

# 11 КЛАСС

(автор М.А. Ильин)

## Ответы на теоретические вопросы

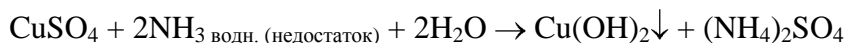
1. Координационная формула моногидрата сульфата тетраамминмеди(II) –  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

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

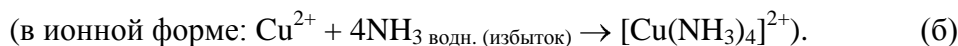
- ковалентные полярные (связи N–H, Cu–N, S=O, O–H),
- ионные (между комплексными частицами  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  и сульфат-ионами),
- водородные (например, между молекулами кристаллизационной воды).

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 ( $\eta$ ) необходимо знать массу полученного соединения ( $m_{\text{экс.}}$ ) и массу продукта, рассчитанную на введенное количество медного купороса:

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

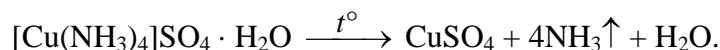
$$m_{\text{теор.}} = \frac{m_{\text{навески}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} \cdot M([\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = \frac{m_{\text{навески}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{250 \text{ г/моль}} \cdot 246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

*(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)).

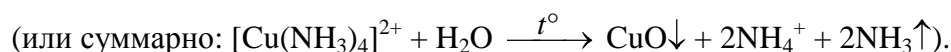
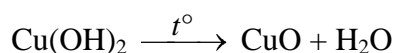
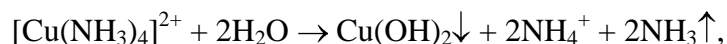
Влажная индикаторная бумажка, поднесенная к отверстию пробирки, фиксирует выделение газообразного аммиака (проявляющего основные свойства) и изменяет свой цвет.

### **Опыт 2.**

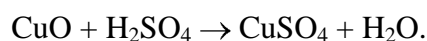
Уравнение реакции диссоциации полученного комплексного соединения в водном растворе:



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):

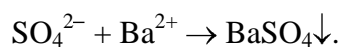


Черный налет оксида меди(II), образовавшийся на стенках пробирки, полностью растворяется в кислотах:



### **Опыт 3.**

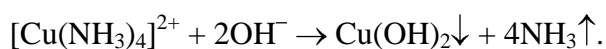
Для доказательства присутствия сульфат-ионов в растворе полученного соединения можно воспользоваться качественной реакцией с раствором солей бария:



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).

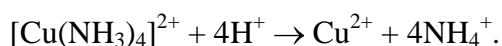
#### **Опыт 4.**

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

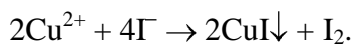


#### **Опыт 5.**

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  $\text{Cu}^{2+}$ , 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

- 1. Координационная формула* *0,5 балла;*
- 2. Типы химических связей* *0,5 балла × 3 = 1,5 балла;*
- Названия механизмов образования ковалентных связей* *0,5 балла × 2 = 1 балл;*
- 3. Уравнения реакций взаимодействия с недостатком и избытком  $\text{NH}_3$  водн.* *1 балл × 2 = 2 балла;*
- 4. Вывод формул для расчета выхода продукта* *1 балл.*

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.