

9 КЛАСС
(автор О.Л.Саморукова)

Решение

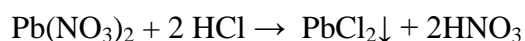
	HCl	NaOH	Pb(NO ₃) ₂	NH ₄ Cl	MgSO ₄	ZnSO ₄	BaCl ₂
HCl	-	-	↓раств при t	-	-	-	-
NaOH	-		↓раств в изб.	↑NH ₃	↓	↓раств. в изб.	-
Pb(NO ₃) ₂	↓раств при t	↓раств в изб.	-	↓раств при t	↓	↓	↓раств при t
NH ₄ Cl	-	↑NH ₃	↓раств при t	-	-	-	-
MgSO ₄	-	↓	↓	-	-	-	↓
ZnSO ₄	-	↓раств в изб.	↓	-	-	-	↓
BaCl ₂	-	↓слаб. помут.	↓раств при t	-	↓	↓	-
Число случаев ↓	1	3 (4)	6	1	3	3	3
Число случаев ↑	0	1	0	1	0	0	0

Ниже приведен один (наиболее оптимальный по нашему мнению) из возможных вариантов решения поставленной задачи.

1. Используя универсальную индикаторную бумагу, определяем HCl и NaOH. Если в пробирке находится кислота, то универсальная индикаторная бумага, смоченная раствором из пробирки, окрасится в красный цвет, а если в пробирке находится щёлочь – в синий цвет.

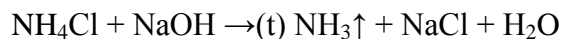
HCl и NaOH – определены.

2. Перенесем по несколько капель всех растворов (кроме идентифицированных уже кислоты и щелочи) в пять чистых пробирок. И в каждую из них добавим HCl. В пробирке, где образовался осадок находится **Pb(NO₃)₂**:



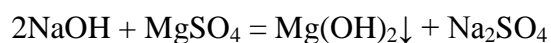
3. Несколько капель не идентифицированного раствор (NH₄Cl, MgSO₄, ZnSO₄, BaCl₂.) переносим в чистую пробирку, добавляем в нее NaOH и накрываем предметным стеклом, к которому приклеена универсальная индикаторная бумажка, смоченная дистиллированной водой. Пробирку нагреваем на водяной бане. Если

универсальная индикаторная бумажка окрасится в сине-зеленый цвет, то в пробирке находится **NH₄Cl**:

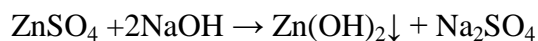


В пробирке, где не было реакции (не было видимых изменений) – находится **BaCl₂**

Там, где выпал осадок, нерастворяющийся в избытке щелочи, – находился **MgSO₄**



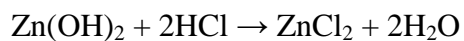
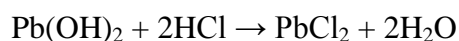
Там, где выпал осадок, растворяющийся в избытке щелочи, – находился **ZnSO₄**



Ответы на теоретические вопросы

Гидроксиды и оксиды свинца и цинка обладают амфотерными свойствами.

2.



Система оценивания

- | | |
|--|------------------|
| 1) За открытие кислоты и щелочи | 1*2 = 2 балла |
| 2) За открытие остальных пяти веществ: | 4*5 = 20 баллов* |
| 3) За таблицу | 5 баллов |
| 4) За 1-й теоретич. вопрос | 1 балл |
| 5) За 2-й теоретич. вопрос | 2 балла |

Итого

30 баллов

* Возможно множество других вариантов определения веществ. Количество шагов и реакций в них может быть различным. Поэтому оценивается максимально в 4 балла открытие любого из веществ ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NH_4Cl , MgSO_4 , ZnSO_4 , BaCl_2) со всеми необходимыми для определения данного вещества реакциями.

10 КЛАСС

(автор О.Л. Саморукова)

Решение

Ниже приведены примеры возможных вариантов решения.

Пример № 1.

1) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор NaOH и накрываем её предметным стеклом, к которому приклеена смоченная дистиллированной водой фенолфталеиновая бумага. Пробирку нагреваем на водяной бане. Наблюдаем окрашивание фенолфталеиновой бумаги в малиновый цвет.

Вывод: в смеси присутствует ион NH_4^+ .

В анализируемом растворе: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

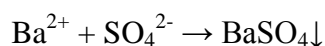
На поверхности фенолфталеиновой бумаги: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

2) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор HCl . Видимых изменений не наблюдается.

Вывод: в смеси отсутствует ион Pb^{2+} .

3) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор H_2SO_4 . Выпадает белый осадок.

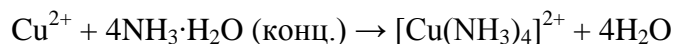
Вывод: поскольку доказали отсутствие ионов Pb^{2+} , а кроме них только барий образует нерастворимый сульфат, то в смеси присутствует ион Ba^{2+} .



4) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Наблюдаем образование зеленовато-бурого осадка.

Раствор оставляем для отстаивания. После отстаивания раствор над осадком имеет сине-фиолетовую окраску.

Вывод: в смеси присутствует ион **Cu²⁺**, кроме того, цвет осадка говорит о том, что также в смеси, вероятно, присутствуют ионы Fe³⁺ или Fe²⁺.

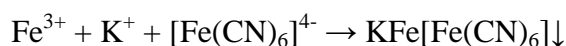


5) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем 2 – 3 капли H₂SO₄ и раствор K₃[Fe(CN)₆]. Наблюдаем зеленовато-бурое окрашивание смеси, темно-синий осадок отсутствует.

Вывод: в смеси отсутствует ион Fe²⁺.

6) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем 2 – 3 капли H₂SO₄ и раствор K₄[Fe(CN)₆]. Выпадает осадок темно-синего цвета.

Вывод: в смеси присутствует ион **Fe³⁺**.



Таким образом, анализируемый раствор содержит следующие ионы: NH₄⁺, Ba²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺.

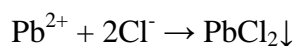
Пример № 2

1) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор NaOH и накрываем её предметным стеклом, к которому приклеена смоченная дистиллированной водой фенолфталеиновая бумага. Пробирку нагреваем на водяной бане. Видимых изменений цвета индикаторной бумаги не наблюдается.

Вывод: в смеси отсутствует ион NH₄⁺.

2) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем раствор HCl. Наблюдаем образование белого осадка.

Вывод: в смеси присутствует ион **Pb²⁺**.



В присутствии ионов Pb^{2+} обнаружить ионы Ba^{2+} по реакции образования осадка $BaSO_4$ с серной кислотой невозможно, поскольку $PbSO_4$ также нерастворим. Поэтому взаимодействие с H_2SO_4 не осуществляем.

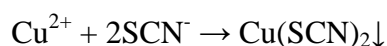
3) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем кристаллический NH_4SCN . Смесь перемешиванием до растворения реагента. Наблюдаем кроваво-красное окрашивание раствора.

Вывод: в смеси присутствует ион Fe^{3+} .



4) Пробирку со смесью, полученной в предыдущем эксперименте – при обнаружении ионов Fe^{3+} , нагреваем на водяной бане. Наблюдаем образование на дне пробирки белого осадка.

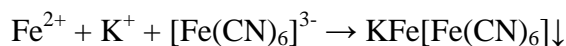
Вывод: в смеси присутствует ион Cu^{2+} .



белый

5) В чистую пробирку переносим несколько капель исследуемого раствора, добавляем 2 – 3 капли H_2SO_4 и раствор $K_3[Fe(CN)_6]$. Наблюдаем выпадение темно-синего осадка.

Вывод: в смеси присутствует ион Fe^{2+} .



Таким образом, анализируемый раствор содержит следующие ионы: Pb^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} . Поскольку обнаружены все 4 катиона, можно заключить (из условия задачи), что ион Ba^{2+} в анализируемом растворе отсутствует.

Для наглядности приводим обобщающую таблицу:

Определяемый катион	Реагент, условия	Результат	Примечание
NH_4^+	$NaOH, t^\circ$	Окрашивание фенолфталеиновой	-

		бумаги в малиновый цвет	
Ba ²⁺	H ₂ SO ₄	Выпадает белый осадок	Осадок не растворяется в растворах кислот
Pb ²⁺	HCl	Выпадает белый осадок	Осадок растворяется при нагревании
Cu ²⁺	NH ₃ ·H ₂ O, избыток	Сине-фиолетовое окрашивание раствора	В присутствии ионов, образующих нерастворимые гидроксиды, необходимо отстаивание
	NH ₄ SCN, t°	Выпадает черный осадок, белеющий при нагревании	-
Fe ²⁺	K ₃ [Fe(CN) ₆], H ₂ SO ₄	Выпадает темно-синий осадок	Осадок не растворяется в сильных кислотах
Fe ³⁺	K ₄ [Fe(CN) ₆], H ₂ SO ₄	Выпадает темно-синий осадок	Осадок растворяется в сильных кислотах и большом избытке реактива
	NH ₄ SCN	Кроваво-красное окрашивание раствора	-

Ответы на теоретические вопросы

K₃[Fe(CN)₆] – гексацианоферрат (III) калия, красная кровяная соль, гексацианоферрат калия.

K₄[Fe(CN)₆] – гексацианоферрат (II) калия, желтая кровяная соль, гексацианоферрат калия.

NH₄SCN – роданид аммония, тиоцианат аммония, аммоний роданистый

Система оценивания

- | | |
|---|-------------------|
| <i>1) За обнаружение 4 ионов – по 3,5б.</i> | <i>14б.</i> |
| <i>2) За запись уравнений реакций, подтверждающих присутствие катионов, - по 1б.</i> | <i>4б.</i> |
| <i>3) За ответы на теоретические вопросы – по 1б за любые два названия из трех, приведенных в решении, для каждого реагента</i> | <i>всего 6 б.</i> |
| <i>4) За описание хода эксперимента и наблюдаемых явлений</i> | <i>6 б.</i> |
| <i>Итого:</i> | <i>30б.</i> |

Таблица дана как обучающий компонент. От школьника представление данной таблицы не требуется.

11 КЛАСС

(автор М.А. Ильин)

Ответы на теоретические вопросы

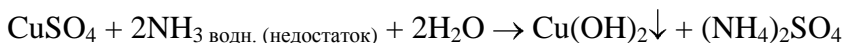
1. Координационная формула моногидрата сульфата тетраамминмеди(II) – $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

2. Типы химических связей присутствуют в кристаллическом $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$:

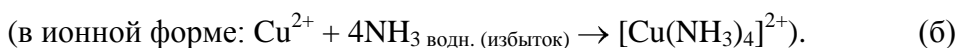
- ковалентные полярные (связи N–H, Cu–N, S=O, O–H),
- ионные (между комплексными частицами $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ и сульфат-ионами),
- водородные (например, между молекулами кристаллизационной воды).

Механизмы образования ковалентных связей в этом соединении: «обменный» и донорно-акцепторный.

3. Уравнения реакций, которые протекали при добавлении а) недостатка и б) избытка аммиака к раствору сульфата меди(II):



(примечание: допускается также запись уравнения образования вместо гидроксида меди ее основных солей)



4. Для расчета выхода продукта реакции (η) необходимо знать массу полученного соединения ($m_{\text{экс.}}$) и массу продукта, рассчитанную на введенное количество медного купороса:

$$\eta = \frac{m_{\text{экс.}}}{m_{\text{теор.}}} \cdot 100\%;$$

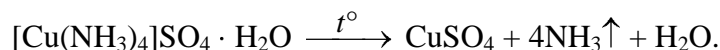
$$m_{\text{теор.}} = \frac{m_{\text{навески}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} \cdot M([\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = \frac{m_{\text{навески}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{250 \text{ г/моль}} \cdot 246 \text{ г/моль}$$

(примечание: поскольку значение рассчитанного участником выхода сильно влияет на выставаемый балл, членам комиссии следует обратить внимание на полноту высушивания осадка и правильность его взвешивания участником)

Изучение некоторых свойств полученного соединения

Опыт 1.

При нагревании сине-фиолетовые кристаллы полученного соединения разлагаются с образованием светло-голубого сульфата меди(II):



На более холодных стенках пробирки конденсируются капли воды (точнее, аммиачной воды (воды, содержащей растворенный в ней аммиак)).

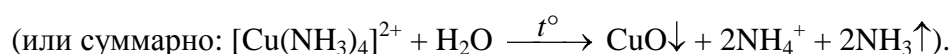
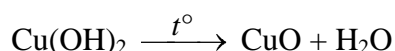
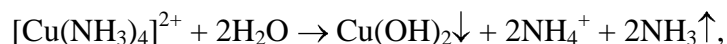
Влажная индикаторная бумажка, поднесенная к отверстию пробирки, фиксирует выделение газообразного аммиака (проявляющего основные свойства) и изменяет свой цвет.

Опыт 2.

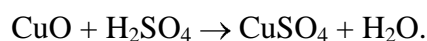
Уравнение реакции диссоциации полученного комплексного соединения в водном растворе:



При кипячении раствора полученного комплекса протекает его аквагидролиз и последующий гидролиз. Поскольку образующийся при этом гидроксид меди(II) термически неустойчив, он разлагается с образованием черного оксида меди(II) (в виде налета на стенках пробирки):

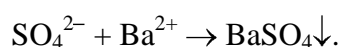


Черный налет оксида меди(II), образовавшийся на стенках пробирки, полностью растворяется в кислотах:



Опыт 3.

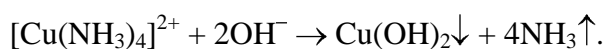
Для доказательства присутствия сульфат-ионов в растворе полученного соединения можно воспользоваться качественной реакцией с раствором солей бария:



При этом выпадает белый осадок сульфата бария (на самом деле, в данном случае осадок имеет светло-голубую окраску за счет частичной сорбции ионов меди из раствора).

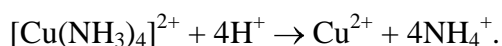
Опыт 4.

При добавлении раствора гидроксида натрия полученное комплексное соединение разрушается и выпадает голубой осадок гидроксида меди(II):

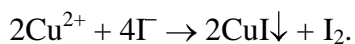


Опыт 5.

В кислой среде полученное комплексное соединение также разрушается и окраска раствора изменяется с сине-фиолетовой на голубую:



При добавлении KI к получившемуся в пробирке раствору, содержащему ионы Cu^{2+} , происходит окислительно-восстановительная реакция, сопровождающаяся образованием иода и выпадением осадка иодида меди(I):



Система оценивания экспериментального тура

При ознакомлении с системой оценивания членам жюри и преподавателям, наблюдающим в лаборатории за ходом выполнения эксперимента, необходимо ознакомиться также с пояснительной запиской (для организаторов)

Проведение синтеза соединения

<i>Техника эксперимента</i>	<i>1,5 балла;</i>
<i>Выход комплексного соединения:</i>	
<i>≥70 %</i>	<i>10 баллов;</i>
<i>69 – 60 %</i>	<i>9 баллов;</i>
<i>59 – 50 %</i>	<i>8 баллов;</i>
<i>49 – 40 %</i>	<i>7 баллов;</i>
<i>39 – 30 %</i>	<i>6 баллов;</i>
<i>менее 30 %</i>	<i>5 баллов.</i>

Ответы на теоретические вопросы

<i>1. Координационная формула</i>	<i>0,5 балла;</i>
<i>2. Типы химических связей</i>	<i>0,5 балла × 3 = 1,5 балла;</i>
<i>Названия механизмов образования ковалентных связей</i>	<i>0,5 балла × 2 = 1 балл;</i>
<i>3. Уравнения реакций взаимодействия с недостатком и избытком NH_3 водн.</i>	<i>1 балл × 2 = 2 балла;</i>
<i>4. Вывод формул для расчета выхода продукта</i>	<i>1 балл.</i>

Изучение некоторых свойств полученного соединения

Опыт 1.

Наблюдения	0,5 балла;
Состав конденсата	0,5 балла;
Объяснение изменения цвета индикатора	0,5 балла;
Уравнение реакции термического разложения	1 балл.

Опыт 2.

Уравнение реакции диссоциации	1 балл;
Наблюдения	0,5 балла;
Состав черного налета	0,5 балла;
Уравнения реакций	1 балл \times 2 = 2 балла.

Опыт 3.

Уравнение качественной реакции на сульфат-ион	1 балл;
Наблюдения	0,5 балла.

Опыт 4.

Наблюдения	0,5 балла;
Уравнение реакции	1 балл.

Опыт 5.

Наблюдения (при добавлении кислоты и при добавлении KI)	0,5 балла \times 2 = 1 балл;
Уравнения реакций (при добавлении кислоты и при добавлении KI)	1 балл \times 2 = 2 балла.

Итого за экспериментальный тур (максимальный балл) 30 баллов.