



# КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Медведев Ю. Н., МПГУ

Число известных химических веществ с каждым годом возрастает. Если, по данным Американского химического общества, с 1920 по 1964 г. в лабораториях всего мира было получено чуть больше 1 миллиона соединений, то за такой же период с 1965 по 2011 г. химики синтезировали уже 6 миллионов новых соединений. Всего же в настоящее время химикам известно более 20 миллионов различных веществ. Около 75% вновь синтезированных соединений упоминается в научной литературе лишь однажды — в статье синтезировавшего их химика. Подавляющее большинство известных науке соединений синтезировано в чисто научных целях и не имеет никакого практического применения.

Ежедневно в мире синтезируется около тысячи новых веществ, и синтезом дело не заканчивается — надо установить состав, строение и важнейшие свойства синтезированного вещества. Состав веществ устанавливается аналитическими методами. Современные аналитические методы довольно сложны, и в следующих номерах журнала мы познакомим вас с некоторыми из них. В настоящей статье речь пойдет о качественных реакциях на неорганические вещества и ионы, с помощью которых можно установить состав некоторых веществ. Многие из качественных реакций настолько просты, что вполне доступны для проведения в любой школьной лаборатории. Знание некоторых качественных реакций входит в Требования к уровню подготовки выпускников общеобразовательных школ и, в частности, проверяется на Едином государственном экзамене по химии.

**К**ачественный анализ — важнейший раздел аналитической химии. Основной задачей качественного анализа являются установление элементарного и молекулярного состава веществ, а также обнаружение элементов и отдельных соединений в различных материалах. Качественный анализ широко применяется в заводских, научно-исследовательских и других лабораториях для контроля процессов производства, качества продукции,

установления состава исследуемых объектов и многих других целей. При помощи качественного анализа можно решать следующие задачи (см. схему).

Возможности качественного анализа не ограничиваются приведенным списком, они постоянно расширяются и развиваются.

*Качественной реакцией называется реакция между определяемым веществом и специальным реаген-*

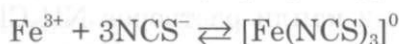
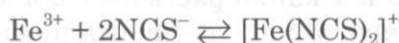
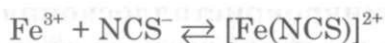


Схема

том, сопровождающаяся проявлением определенных специфических признаков.

Таковыми признаками могут быть: изменение окраски раствора, образование характерного осадка, выделение газа. Рассмотрим подробнее примеры таких признаков.

**Изменение окраски раствора.** Например, при добавлении тиоцианата калия\* KNCS к раствору, содержащему ионы железа Fe<sup>3+</sup>, образуются тиоцианатные комплексы железа, имеющие интенсивную красную (точнее – кроваво-красную) окраску:

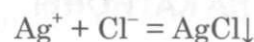


Никакой другой ион не дает столь характерного красного окрашивания раствора.

**Образование осадков характерной структуры и цвета.** Например, при

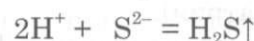
\* Тиоцианаты (ранее называемые роданидами) – соли тиоциановой (родановой) кислоты HNCS.

взаимодействии хлорид-ионов Cl<sup>-</sup> с ионами серебра выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра AgCl



По внешнему виду осадок хлорида серебра невозможно спутать с кристаллическими осадками сульфата бария или карбоната кальция такого же цвета. В то же время белые осадки сульфата бария и карбоната кальция можно различить по действию минеральных кислот: сульфат бария не растворяется в кислотах, в то время как карбонат кальция взаимодействует с кислотами с выделением углекислого газа.

**Выделение газообразных веществ.** Например, при действии кислот на растворы, содержащие сульфид-ион S<sup>2-</sup>, выделяется газообразный сероводород, легко узнаваемый по запаху:



Аналитические реакции проводят при строго определенных условиях. Так, ионы железа определяют с помощью тиоцианат-ионов в слабокислой, но не в щелочной среде, поскольку в щелочной

среде тиоцианатный комплекс разрушается с образованием осадка гидроксида железа. Напротив, осаждение нерастворимых карбонатов бесполезно проводить в кислой среде, т.к. карбонат-ионы с кислотами образуют углекислый газ и воду. Важен и температурный режим проведения качественных реакций: так, хлорид свинца следует осаждать из охлажденного раствора, поскольку при нагревании его растворимость существенно возрастает.

Ниже приведены наиболее доступные для выполнения качественные реакции, не требующие использования очень редких, малодоступных или ядовитых реактивов (например, солей ртути, урана, сурьмы и пр.).

### КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА КАТИОНЫ

#### 1. Качественная реакция на ионы лития $\text{Li}^+$

Соли лития окрашивают пламя в карминово-красный цвет.

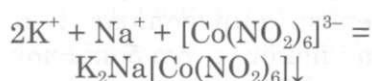
#### 2. Качественная реакция на ионы натрия $\text{Na}^+$

Соли натрия окрашивают пламя горелки в желтый цвет.

#### 3. Качественные реакции на ионы калия $\text{K}^+$

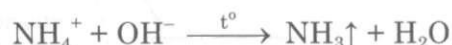
1. Соли калия окрашивают пламя горелки в фиолетовый цвет (хорошо различимый через синее стекло, поглощающее желтую окраску, вызванную возможными примесями натрия).

2. Гексанитратокобальтат(III) натрия  $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  образует желтый кристаллический осадок с ионом калия:



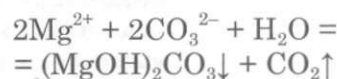
#### 4. Качественная реакция на ионы аммония $\text{NH}_4^+$

При действии щелочей при нагревании выделяется аммиак, который обнаруживают по характерному запаху или по посинению влажной лакмусовой бумаги:

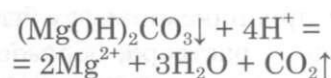


#### 5. Качественные реакции на ионы магния $\text{Mg}^{2+}$

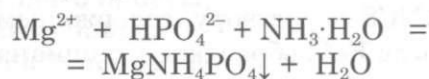
1. При действии карбонат-ионов из водных растворов солей магния осаждается белый осадок гидрокарбоната магния\*:



Осадок растворяется в кислотах с выделением газа:



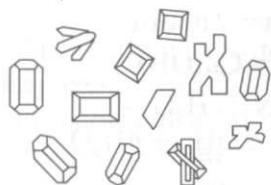
2. Гидрофосфат-ионы дают с ионами магния в присутствии хлорида аммония и аммиака белый кристаллический осадок двойного фосфата магния-аммония:



При наличии в лаборатории микроскопа эту реакцию можно использовать в качестве **микрорископической**, для чего к 1 капле раствора соли магния прибавляют 5 капель дистиллированной воды, по 2 капли растворов  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и аммиака, смесь перемешать. На предметное стекло помещают каплю полученного раствора, а рядом – каплю раствора гидрофосфата натрия, соединяют их стеклянной палочкой и рассматривают образовавшийся

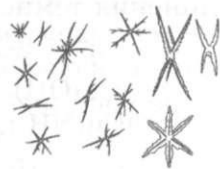
\* Приведена упрощенная формула осадка, состав которого более правильно записать как  $n\text{MgCO}_3 \cdot m\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

ся осадок под микроскопом. На рисунках ниже приведен вид кристаллов под микроскопом при медленной и быстрой кристаллизации.



Кристаллы  
 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$

при медленной кристаллизации



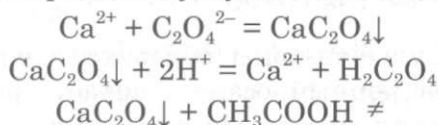
Кристаллы  
 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$

при быстрой кристаллизации

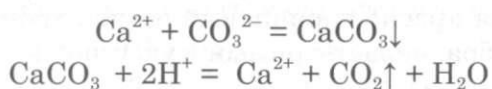
## 6. Качественные реакции на ионы кальция $Ca^{2+}$

1. Соединения кальция окрашивают пламя горелки в кирпично-красный цвет.

2. Оксалат аммония образует с ионами кальция белый кристаллический осадок, растворимый в минеральных кислотах, но нерастворимый в уксусной кислоте:

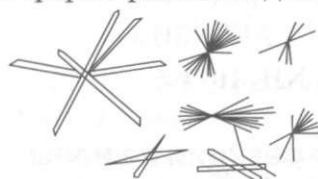


3. Карбонат-ионы образуют с ионами кальция белый кристаллический осадок, растворимый в соляной кислоте с выделением углекислого газа:



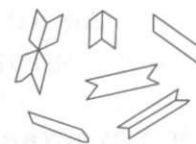
4. При наличии микроскопа можно провести микрокристаллоскопическую реакцию на ионы кальция. Осаждение  $Ca^{2+}$  в виде кристаллов гипса  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  является наиболее характерной реакцией на кальций. К капле исследуемого раствора на предметном стекле прибавляют каплю разбавленной серной кислоты. В присутствии ионов  $Ca^{2+}$  выпадают длинные иглы  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Несколько позже, преимущественно из сравнительно концентрированных растворов, выделяются пластинки в форме ромбов и двойников.

Кристаллы  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  из разбавленных растворов



Кристаллы  
 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

из разбавленных растворов



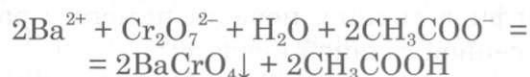
Кристаллы  
 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

из концентрированных растворов

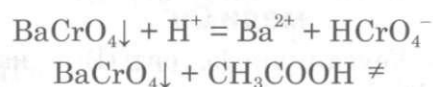
## 7. Качественные реакции на ионы бария $Ba^{2+}$

1. Соли бария окрашивают пламя в яблочно-зеленый цвет.

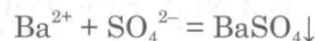
2. Ион бария образует с дихроматом калия  $K_2Cr_2O_7$  в присутствии ацетат-ионов желтый осадок хромата бария  $BaCrO_4$ :



Осадок хромата бария растворим в  $HCl$  и  $HNO_3$ , но нерастворим в уксусной кислоте:

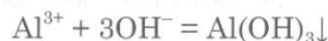


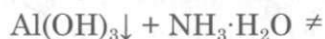
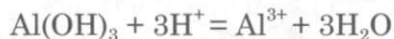
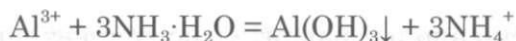
3. Образование с сульфат-ионами белого мелкокристаллического осадка, нерастворимого в минеральных кислотах и щелочах:



## 8. Качественная реакция на ионы алюминия $Al^{3+}$

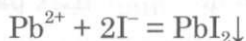
Образование при действии щелочей и раствора аммиака белого студенистого осадка  $Al(OH)_3$ , растворимого в кислотах и в избытке щелочи, но не растворимого в избытке аммиака (отличие от ионов цинка):





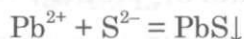
### 9. Качественные реакции на ионы свинца $\text{Pb}^{2+}$

1. Ионы свинца осаждаются иодид-ионами с образованием характерного золотисто-желтого осадка  $\text{PbI}_2$ :



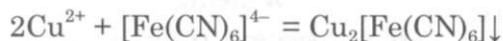
Осадок можно растворить в горячей воде, подкисленной уксусной кислотой, и раствор медленно охладить. При этом выделяются золотисто-желтые кристаллы  $\text{PbI}_2$  («золотой дождь»).

2. Сульфид-ионы осаждают ионы свинца из раствора в виде черного осадка сульфида свинца, нерастворимого в разбавленной соляной кислоте:

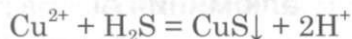


### 10. Качественные реакции на ионы меди $\text{Cu}^{2+}$

1. Гексацианоферрат(II) калия\*  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  образует с раствором соли меди красно-бурый осадок  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , нерастворимый в разбавленных кислотах, но растворимый в растворе аммиака:



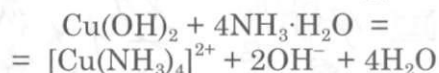
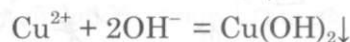
2. Сероводород образует черный осадок сульфида меди  $\text{CuS}$ :



Осадок нерастворим в соляной и серной кислотах, но растворяется в горячей концентрированной  $\text{HNO}_3$ .

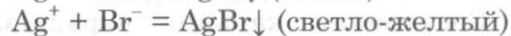
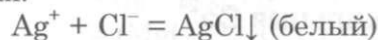
\* Тривиальное название – желтая кровяная соль.

3. Гидроксиды щелочных металлов осаждают голубой осадок  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , который растворяется в концентрированном растворе аммиака с образованием комплексного соединения темно-синего цвета:

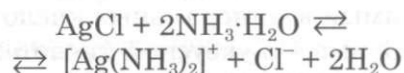


### 11. Качественные реакции на ионы серебра $\text{Ag}^+$

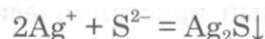
1. Галогенид-ионы с ионами серебра образуют характерные творожистые осадки, не растворимые в минеральных кислотах:



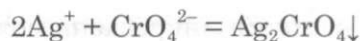
Осадок хлорида серебра растворяется в избытке раствора аммиака с образованием комплекса:



2. Сульфид-ионы образуют с ионами серебра черный осадок, нерастворимый в минеральных кислотах (кроме горячей азотной кислоты):

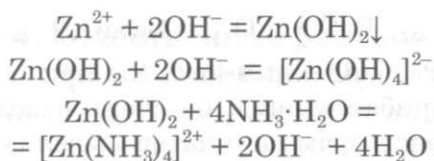


3. Хромат-ионы образуют с ионами серебра красно-коричневый осадок хромата серебра, нерастворимый в уксусной кислоте:



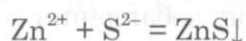
### 12. Качественные реакции на ионы цинка $\text{Zn}^{2+}$

1. Гидроксиды щелочных металлов осаждают из растворов солей цинка белый студнеобразный осадок  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , который растворим в избытке щелочи или в аммиачной воде с образованием комплексных соединений:



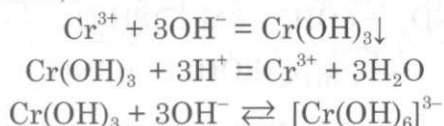
Последняя реакция позволяет отличить гидроксид цинка от гидроксида алюминия, растворимого в щелочи, но нерастворимого в аммиаке.

2. Сероводород при  $\text{pH} > 2,2$ , а также сульфиды щелочных металлов и аммония осаждают из растворов солей цинка белый осадок сульфида цинка, растворимый в минеральных кислотах:

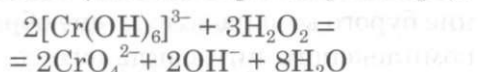


### 13. Качественные реакции на ионы хрома $\text{Cr}^{3+}$

1. Водные растворы аммиака и щелочей осаждают серо-зеленый осадок гидроксида хрома, растворимый в кислотах и щелочах (в последнем случае образуется ярко-зеленый раствор, содержащий гидроксохромит-ионы):

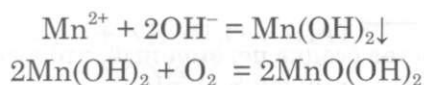


2. В щелочной среде под действием окислителей (например, пероксидов или хлорной воды) ионы хрома окисляются до хромат-ионов (желтая окраска раствора):

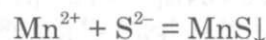


### 14. Качественные реакции на ионы марганца $\text{Mn}^{2+}$

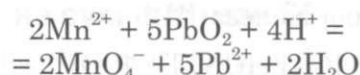
1. Щелочи с ионами марганца образуют белый аморфный осадок, быстро темнеющий на воздухе вследствие окисления:



2. Сульфид-ионы образуют с ионами марганца осадок светло-розового («телесного») цвета:

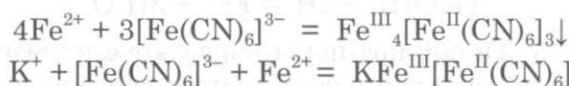


3. Сильные окислители ( $\text{PbO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ,  $\text{NaBiO}_3$ ) окисляют ионы  $\text{Mn}^{2+}$  до перманганат-ионов с появлением характерной малиновой окраски раствора:

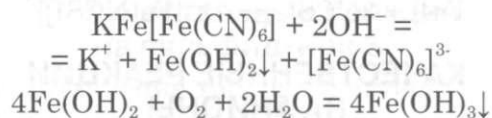


### 15. Качественные реакции на ионы железа(II) $\text{Fe}^{2+}$

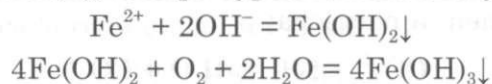
1. Гексацианоферрат(III) калия\*  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  с ионами железа образует или темно-синий осадок турнбулевой сини, или ее растворимую (коллоидную) форму:



Турнбулева синь разрушается щелочами – образуется зеленый осадок гидроксида, быстро переходящий в коричневый из-за окисления кислородом воздуха:



2. При действии щелочей на ионы  $\text{Fe}^{2+}$  образуется зеленоватый осадок гидроксида железа(II), быстро буреющий на воздухе:

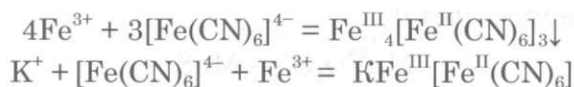


### 16. Качественные реакции на ионы железа(III) $\text{Fe}^{3+}$

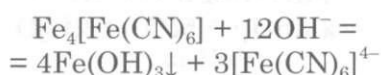
1. Гексацианоферрат(II) калия  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , реагируя с ионами  $\text{Fe}^{3+}$ , в зависимости от условий образует или темно-

\* Тривиальное название – красная кровяная соль.

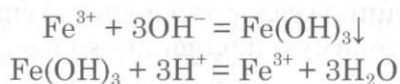
синий осадок берлинской лазури, или ее растворимую (коллоидную) форму:



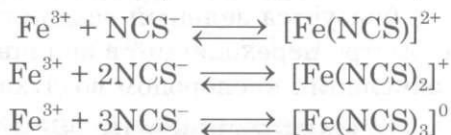
Берлинская лазурь (как и турнбулева синь) нерастворима в разбавленных минеральных кислотах, но разлагается щелочами с образованием бурого осадка гидроксида железа(III):



2. Растворы аммиака и щелочей осаждают красно-бурый осадок гидроксида железа(III), растворимый в кислотах и нерастворимый в разбавленных щелочах:



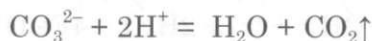
3. Тиоцианат-ионы образуют с ионами железа различные по составу комплексы, окрашенные в кроваво-красный цвет:



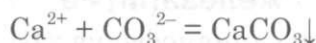
## КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА АНИОНЫ

### 1. Качественные реакции на карбонат-ион $\text{CO}_3^{2-}$

1. Выделение бесцветного газа при подкислении раствора:

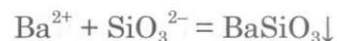


2. Образование белого осадка при взаимодействии с солями кальция или бария:

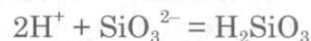


### 2. Качественные реакции на силикат-ионы $\text{SiO}_3^{2-}$

1. Ионы бария образуют с силикат-ионами белый осадок силиката бария:

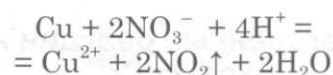


2. Разбавленные кислоты при медленном прибавлении к не очень разбавленным растворам силикатов выделяют студенистый осадок (гель) кремниевой кислоты\*:

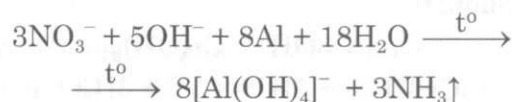


## 3. Качественные реакции на нитрат-ион $\text{NO}_3^-$

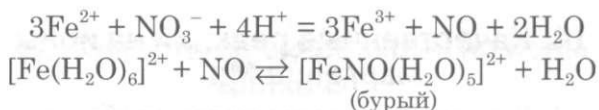
1. Нитраты реагируют с медью в присутствии концентрированной серной кислоты с выделением диоксида азота (бурого газа) и образованием зеленовато-синего раствора (при добавлении воды раствор становится голубым):



2. Цинк или алюминий восстанавливают нитраты в щелочной среде до аммиака, выделяющийся аммиак можно обнаружить по запаху и окрашиванию влажной красной лакмусовой бумажки в синий цвет:



3. При внесении в раствор, содержащий нитрат-ионы, кристаллика сульфата железа(II) и нескольких капель концентрированной серной кислоты, вокруг кристаллика соли наблюдается появление бурого кольца вследствие образования комплексного нитрозильного соединения железа («реакция бурого кольца»):

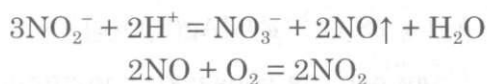


Аналогичная реакция протекает и с нитрит-ионами.

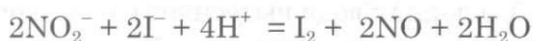
\* Состав осадка переменный, что лучше выражается формулой  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

#### 4. Качественные реакции на нитрит-ион $\text{NO}_2^-$

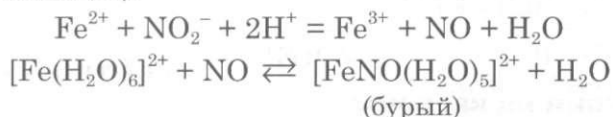
1. Кислоты взаимодействуют с нитрит-ионами с образованием азотистой кислоты, которая разлагается (диспропорционирует) с выделением газа, бурящего на воздухе ( $\text{NO}$  окисляется до  $\text{NO}_2$ ):



2. Нитрит-ионы окисляют иодид-ионы до иода, образование которого можно обнаружить по посинению крахмала:

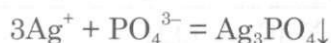


3. При внесении в раствор, содержащий нитрит-ионы, кристаллика сульфата железа(II) и нескольких капель концентрированной серной кислоты, вокруг кристаллика соли наблюдается появление бурого кольца вследствие образования комплексного нитрозильного соединения железа («реакция бурого кольца»):

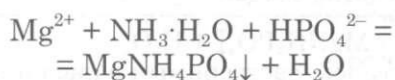


#### 5. Качественные реакции на ортофосфат-ион $\text{PO}_4^{3-}$

1. Образование с солями серебра желтого осадка, легко растворимого в азотной кислоте или растворе аммиака:

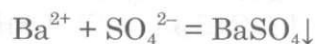


2. Магнезиальная смесь (водный раствор аммиака, хлорида аммония и хлорида магния) образует с фосфат-ионами белый кристаллический осадок магний-аммоний фосфата, растворимый в минеральных кислотах:



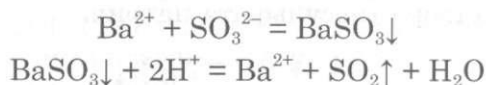
#### 6. Качественные реакции на сульфат-ион $\text{SO}_4^{2-}$

Образование с ионами бария белого кристаллического осадка, нерастворимого в кислотах и щелочах:

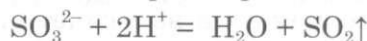


#### 7. Качественные реакции на сульфит-ион $\text{SO}_3^{2-}$

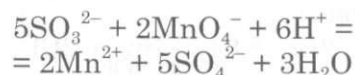
1. Образование с ионами бария белого кристаллического осадка, растворимого в кислотах:



2. Выделение газа с резким запахом при подкислении раствора:



3. Обесцвечивание розового подкисленного раствора перманганата калия:

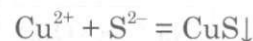


#### 8. Качественные реакции на сульфид-ион $\text{S}^{2-}$

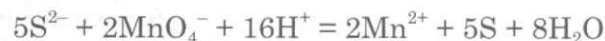
1. Выделение газа с характерным запахом при подкислении раствора:



2. Образование черного осадка при взаимодействии с ионами меди:



3. Обесцвечивание розового раствора перманганата калия:

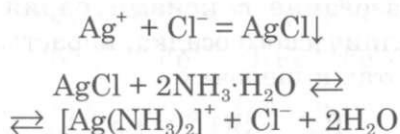


#### 9. Качественная реакция на хлорид-ион $\text{Cl}^-$

Образование белого творожистого осадка хлорида серебра, нерастворимого в кис-

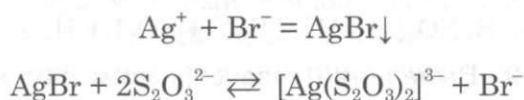


лотах, но растворимого в избытке аммиака:

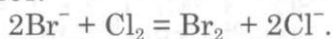


### 10. Качественные реакции на бромид-ион $\text{Br}^-$

1. Образование светло-желтого творожистого осадка бромида серебра, нерастворимого в кислотах, но растворимого в растворе тиосульфата натрия:

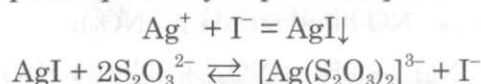


2. Хлорная вода вытесняет из растворов бромидов бром, окрашивающий слой органического растворителя (бензина, бензола, тетраоксида углерода) в оранжевый цвет:

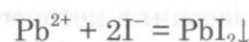


### 11. Качественные реакции на иодид-ион $\text{I}^-$

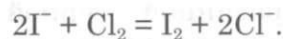
1. Образование желтого творожистого осадка бромида серебра, нерастворимого в кислотах и в аммиаке, малорастворимого в растворе тиосульфата натрия:



2. Соли свинца образуют с иодид-ионами желтый осадок иодида свинца:



3. Хлорная вода вытесняет из растворов иодидов иод, окрашивающий слой органического растворителя (бензина, бензола, тетраоксида углерода) в фиолетово-розовый цвет:



Обобщим сказанное. Приведенные ниже сводные таблицы помогут вам в систематизации содержащегося в статье учебного материала.

Таблица 1

#### Качественные реакции на катионы

Открываемый катион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
$\text{Li}^+$	Цвет пламени	Окрашивание пламени в карминово-красный цвет
$\text{Na}^+$	Цвет пламени	Окрашивание пламени в желтый цвет
$\text{K}^+$	Цвет пламени	Окрашивание пламени в фиолетовый цвет
	$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$2\text{K}^+ + \text{Na}^+ + [\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{3-} = \text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow$ Желтый кристаллический осадок
$\text{NH}_4^+$	$\text{OH}^-$	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \xrightarrow{t^\circ} \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ Выделение газа с резким запахом, вызывающего посинение лакмусовой бумаги
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$2\text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = (\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$ Белый, растворимый в кислотах осадок
	$\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ Белый кристаллический осадок, растворимый в кислотах

Продолжение таблицы 1

Открываемый катион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
$\text{Ca}^{2+}$	Цвет пламени	Окрашивание пламени в оранжево-красный цвет
	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} = \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$ Белый осадок, растворимый в минеральных кислотах, но не растворимый в уксусной кислоте
	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3\downarrow$ Белый осадок, растворимый в кислотах
$\text{Ba}^{2+}$	Цвет пламени	Окрашивание пламени в яблочно-зеленый цвет
	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4\downarrow$ Белый осадок, нерастворимый в кислотах
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{CH}_3\text{COO}^-$	$2\text{Ba}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- = 2\text{BaCrO}_4\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COOH}$ Желтый осадок, растворимый в соляной и азотной кислоте, но нерастворимый в уксусной кислоте
$\text{Al}^{3+}$	$\text{OH}^-$	$\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ Белый осадок, растворимый в избытке щелочи, но нерастворимый в избытке аммиака
$\text{Pb}^{2+}$	$\text{I}^-$	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2\downarrow$ Желтый осадок, растворимый в кипящей воде, подкисленной уксусной кислотой
	$\text{S}^{2-}$	$\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{PbS}\downarrow$ Черный осадок, нерастворимый в разбавленных кислотах
$\text{Cu}^{2+}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	$\text{Cu}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]\downarrow$ Красно-бурый осадок, растворимый в аммиаке
	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = \text{CuS}\downarrow + 2\text{H}^+$ Черный осадок, нерастворимый в разбавленных кислотах
	$\text{OH}^-$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow$ Голубой осадок, растворимый в аммиаке с образованием ярко-синего раствора
$\text{Ag}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}\downarrow$ Белый творожистый осадок, не растворимый в кислотах, но растворимый в избытке аммиака
	$\text{S}^{2-}$	$2\text{Ag}^+ + \text{S}^{2-} = \text{Ag}_2\text{S}\downarrow$ Черный осадок, не растворимый в минеральных кислотах
	$\text{CrO}_4^{2-}$	$2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} = \text{Ag}_2\text{CrO}_4\downarrow$ Красно-коричневый осадок, нерастворимый в уксусной кислоте
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{OH}^-$	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow$ Белый осадок, растворимый в избытке щелочи или аммиака
	$\text{S}^{2-}$	$\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS}\downarrow$ Белый осадок, растворимый в сильных кислотах

Окончание таблицы 1

Открываемый катион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
$\text{Cr}^{3+}$	$\text{OH}^-$	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow$ Серо-зеленый осадок, растворимый в избытке щелочи
	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{OH}^-$	$2[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-} + 3\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{OH}^- + 8\text{H}_2\text{O}$ Изменение зеленой окраски раствора на желтую
$\text{Mn}^{2+}$	$\text{OH}^-$	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mn}(\text{OH})_2\downarrow$ Белый, быстро темнеющий осадок
	$\text{S}^{2-}$	$\text{Mn}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{MnS}\downarrow$ Осадок «телесного» цвета
	$\text{PbO}_2$	$2\text{Mn}^{2+} + 5\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ \xrightarrow{t^0} 2\text{MnO}_4^- + 5\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ Появление характерной малиновой окраски
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{Fe}^{2+} = \text{KFe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ $4\text{Fe}^{2+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = \text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3\downarrow$ Темно-синий осадок «турнбулевой сини»
	$\text{OH}^-$	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow$ Зеленоватый осадок, буреющий на воздухе
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + \text{Fe}^{3+} = \text{KFe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ $4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3\downarrow$ Темно-синий осадок «берлинской лазури»
	$\text{OH}^-$	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ Красно-бурый осадок
	$\text{NCS}^-$	$\text{Fe}^{3+} + \text{NCS}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{NCS})]^{2+}$ Кроваво-красное окрашивание раствора

Таблица 2

## Качественные реакции на анионы

Открываемый анион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{H}^+$	$\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ Выделение бесцветного газа
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3\downarrow$ Белый осадок, растворимый в кислотах
$\text{SiO}_3^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+} + \text{SiO}_3^{2-} = \text{CaSiO}_3\downarrow$ Белый осадок, разлагающийся кислотами
	$\text{H}^+$	$2\text{H}^+ + \text{SiO}_3^{2-} = \text{H}_2\text{SiO}_3$ Студенистый осадок (гель)

Продолжение таблицы 2

Открываемый анион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
$\text{NO}_3^-$	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{Cu} + 2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \xrightarrow{t^0} \text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ Выделение бурого газа и появление синей окраски раствора
	$\text{Al} + \text{OH}^-$	$3\text{NO}_3^- + 5\text{OH}^- + 8\text{Al} + 18\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^0} 8[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + 3\text{NH}_3\uparrow$ Выделение газа с резким запахом
	$\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$	$3\text{Fe}^{2+} + \text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ = 3\text{Fe}^{3+} + 2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{NO} \rightleftharpoons [\text{FeNO}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ Появление бурой окраски нитрозильного комплекса
$\text{NO}_2^-$	$\text{H}^+$	$3\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ = \text{NO}_3^- + 2\text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ Выделение газа, бурящего на воздухе
	$\text{I}^-$	$2\text{NO}_2^- + 2\text{I}^- + 4\text{H}^+ = \text{I}_2 + 2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ Выделение иода, который обнаруживается по посинению крахмала
	$\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{Fe}^{2+} + \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{3+} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{NO} \rightleftharpoons [\text{FeNO}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+} (\text{бурый}) + \text{H}_2\text{O}$ Появление бурой окраски нитрозильного комплекса
$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ag}^+$	$3\text{Ag}^+ + \text{PO}_4^{3-} = \text{Ag}_3\text{PO}_4\downarrow$ Желтый осадок, растворимый в кислотах или аммиаке
	$\text{Mg}^{2+} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$	$\text{Mg}^{2+} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{HPO}_4^{2-} = \text{MgNH}_4\text{PO}_4\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ Белый кристаллический осадок, растворимый в кислотах
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4\downarrow$ Белый кристаллический осадок, нерастворимый в кислотах
$\text{SO}_3^{2-}$	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_3^{2-} = \text{BaSO}_3\downarrow$ Белый кристаллический осадок, растворимый в кислотах
	$\text{H}^+$	$\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2\uparrow$ Выделение газа с резким запахом, вызывающего покраснение лакмусовой бумажки
	$\text{MnO}_4^-$	$5\text{SO}_3^{2-} + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$ Обесцвечивание подкисленного розового раствора
$\text{S}^{2-}$	$\text{H}^+$	$\text{S}^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{S}\uparrow$ Выделение газа с характерным запахом, вызывающего покраснение лакмусовой бумажки
	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS}\downarrow$ Черный осадок, нерастворимый в разбавленных кислотах
	$\text{MnO}_4^-$	$5\text{S}^{2-} + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{S} + 8\text{H}_2\text{O}$ Обесцвечивание подкисленного розового раствора

Окончание таблицы 2

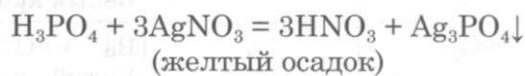
Открываемый анион	Реагент	Уравнение реакции и наблюдаемое явление
Cl <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup> = AgCl↓ Белый творожистый осадок, нерастворимый в кислотах, но растворимый в избытке аммиака
Br <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup> + Br <sup>-</sup> = AgBr↓ Светло-желтый творожистый осадок, нерастворимый в кислотах
	Cl <sub>2</sub> (aq) <sup>1</sup> в присутствии органического растворителя	2Br <sup>-</sup> + Cl <sub>2</sub> = Br <sub>2</sub> + 2Cl <sup>-</sup> Выделяющийся бром окрашивает слой органического растворителя (бензина, бензола, тетрахлометана) в оранжевый цвет
I <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup> + I <sup>-</sup> = AgI↓ Желтый творожистый осадок, нерастворимый в кислотах
	Pb <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup> + 2I <sup>-</sup> = PbI <sub>2</sub> ↓ Желтый осадок, растворимый в кипящей воде, подкисленной уксусной кислотой
	Cl <sub>2</sub> (aq) в присутствии органического растворителя	2I <sup>-</sup> + Cl <sub>2</sub> = I <sub>2</sub> + 2Cl <sup>-</sup> Выделяющийся иод окрашивает слой органического растворителя (бензина, бензола, тетрахлометана) в фиолетово-розовый цвет

<sup>1</sup> «aq» – от лат. «аqua» (вода). Cl<sub>2</sub>(aq) – раствор хлора в воде, хлорная вода.

### Несколько замечаний в качестве послесловия

Как уже говорилось выше, при проведении качественных реакций необходимо соблюдать определенные условия. Задумаемся, например, как подтвердить качественный состав ортофосфорной кислоты H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>? Казалось бы, чего проще? Наличие ионов водорода H<sup>+</sup> подтвердим, добавив индикатор: метиловый оранжевый примет в растворе фосфорной кислоты красную, а лакмус – розовую окраску. Для обнаружения ортофосфат-ионов используем нерастворимость ортофосфата серебра. Действительно, в известном учебнике Ф. Г. Фельдмана и Г. Е. Рудзитиса «Химия. Учебник для 9 класса» на стр. 67 приводится уравнение реакции взаимо-

действия фосфорной кислоты и нитрата серебра:



Однако, проделав этот опыт, вы убедитесь, что никакого желтого осадка фосфата серебра не выпадает. Напротив, если вы раздобудете немного фосфата серебра, то заметите, что он хорошо растворим в азотной кислоте, то есть записанная реакция протекает не слева направо, а в обратном направлении. В чем же дело?

Фосфорная кислота диссоциирует по трем стадиям, по каждой последующей стадии степень диссоциации существенно уменьшается. Так, для 0,01M раство-