text{теор}}(\text{CuX}) = 1,161/0,75 = 1,548 \text{ г}$$

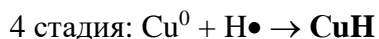
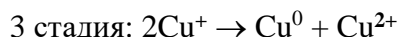
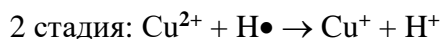
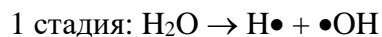
$$M(\text{CuX}) = 1,548/0,024 = 64,5 \text{ г/моль, сл-но X – водород, тогда}$$

Z - CuH

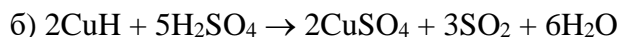
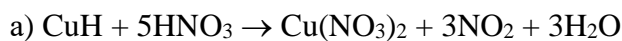
2) Реакции 1-4



3) Механизм:



4) Уравнения реакций а) и б)



Критерии оценивания

Вывод вещества Z

3 балла

(без расчета – 0 баллов)

Уравнения реакций 1-4

2×4 = 8 баллов

(если реакция не уравнена, но верно записаны участники реакции – 1 балл)

Определение заряда ионов

1×5 = 5 баллов

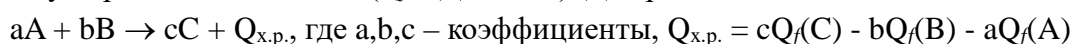
Уравнения реакций а) и б)

2×2 = 4 балла

(если реакция не уравнена, но верно записаны участники реакции – 1 балл)

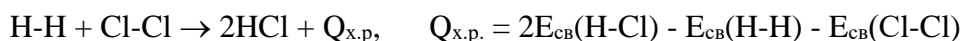
Задача 3.

Тепловой эффект реакции можно рассчитать различными способами. Например, через теплоту образования веществ (Q_f , кДж/моль). Для реакции вида:



1) Запишите уравнение реакции полного сгорания метанола (CH_3OH) и рассчитайте тепловой эффект этой реакции используя теплоту образования веществ.

Второй способ расчета $Q_{\text{x.p.}}$ заключается в использовании данных по энергиям связей. Рассмотрим, к примеру, реакцию образования хлороводорода:



Т.е. тепловой эффект реакции представляет собой разность суммы энергий связей, которые образовались, и суммы энергий связей, которые разорвались.

2) Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания метанола, но уже с использованием данных по энергиям связей.

3) При условии отсутствия погрешностей при определении энергий связей и теплот образования, как Вы считаете, какой метод расчета теплового эффекта реакции более точный – через $E_{\text{св}}$ или через Q_f ?

4) Запишите уравнения реакций полного гидролиза хлорида фосфора (V) и оксохлорида фосфора (POCl_3). Рассчитайте тепловые эффекты этих реакций. На основании полученных данных рассчитайте энергии связей $\text{P}=\text{O}$ и $\text{P}-\text{Cl}$. Примите, что энергия связи не зависит от окружения.

Справочная информация

Вещ-во	Q_f , кДж/моль	Вещ-во	Q_f , кДж/моль	СВЯЗЬ	$E_{\text{св}}$, кДж/моль	СВЯЗЬ	$E_{\text{св}}$, кДж/моль
CO_2	393	POCl_3	597	О-Н	459	O_2	494
H_2O	286	H_3PO_4	1279	С-Н	410	Р-О	350
CH_3OH	239	HCl	93	С-О	358	Н-Cl	427
O_2	0	PCl_5	367	С=О	798		

Решение



$$Q_{\text{х.р.}}(\text{через } Q_f) = 4 \cdot 286 + 2 \cdot 393 - 3 \cdot 0 - 2 \cdot 239 = 1452 \text{ кДж} \quad 2 \text{ балла}$$

$$Q_{\text{х.р.}}(\text{через } E_{\text{св}}) = 4 \cdot 798 + 8 \cdot 459 - 3 \cdot 494 - 2 \cdot 459 - 2 \cdot 358 - 6 \cdot 410 = 1288 \text{ кДж} \quad 2 \text{ балла}$$

Более точным будет метод расчета через Q_f , так как в случае использования энергий связей в данном случае не учитывается факт того, что одинаковые связи могут иметь разную энергию, в силу различного окружения (например, в рамках задачи энергия связи О-Н в воде и метаноле считается одинаковой) 1 балл



$$Q_{\text{х.р.}}(1) = 1279 + 3 \cdot 93 - 3 \cdot 286 - 597 = 103 \text{ кДж} \quad 2 \text{ балла}$$



$$Q_{\text{х.р.}}(2) = 1279 + 5 \cdot 93 - 4 \cdot 286 - 367 = 233 \text{ кДж} \quad 2 \text{ балла}$$

Пусть $E_{\text{св}}(\text{P}=\text{O}) = x$ кДж/моль, $E_{\text{св}}(\text{P}-\text{Cl}) = y$ кДж/моль, тогда

$$103 = 3E_{\text{св}}(\text{H}-\text{Cl}) + 3E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) + 3E_{\text{св}}(\text{P}-\text{O}) + x - 6E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - 3y - x$$

$$103 = 3E_{\text{св}}(\text{H}-\text{Cl}) + 3E_{\text{св}}(\text{P}-\text{O}) - 3E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - 3y$$

Отсюда находим y :

$$3y = 3 \cdot 427 + 3 \cdot 350 - 3 \cdot 459 - 103$$

$$y \approx 284 \quad 3 \text{ балла}$$

$$233 = 5E_{\text{св}}(\text{H}-\text{Cl}) + 3E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) + 3E_{\text{св}}(\text{P}-\text{O}) + x - 8E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - 5y$$

$$x = 233 - 5 \cdot 427 + 5 \cdot 459 - 3 \cdot 350 + 5 \cdot 284$$

$$x = 763 \quad 3 \text{ балла}$$

Задача 4

При полном окислении на воздухе (*реакции 1 и 2*) твердого образца **A** массой 10,000 г образовались только твердое вещество **B** массой 14,000 г и газ **B** (плотность газа при н.у. равна 1,9643 г/л) объемом 0,374 л (н.у.). Вещество **B** растворили в стехиометрическом количестве разбавленной серной кислоты (*реакция 3*), образовавшийся раствор смешали с избытком раствора аммиака (*реакция 4*), при этом выпал осадок **Г** массой 18,725 г.

Если провести аналогичные операции с 10,000 г твердого образца **Ж** такого же качественного состава что и **A**, то также образуется газ **B** объемом 0,748 л (н.у.).

При растворении образца **A** в концентрированной азотной кислоте (*реакции 5 и 6*) образуется раствор соли **C₁**, если же растворение проводить в очень разбавленной азотной кислоте (2-3% по массе), то, как ни странно, образуется раствор соли **C₂**. Обе соли содержат катионы одного металла.

При расчетах значения атомных масс следует округлять до целых значений, кроме хлора ($A_r(\text{Cl}) = 35,5$).

1) Установите формулы веществ **B**, **B**, **Г**, **C₁**, **C₂**. Для веществ **B** – **Г** нужно привести соответствующие расчеты.

2) Как называются **A** и **Ж**? Приведите соответствующие расчеты. Напишите название романа Николая Островского, в котором упоминается **A**?

3) Напишите уравнения *реакций 1-6*.

4) Почему при растворении **A** в очень разбавленной азотной кислоте образуется соль **C₂**, а не **C₁**?

Решение

1) Определим газ **B**, для этого рассчитаем его молярную массу:

$M_B = 1,9643 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 44 \text{ г/моль}$. Следовательно, газ **B** – оксид углерода(IV), т.к. другие газы (N_2O , C_3H_8) с такой молярной массой не могут образоваться при сжигании.

$$n(\text{CO}_2) = 0,374 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} \approx 0,0167 \text{ моль} = n(\text{C})^{\text{из A}}$$

$$m(\text{C})^{\text{из A}} = 0,0167 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} \approx 0,2 \text{ г}$$

2) Вещество **A** содержит атомы какого-то металла, поэтому, скорее всего, **B** – оксид металла, **Г** – гидроксид этого металла.

I способ (метод эквивалентов)

Используя метод эквивалента (с учетом того, что реакции 3 и 4 являются не окислительно-восстановительными) можно записать выражение для определения молярной массы эквивалента металла в оксиде **B** и гидроксиде **Г**:

$$\frac{M_{Me}^{\text{ЭКВ}} + 17}{M_{Me}^{\text{ЭКВ}} + 8} = \frac{18,725}{14,000}$$

Отсюда находим, что молярная масса эквивалента металла равна 18,667 г/моль. Чтобы получить молярную массу металла, необходимо умножить полученное значение на валентность металла. Перебирая валентности от I до VIII, получаем одно подходящее значение молярной массы металла, равное 56 г/моль. Следовательно, металл – железо. Вещество **B** – Fe_2O_3 , вещество **Г** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

II способ (составление и решение уравнения с параметром)

Если обозначить валентность металла за « x », тогда можно записать формулу оксида металла, как Me_2O_x или $MeO_{0,5x}$, формула гидроксида будет – $Me(OH)_x$. Если мы записываем формулу оксида металла, как $MeO_{0,5x}$, то можем использовать соображение, что количество вещества таких формульных единиц оксида металла равно количеству вещества гидроксида металла. Тогда отношение масс оксида металла и гидроксида металла будет равно отношению молярных масс $MeO_{0,5x}$ и $Me(OH)_x$. Можно записать:

$$\frac{M_{Me(OH)_x}}{M_{MeO_{0,5x}}} = \frac{m_{Me(OH)_x}}{m_{MeO_{0,5x}}}$$

Подставим численные данные и выразим значения молярных масс веществ через молярную массу металла и валентность металла, равную « x »:

$$\frac{M_{Me} + x \cdot 17}{M_{Me} + 0,5x \cdot 16} = \frac{18,725}{14,000}$$

Выражая молярную массу металла через валентность металла, получаем выражение с параметром:

$$M_{Me} = 18,667 \cdot x$$

Перебирая валентности от I до VIII, получаем одно подходящее значение молярной массы металла, равное 56 г/моль. Следовательно, металл – железо. Вещество **Б** – Fe_2O_3 , вещество **Г** – $Fe(OH)_3$.

3) Найдем массу железа в образце **А**:

$$n(Fe(OH)_3) = 18,725 \text{ г} : 107 \text{ г/моль} = 0,175 \text{ моль} = n(Fe)$$
$$m(Fe)^{из \text{ А}} = 0,175 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} \approx 9,8 \text{ г}$$

Можно сделать вывод, что в веществе **А** содержатся только углерод и железо, причем массовая доля углерода составляет 2%. Следовательно, **А** – сталь.

4) При сгорании **Ж** образуется в два раза больше диоксида углерода, следовательно, массовая доля углерода в **Ж** в два раза больше, чем в **А**, и составляет 4%. Следовательно, **Ж** – чугун.

5) Название романа Николая Островского – «Как закалялась сталь».

6) При растворении стали в концентрированной азотной кислоте образуется нитрат железа(III) (соль **С1**), другой солью, содержащей железо, может быть только нитрат железа(II) (соль **С2**). В очень разбавленной азотной кислоте образуется нитрат железа(II), т.к. при очень низкой концентрации азотной кислоты восстановление азота идёт до конца, т.е. до аммиака. Поэтому в растворе формируется восстановительная среда, следовательно, железо не окисляется до степени окисления +3, а только до +2.

7) Уравнения реакций:

- 1) $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$
- 2) $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- 3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NH}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 5) $\text{Fe} + 6\text{HNO}_3(\text{конц.}) \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{C} + 4\text{HNO}_3(\text{конц.}) \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Критерии оценивания:

1) Определение формул веществ **Б, В, Г, С₁, С₂** – по 2 балла. Для веществ **Б – Г** должны быть приведены расчеты, иначе – 0 баллов.

2) Названия **А и Ж** – по 1 баллу при наличии соответствующих расчетов, иначе – 0 баллов. Название романа – 1 балл.

3) Уравнения реакций 1-6 – по одному баллу, при отсутствии хотя бы одного коэффициента (неправильно выставленном коэффициенте) – 0,5 балла за реакцию.

4) Объяснение, почему образуется соль **С₂**, а не **С₁**, – 1 балл.

А	Б	В	Г	Ж	С₁	С₂
сталь	Fe_2O_3	CO_2	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	чугун	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$

Задача 5

Как правило, лава, вытекающая из вулкана, окрашена в оттенки красного и оранжевого цветов. Но в одном из кратеров вулкана Иджен в Индонезии туристы могут наблюдать лаву, окрашенную в синий цвет! Такое необычное природное явление происходит из-за выделения из жерла соединения **X**. Известно, что при извержении **X** превращается в вещество **Y** (реакция 1), которое способно реагировать с **X** с образованием окрашенного вещества **Z** (реакция 2). Вещества **X** и **Y** обесцвечивают сернокислый раствор перманганата калия (реакции 3 и 4 соответственно), вещества **X**, **Y**, **Z** реагируют с горячим концентрированным раствором гидроксида натрия (реакции 5, 6, 7 соответственно).

- 1) Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**.
- 2) Напишите уравнения реакций 1-7.

Решение

1) Вещество **X** – сероводород H_2S , сгорающий синим пламенем, что придает лаве синий цвет.

2) Вещество **Y** – оксид серы(IV) SO_2 , который может реагировать с сероводородом с образованием серы **S**, которая имеет желтый цвет (вещество **Z**).

3) Уравнения реакций:

- 1) $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3) $5\text{H}_2\text{S} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{S} + 2\text{MnSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$
- 4) $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
- 5) $\text{SO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{H}_2\text{S} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 7) $3\text{S} + 6\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Критерии оценивания

- 1) Определение формул веществ **X**, **Y**, **Z** – по 2 балла.
- 2) Уравнения реакций 1-7 – по 2 баллу, при отсутствии хотя бы одного коэффициента (неправильно выставленном коэффициенте) – по 1 баллу за реакцию.

Задача 6

Оксид **A** массой 25,2 г растворили в горячей воде (реакция 1). При этом образовалась раствор, содержащий равные количества двух кислот **B** и **C**. При нейтрализации этой смеси избытком известковой воды образуется осадок (реакции 2, 3).

Если такую же массу оксида **A** окислить избытком кислорода (реакция 4), то образуется соединение **D**. Вещество **D** растворили в горячей воде с образованием **C** (реакция 5), нейтрализовали стехиометрическим количеством раствора гидроксида натрия (в растворе образовалась соль **E**). При добавлении к полученному раствору избытка нитрата серебра выпадает 167,6 г осадка **G** (массовая доля серебра равна 77,327%).

Образованием кристаллогидратов при выпадении осадков следует пренебречь. При расчетах значения атомных масс следует округлять до целых значений, кроме хлора ($A_r(\text{Cl}) = 35,5$).

Вопросы и задания

- 1) Установите формулы веществ **A** – **G**. Формула вещества **G** должна быть выведена при помощи расчетов, а не угадана; если верность угаданной формулы будет проверена расчетом массовых долей элементов, то это не будет засчитано как расчет. Учтите, что молярная масса **A** находится в пределах от 230 до 270 г/моль.
- 2) Напишите уравнения реакций 1-5.
- 3) Определите массовый состав (в %) осадка, полученного при нейтрализации смеси кислот известковой водой.
- 4) Изобразите структурные формулы кислот **B** и **C**, если известно, что в этих кислотах атом элемента, образующий указанные соединения, имеет тетраэдрическое окружение.

Решение

1) Определим, что такое вещество **G**. Это вещество скорее всего является средней солью серебра, судя по описанию.

I способ (метод эквивалентов)

Можно записать выражение для определения молярной массы эквивалента кислотного остатка (обозначим его X):

$$\frac{M_X^{\text{ЭКВ}}}{M_{\text{Ag}}^{\text{ЭКВ}}} = \frac{22,673}{77,327}$$

Отсюда, молярная масса эквивалента кислотного остатка равна 31,667 г/моль. Перебирая валентности, получаем значение молярной массы кислотного остатка равное 95 г/моль (для валентности кислотного остатка равной трём). Следовательно, кислотный остаток – ортофосфат, соль **G** – ортофосфат серебра Ag_3PO_4 .

II способ (перебор по числу атомов серебра)

Пусть в формульной единице соли **G** содержится 1 атом серебра, тогда можно рассчитать молярную массу соли **G**:

$$M_G = \frac{1 \cdot M_{Ag}}{\omega_{Ag}} = \frac{108}{0,77327} = 139,667 \text{ (г/моль)}$$

Теперь можно посчитать молярную массу кислотного остатка в соли **G**:

$$M_{\text{кисл.ост.}} = M_G - 1 \cdot M_{Ag} = 139,667 - 108 = 31,667 \text{ г/моль}$$

Повторив аналогичный расчет для двух, трёх и четырёх атомов серебра в формульной единице (вряд ли будет иное число атомов серебра), может получить следующее:

Число атомов серебра в формульной единице	Молярная масса кислотного остатка, г/моль	Кислотный остаток
1	31,667	–
2	63,333	–
3	95,001	PO ₄ [–]
4	126,668	–

Делаем вывод, что соль **G** – ортофосфат серебра Ag₃PO₄.

2) Выведем формулу вещества **A**. Для этого сделаем следующие расчеты:

$$n(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 167,6 \text{ г} : 419 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль} = n(\text{P})$$

$$m(\text{P}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 31 \text{ г/моль} = 12,4 \text{ г}$$

$$m(\text{O})^{\text{из A}} = 25,2 \text{ г} - 12,4 \text{ г} = 12,8 \text{ г}$$

$$n(\text{O})^{\text{из A}} = 12,8 \text{ г} : 16 \text{ г/моль} = 0,8 \text{ моль}$$

Следовательно, простейшая формула оксида **A** – PO₂. С учетом указанного интервала допустимых значений молярной массы оксида **A**, можно сделать вывод, что молекулярная формула оксида **A** – P₄O₈. Может показаться, что степень окисления фосфора в этом оксиде равна +4, что не характерно для фосфора. При его окислении кислородом образуется P₄O₁₀ (P₂O₅) – вещество **D**.

3) Кислота **C** – ортофосфорная, судя по тому, что после образуется ортофосфат серебра. При растворении **A** в воде образуется ортофосфорная кислота, т.е. в этом оксиде есть фосфор со степенью окисления +5. С учетом того, что образуется равное количество другой кислоты **B**, и оксид **A** способен окисляться, то можно сделать вывод, то в оксиде **A** есть также фосфор со степенью окисления +3, причем его столько же, сколько и фосфора со степенью окисления +5. Следовательно, вещество **B** – фосфористая кислота H₃PO₃.

4) При взаимодействии раствора кислот с гидроксидом кальция образуются осадок, состоящий из средних солей фосфористой и ортофосфорной кислот, CaHPO₃ и Ca₃(PO₄)₂ соответственно.

Количества веществ солей:

$$n(\text{CaHPO}_3) = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,1 \text{ моль}$$

Массы солей:

$$m(\text{CaHPO}_3) = 0,2 \text{ моль} \cdot 120 \text{ г/моль} = 24 \text{ г}$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,1 \text{ моль} \cdot 310 \text{ г/моль} = 31 \text{ г}$$

Массовые доли солей:

$$\omega(\text{CaHPO}_3) = 24 \text{ г} : (24 \text{ г} + 31 \text{ г}) \cdot 100\% \approx 43,64\%$$

$$\omega(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 100\% - \omega(\text{CaHPO}_3) \approx 56,36\%$$

5) Уравнения реакций:

- 1) $\text{P}_4\text{O}_8 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$
- 2) $\text{H}_3\text{PO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaHPO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3) $2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{P}_4\text{O}_8 + \text{O}_2 \rightarrow \text{P}_4\text{O}_{10}$
- 5) $\text{P}_4\text{O}_{10} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_3\text{PO}_4$

6) Вещества:

A	B	C	D	E	G
P_4O_8	H_3PO_3	H_3PO_4	P_4O_{10}	Na_3PO_4	Ag_3PO_4

7) Структурные формулы:

Вещество В	Вещество С
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{P} \\ / \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad / \\ \text{P} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H}-\text{O} \quad \text{O}-\text{H} \end{array}$

Критерии оценивания

- 1) Определение формул веществ **A – G** – по 2 балла. Для вещества **G** должны быть приведены расчеты, иначе – 0 баллов.
- 2) Уравнения реакций 1-5 – по одному баллу, при отсутствии хотя бы одного коэффициента (неправильно выставленном коэффициенте) – 0,5 балла за реакцию.
- 3) Состав осадка – по 1 баллу за массовую долю каждого из компонентов, в сумме 2 балла.
- 4) Структурные формулы **B** и **C** – по 0,5 балла, в сумме 1 балл.