



АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Практикум по качественному анализу

**Издательство
Калининградского государственного университета
2002**

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Практикум по качественному анализу

Калининград
Издательство Калининградского государственного университета
2002

Аналитическая химия: Практикум по качественному анализу / Сост. Т.Н. Куркова, Ю.В. Королева, Я.В. Веремейчик. – Калининград: Изд-во КГУ, 2002. – 36 с.

Даны общие методические указания к проведению лабораторных работ по качественному анализу, выполнению контрольных задач, а также список рекомендуемой литературы.

Составители: доцент, кандидат химических наук Т.Н. Куркова; ассистент Ю.В. Королева; методист Я.В. Веремейчик.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Калининградского государственного университета.

© Куркова Т.Н., Королева Ю.В.,
Веремейчик Я.В., составление, 2002

© Издательство КГУ, 2002

ВВЕДЕНИЕ

Изучение методов обнаружения и разделения элементов начинается с ознакомления с основными аналитическими реакциями ионов 1 – 6-й аналитических групп по кислотно-основной классификации.

Студенты должны самостоятельно выполнить рекомендованные в данном практикуме реакции (экспериментально и с помощью литературы). Записать проделанные реакции в виде уравнений.

Экспериментальные данные фиксируются в лабораторном журнале в виде следующих таблиц.

Таблица

Качественные реакции катионов

№	Катион	Группа	Реагент	Уравнение реакции	Аналитический сигнал	Условия
---	--------	--------	---------	-------------------	----------------------	---------

Таблица

Определение состава смеси катионов (экспериментальная задача)

№	Реагент	Аналитический сигнал	Вывод
---	---------	----------------------	-------

Техника выполнения основных операций

1. Нагревание. Раствор в пробирках нагревают только в водяной бане.

2. Упаривание. Растворы с целью их концентрирования или выпаривания досуха, а также прокаливанию сухого остатка помещают в фарфоровые тигли и выпаривают в вытяжном шкафу на поверхности электрической плитки. Перенесение сухого остатка производится только после охлаждения тигля.

3. Осаждение. При осаждении в пробирке исходный объем раствора не должен превышать 2 мл. Осадитель вводят по каплям и перемешивают содержимое пробирки стеклянной палочкой. Если осаждение используется для разделения или удаления ионов, то следует обязательно проверить полноту осаждения. Для этого после центрифугирования к прозрачному раствору над осадком осторожно из пипетки добавляют 1 – 2 капли осадителя. Если раствор остается прозрачным, то осаждение полностью произошло.

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ 1 – 3-й АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП

Частные реакции катионов группы щелочных металлов и аммония (табл. 1)

К первой аналитической группе относятся катионы: K^+ , Na^+ , Li^+ , а также аммоний NH_4^+ . K^+ , Na^+ , Li^+ , которые входят в I группу периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева и обладают ярко выраженными металлическими свойствами. Их ионы имеют законченные 8-электронные оболочки. Большинство солей калия, натрия и аммония, а также и их гидроксиды хорошо растворимы в воде. Гидроксиды калия, натрия – сильные щёлочи, которые в водных растворах полностью ионизированы. Соли калия и натрия, образованные слабыми кислотами, подвергаются гидролизу, их растворы имеют $pH > 7$. Соли же, образованные сильными кислотами, не подвергаются гидролизу, а их растворы имеют нейтральную реакцию. Раствор аммиака в воде (гидроксид аммония NH_4OH) – слабое основание. Соли, образованные им и сильными кислотами, подвергаются гидролизу, их растворы имеют $pH < 7$. В отличие от солей калия и натрия соли аммония разлагаются при нагревании, а поэтому могут быть удалены при прокаливании. Это свойство солей аммония используется для удаления катионов аммония. Большинство солей катионов первой аналитической группы хорошо растворяются в воде. Группового реагента, осаждающего все три катиона данной группы, нет.

Таблица 1

Частные реакции катионов 1-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакций
NH_4^+	2н. NaOH, t °C Реактив Несслера $K_2[HgI_4]$	К 3 – 4 каплям раствора соли аммония прибавьте 4 – 5 капель раствора щёлочи и нагрейте. Определите выделяющийся газ по запаху или с помощью влажной индикаторной бумаги На предметном стекле к капле раствора соли аммония прибавьте 1 – 2 капли реагента
Na^+	KH_2SbO_4 дигидроантимонат калия $UO_2(CH_3COO)_2$ уранилацетат	К 2 – 3 каплям раствора соли натрия прибавьте равный объём реагента. Потрите стенки пробирки стеклянной палочкой при охлаждении под струёй холодной воды. Дайте постоять На предметное стекло нанесите каплю раствора соли натрия, выпарьте до появления кромки. Охладите, нанесите каплю реагента. Рассмотрите кристаллы под микроскопом

4. Центрифугирование. Для отделения раствора от осадка в полумикроанализе проводят не фильтрование, а центрифугирование. В гнезда электрической центрифуги вставляют не менее 2-х пробирок (одна из них может быть с водой как противовес), центрифугу плотно закрывают крышкой и включают в сеть. Через 1 – 2 минуты центрифугирование прекращают. Пробирки вынимают только после полной остановки центрифуги. Прозрачный раствор (центрифугат) сливают с осадка или отбирают пипеткой.

5. Промывание осадка. Осадок адсорбирует на своей поверхности вещества, находящиеся в растворе, что может привести к ошибке при анализе. Для промывания кристаллических осадков используют воду, для аморфных – раствор электролита-коагулянта (чаще всего – нитрат аммония NH_4NO_3). После центрифугирования раствор отделяют, а осадок промывают 1 – 2 мл воды, перемешивая стеклянной палочкой содержимое пробирки. Раствор сливают с осадка и повторяют промывание ещё раз.

6. Выполнение пробирочных реакций. В пробирку отбирают пипеткой 2 – 3 капли анализирующего раствора, создают условия, рекомендованные при проведении данной реакции (t °C, pH, введение маскирующего агента), вводят 2 – 3 капли реагента. Если проводится реакция образования осадка, то далее изучаются его свойства. Для этой цели раствор с осадком взмучивают и переносят в несколько пробирок, где обрабатывают слабой или сильной кислотой, щелочами, избытком осадителя.

7. Выполнение микрорископических реакций. На предметное стекло (чистое и сухое) стеклянной палочкой (не пипеткой) наносят каплю анализируемого раствора (предварительно обеспечивают условия реакции, слегка выпарив каплю); рядом помещают каплю реагента. Затем стеклянной палочкой соединяют обе капли. Если реагент твёрдый, то маленькую его крупинку чистой стеклянной палочкой помещают на край капли исследуемого раствора. Кристаллы имеют правильную форму, когда процесс их роста происходит медленно, поэтому нагревание капли для испарения раствора (если это рекомендуется) нужно проводить осторожно только до образования каёмки. Выпаривать каплю досуха нельзя. Рассматривать кристаллы под микроскопом нужно спустя 1 – 2 минуты.

8. Выполнение капельных реакций. Капельный анализ основан на использовании капиллярно-поверхностных свойств пористых веществ, в частности бумаги. Различная капиллярная активность и сорбируемость ионов обуславливает распределение их на бумаге по зонам, то есть, приводит к разделению. Для проведения капельных реакций используется пипетка с капилляром. Анализируемый раствор и реагент наносится капилляром в соответствии с порядком, рекомендованным к выполнению этой реакции.

Окончание табл. 1

Ион	Реагент	Выполнение реакций
K ⁺	NaHC ₄ H ₄ O ₆ гидротартрат натрия	К 4 – 5 каплям соли натрия прибавьте столько же капель реагента
	Na ₃ Co(NO ₂) ₆ гексанитрокобальтат натрия	К капле раствора соли калия прибавьте 1 – 2 капли реагента
	Na ₂ PbCu(NO ₂) ₆ гексанитрокупрат натрия-свинца	На предметном стекле каплю соли калия выпарьте до образования крошки, охладите, добавьте каплю реагента. Рассмотрите образовавшиеся кристаллы под микроскопом

Частные реакции катионов 2-й аналитической группы (табл. 4)

Ко второй группе относятся катионы Ag⁺, Pb²⁺, Hg₂²⁺. Эти элементы находятся в разных группах периодической системы. Они имеют либо законченные 18-электронные внешние слои, либо оболочки, содержащие 18+2 электрона в двух наружных слоях, что обуславливает одинаковое отношение их к галогенид-ионам. Групповой реагент – 2н. раствор соляной кислоты HCl. В таблице 2 приведены типы образующихся соединений катионов 2-й аналитической группы при действии группового реагента, его избытка, раствора сильных щелочей, а также раствора аммиака.

Таблица 2

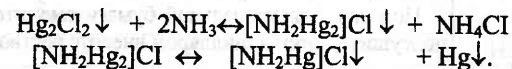
Отношение катионов 2-й аналитической группы к действию растворов соляной кислоты, щелочей, раствора аммиака [6]

Реагент	Ag ⁺	Pb ²⁺	Hg ₂ ²⁺
2н. HCl	AgCl ↓	PbCl ₂ ↓	Hg ₂ Cl ₂ ↓
Избыток 2н HCl или конц.	H ₂ [AgCl ₃]	H[PbCl ₃]	[HgCl ₃] ²⁻
NaOH конц.	AgOH ↓	Pb(OH) ₂ ↓	Hg ₂ (OH) ₂ ↓
Избыток щёлочи	Ag ₂ O ↓	[Pb(OH) ₄] ²⁻	Hg ₂ O ↓
Раствор аммиака	AgOH ↓ → Ag ₂ O ↓ → Ag(NH ₃) ₂ OH	Pb(OH) ₂ ↓	[HgNH ₂]Cl

Опыт. В соответствии с таблицей 2 проделайте реакции. Дайте описание аналитического сигнала.

Растворимость хлоридов различна, это свойство используется при разделении катионов 2-й аналитической группы. В таблице 3 приведены данные о растворимости и растворителях. Свойство растворяться в горячей

воде используется для отделения катиона свинца от хлоридов серебра и ртути (I). При действии раствора аммиака хлорид ртути образует хлорид димеркураммония, который неустойчив и разлагается на малорастворимый хлорид меркураммония и ртуть, придающую осадку черный цвет.



В то же время хлорид серебра переходит в раствор в виде комплексного соединения:

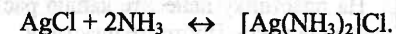


Таблица 3

Растворимость хлоридов [6]

Хлорид	K _s ^T	S, г/л, t=20°C	S, г/л, t=100°C	Растворитель
PbCl ₂	1,6 · 10 ⁻⁵	11,0	33,4	H ₂ O, t ⁰ C
AgCl	1,78 · 10 ⁻¹⁰	1,8 · 10 ⁻³	2,1 · 10 ⁻³	NH ₄ OH
Hg ₂ Cl ₂	2,0 · 10 ⁻¹⁸	2,0 · 10 ⁻³	–	–

Опыт. Получите осадки AgCl и Hg₂Cl₂. Возьмите небольшую часть осадков в отдельные пробирки и добавьте концентрированный раствор аммиака или избыток 2н. раствора аммиака.

Опыт. Содержимое пробирки с [Ag(NH₃)₂]Cl разделите на две части: в одну добавьте азотную кислоту, в другую – иодид калия – KI.

Таблица 4

Частные реакции катионов 2-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Ag ⁺	K ₂ CrO ₄	К 3 – 4 каплям раствора нитрата серебра прибавьте 3 – 4 капли дистиллированной воды и 1 – 2 капли реагента
	KI, KBr	К 1 – 2 каплям раствора нитрата серебра добавьте 1 – 2 капли реагента. Исследуйте растворимость осадков в растворах: а) аммиака; б) Na ₂ S ₂ O ₃
Pb ²⁺	2н. H ₂ SO ₄ ; (NH ₄) ₂ SO ₄ ; Na ₂ SO ₄	К 1 – 2 каплям раствора соли свинца добавьте 1 – 2 капли реагента. Испытайте на растворимость в: а) щёлочи; б) 30% CH ₃ COOH
	K ₂ CrO ₄ или K ₂ Cr ₂ O ₇	К 1 – 2 каплям раствора соли свинца прибавьте 1 – 2 капли реагента. Испытайте на растворимость в: а) аммиаке; б) щёлочи; в) уксусной кислоте
	KI	К 1 – 2 каплям соли свинца прибавьте 1 – 2 капли KI. Образовавшийся осадок растворите в 2н. CH ₃ COOH при нагревании, затем резко охладите под струей холодной воды

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Hg_2^{2+}	K_2CrO_4	К 1 – 2 каплям нитрата ртути (I) прибавьте 1 – 2 капли K_2CrO_4
	KI	Полосу фильтровальной бумаги смочите в растворе KI, подсушите, затем капилляром внесите раствор соли ртути (I)
	SnCl_2 свежеприготовленный	К капле раствора нитрата ртути (I) прибавьте 2 – 3 капли раствора хлорида олова
	Cu (пластина)	На пластинку нанесите каплю раствора соли ртути (I), дайте постоять. Протрите пластину

Частные реакции катионов 3-й аналитической группы (табл. 7)

К 3-й группе относятся катионы металлов бария, стронция, кальция. Эти элементы входят во II группу периодической системы Д.И. Менделеева. Они имеют законченные 8-электронные внешние слои. Их химическая активность возрастает от кальция к барию. В таком же направлении изменяются и другие свойства: растворимость солей, основные свойства гидроксидов и др. Ионы этих элементов в водных растворах бесцветны. С катионами Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} и Pb^{2+} разбавленная серная кислота образует осадки, с катионами других аналитических групп (в пределах определенной концентрации) осадки не выпадают. По этой причине групповым реагентом для катионов 3-й аналитической группы является 2н. H_2SO_4 . Произведения растворимости соединений катионов 3-й аналитической группы приведены в табл. 5, а их растворимость – в табл. 6.

Опыт. Возьмите три пробирки с 3 – 5 каплями растворов солей (в первой – хлорида бария, во второй – хлорида стронция, в третьей – хлорида кальция), добавьте в каждую из них по 3 капли раствора 2н. H_2SO_4 . Пронаблюдайте за образованием осадков: обратите внимание на скорость протекания реакции; проверьте растворимость в растворе соляной и азотной кислот; добавьте в пробирку с CaSO_4 5 капель ацетона или спирта.

Опыт. Возьмите 3 пробирки; прибавьте 3 – 5 капель растворов солей бария, стронция, кальция; добавьте по 3 капли раствора карбоната натрия и исследуйте на растворимость в уксусной и соляной кислотах.

Таблица 5

Произведения растворимости некоторых соединений катионов 3-й аналитической группы, а также свинца [6]

Ион	KtSO_4	KtC_2O_4	KtCO_3
Ca^{2+}	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$
Sr^{2+}	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
Ba^{2+}	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
Pb^{2+}	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{-10}$	$7,5 \cdot 10^{-14}$

Таблица 6

Растворимость некоторых соединений катионов 3-й аналитической группы, а также свинца (г/л, при $t=18^\circ\text{C}$) [7]

Ион	S_{KtSO_4}	$S_{\text{KtC}_2\text{O}_4}$	S_{KtCO_3}
Ca^{2+}	0,2	$5,5 \cdot 10^{-4}$	Нерастворим
Sr^{2+}	0,011	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Ba^{2+}	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Pb^{2+}	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Сульфаты щелочноземельных металлов BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 нерастворимы не только в воде, слабых кислотах, но и в сильных кислотах. Для перевода этих солей в раствор их превращают в карбонаты, которые затем растворяются в кислотах.

$\text{MeSO}_4 \downarrow + \text{CO}_3^{2-} = \text{MeCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$, при условии, если

$$\frac{K_s^r(\text{MeSO}_4)}{[\text{SO}_4^{2-}]} > \frac{K_s^r(\text{MeCO}_3)}{[\text{CO}_3^{2-}]}, \text{ т.е. } [\text{CO}_3^{2-}] \gg [\text{SO}_4^{2-}].$$

Оксалаты щелочноземельных металлов BaC_2O_4 , SrC_2O_4 , CaC_2O_4 нерастворимы в воде, но растворимы в сильных кислотах; CaC_2O_4 в отличие от BaC_2O_4 и SrC_2O_4 нерастворим в уксусной кислоте.

Методики проведения реакций обнаружения ионов 3-й аналитической группы представлены в таблице 7.

Таблица 7

Частные реакции катионов 3-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Ba^{2+}	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	К 1 капле раствора соли бария добавьте 1 каплю реагента, 1 каплю CH_3COONa . Можно нагреть на водяной бане
	K_2CrO_4	К 1 капле раствора соли бария прибавьте 1 каплю раствора реагента
Sr^{2+}	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ гипсовая вода	К 4 каплям раствора соли стронция добавьте 5 – 6 капель реагента, нагрейте на бане
	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	К 1 – 2 каплям раствора соли прибавьте 1 – 2 капли раствора реагента
	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ – 2% KNO_2 – крист.	На предметном стекле выпарьте каплю соли стронция, добавьте каплю 2% $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, снова выпарьте (не перегревайте), охладите, добавьте каплю 0,05 н. CH_3COOH и кристаллик KNO_2 . Рассмотрите кристаллы под микроскопом

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Ca ²⁺	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	К 3 каплям раствора соли кальция добавьте каплю раствора уксусной кислоты, 3 капли реагента и 1 – 2 капли раствора аммиака
	H ₂ SO ₄ – 2н.	На предметном стекле к капле раствора соли кальция добавьте 1 каплю реагента, осторожно выпарьте, рассмотрите кристаллы под микроскопом
	K ₄ [Fe(CN) ₆] насыщенный раствор	К 1 – 2 каплям раствора соли кальция прибавьте по 1 капле растворов хлорида аммония и гидроксида аммония, нагрейте и осадите 4 каплями реагента

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

КОНТРОЛЬНАЯ ЗАДАЧА

АНАЛИЗ СМЕСИ КАТИОНОВ 1 – 3-й АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП

Ход анализа

Исследуемый раствор, содержащий смесь катионов трех групп, может быть с осадком или без осадка. Осадок может содержать хлориды катионов 2-й группы, а также сульфаты катионов 3-й группы и свинца.

Если раствор не содержит осадка, его анализируют следующим образом: В отдельной пробе открывают катион NH₄⁺ нагреванием с раствором гидроксида натрия. В коническую пробирку набирают 30 капель (1,5 мл) исследуемого раствора, добавляют 3 – 4 капли концентрированной соляной кислоты, перемешивают стеклянной палочкой и центрифугируют. Центрифугат (1) оставляют для анализа на катионы 1-й и 3-й группы и некоторое количество свинца. Осадок промывают водой (15 – 20 капель), подкисленной 2н. раствором соляной кислоты (для понижения растворимости хлорида свинца).

Осадок (1) состава AgCl, PbCl₂, Hg₂Cl₂ анализируют следующим образом: осадок промывают горячей дистиллированной водой и центрифугируют. При этом хлорид свинца PbCl₂ переходит в раствор, а хлорид серебра AgCl и хлорид ртути Hg₂Cl₂ остаются в осадке. В центрифугате качественной реакцией определяют катион свинца. Для полного удаления свинца из осадка, осадок 2 – 3 раза промывают горячей водой, промывные воды отбрасывают. Осадок растворяют в аммиаке (концентрированном), при этом серебро переходит в раствор в виде комплексной соли, а соль

[HgNH₂]Cl и ртуть остаются в виде осадка черного цвета. Осадок отделяют от раствора центрифугированием и в центрифугате определяют серебро.

К центрифугату (1) приливают 12 – 15 капель раствора сульфата аммония (NH₄)₂SO₄, нагревают 5 – 6 минут на кипящей водяной бане, дают отстояться 10 минут и центрифугируют. Осадок (2) обрабатывают 30% раствором ацетата аммония при нагревании до полного удаления сульфата свинца. После этого осадок (3) сульфатов BaSO₄, SrSO₄, CaSO₄ промывают два раза дистиллированной водой, переносят в фарфоровую чашку, добавляют 3 – 4 мл раствора карбоната калия K₂CO₃ (10н.) и кипятят 5 минут. После охлаждения в фарфоровую чашку добавляют 2 мл воды, перемешивают, дают отстояться и центрифугируют. Осадок промывают теплой водой до полного удаления ионов SO₄²⁻. Осадок растворяют в 10 – 12 каплях уксусной кислоты и разбавляют его 6 – 8 каплями дистиллированной воды. Катионы бария, стронция, кальция открывают следующим образом:

Обнаружение и отделение катионов бария. В коническую пробирку берут 3 капли испытуемого раствора, прибавляют 3 – 4 капли уксусной кислоты и 3 капли раствора дихромата калия K₂Cr₂O₇. Если осадок образуется, то это указывает на присутствие катионов Ba²⁺. Для удаления катионов бария берут в коническую пробирку 5 – 6 капель анализируемого раствора дихромата калия K₂Cr₂O₇, перемешивают стеклянной палочкой, дают стоять 2 – 3 минуты и отделяют осадок центрифугированием.

Обнаружение катионов стронция. Центрифугат после проверки на полноту осаждения катионов бария в количестве 2 – 3 капель помещают в пробирку, добавляют 2 – 3 капли гипсовой воды, нагревают на водяной бане до 70°C и дают стоять 15 – 20 минут. Образование осадка говорит о присутствии в испытуемом растворе катионов стронция.

Обнаружение катионов кальция. В коническую пробирку вносят 4 – 5 капель центрифугата, (после отделения катионов стронция) добавляют равный объем раствора карбоната натрия, перемешивают стеклянной палочкой. Образовавшийся осадок карбонатов стронция и кальция отделяют и промывают дистиллированной водой (с целью удаления избытка хроматионов), растворяют в уксусной кислоте и добавляют раствор сульфата аммония (NH₄)₂SO₄. При этом катион стронция осаждается в виде SrSO₄, а кальций остается в основном в растворе. Осадок отделяют, а центрифугат делят на две части. К первой половине добавляют раствор оксалата аммония (NH₄)₂C₂O₄, а ко второй половине прибавляют ацетон или спирт. Появление осадка указывает на наличие катионов кальция.

Последовательность проведения операций при анализе смеси катионов 1 – 3-й аналитических групп представлены в таблицах 8, 9; а отдельных групп – в таблицах 10 – 12.

Таблица 8

**Систематический ход анализа смеси катионов
1 – 3-й аналитических групп (раствор без осадка)**

1. В отдельной пробе определяют NH_4^+ нагреванием с раствором NaOH		
2. К исследуемому раствору добавляют 2 н. HCl. Центрифугируют, промывают осадок раствором HCl		
3. Осадок 1: AgCl, PbCl ₂ , Hg ₂ Cl ₂ – анализируют по табл. 11	4. Центрифугат 1 содержит катионы Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , добавляют $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, дают постоять и центрифугируют	
	5. Осадок 2: BaSO ₄ , SrSO ₄ , CaSO ₄ , PbSO ₄ обрабатывают 30% $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, удаляют PbSO ₄ , центрифугируют, промывают осадок водой	
	6. Центрифугат 2: Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ анализируют по табл. 10	7. Осадок 3: BaSO ₄ , SrSO ₄ , CaSO ₄ переводят в карбонаты: в испарительную чашку переносят осадок, добавляют 15 – 20 капель 10н. K_2CO_3 , кипятят 5 мин. Охлаждают, разбавляют, дают стоять, прозрачный раствор сливают, затем снова добавляют 15 – 20 капель 10н. K_2CO_3 , кипятят. Операцию повторяют. Осадок растворяют в 10 – 12 каплях уксусной кислоты, анализируют по табл. 12

Если раствор содержит осадок, поступают следующим образом:

В отдельной пробе открывают катион NH_4^+ нагреванием со щелочью.

Осаждают катионы второй группы и исследуют осадок. Для этого в коническую пробирку берут 30 – 35 капель (1,5 мл) анализируемого раствора (вместе с осадком) и, помешивая, прибавляют 3 – 4 капли соляной кислоты ($d=1,19$). Проверяют на полноту осаждения. Осадок отделяют центрифугированием и промывают водой, подкисленной соляной кислотой для понижения растворимости хлорида свинца.

Осадок (1) может содержать соли AgCl, Hg₂Cl₂, PbCl₂, PbSO₄, BaSO₄, SrSO₄, CaSO₄, а центрифугат (1) – катионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Pb^{2+} , его анализируют, как в случае раствора без осадка.

Осадок (1) промывают горячей водой и в центрифугате (2) определяют Pb^{2+} .

Определение катионов Ag^+ и Hg_2^{2+} . К осадку (2) прибавляют 10 – 12 капель 25% раствора NH_4OH и перемешивают. При этом хлорид серебра растворяется, переходя в комплексную соль $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$, а хлорид ртути (I) дает осадок $[\text{HgNH}_2]\text{Cl} + \text{Hg}$ (черного цвета). Быстрое почернение смеси при действии NH_4OH указывает на наличие ртути.

Осадок (3) отделяют центрифугированием. В центрифугате (3) открывают катион серебра.

Определение катиона Pb^{2+} . Осадок (3) может содержать соли $[\text{HgNH}_2]\text{Cl} + \text{Hg}$, PbSO₄, CaSO₄, SrSO₄, BaSO₄.

Если обнаружены катионы серебра, то для их удаления осадок обрабатывают аммиаком до отрицательной реакции на катион Ag^+ . Затем к осадку добавляют 15 – 16 капель 30% CH_3COOH , перемешивают и нагревают на водяной бане 3 – 4 минуты. Смесь центрифугируют, в центрифугате (4) определяют Pb^{2+} и подтверждают наличие ионов ртути.

После полного удаления ионов свинца осадок, содержащий сульфаты кальция, стронция, бария, анализируют, как указано, при анализе раствора без осадка.

Таблица 9

**Систематический ход анализа смеси катионов
1 – 3-й аналитических групп (раствор с осадком)**

1. Из отдельной пробы открывают катион NH_4^+ нагреванием с NaOH				
2. К анализируемому раствору добавляют 2н. раствор HCl и центрифугируют, осадок промывают 0,5% раствором HCl и водой				
3. Осадок 1: может содержать соли Hg_2Cl_2 , AgCl , PbCl_2 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 . Промывают горячей водой и отделяют PbCl_2			4. Центрифугат 1: может содержать ионы K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Pb^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , анализируют по табл. 8	
5. Осадок 2: AgCl , PbSO_4 , Hg_2Cl_2 , CaSO_4 , BaSO_4 . Добавляют раствор аммиака (конц.), осадок промывают водой				6. Центрифугат 2: открывают катион Pb^{2+}
7. Осадок 3: BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 , PbSO_4 , $[\text{HgNH}_2]\text{Cl} + \text{Hg}$. Обрабатывают 30% $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (для удаления PbSO_4 и хлорида меркураммония) и центрифугируют				
8. Центрифугат 3: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ открывают действием: а) HNO_3 ; б) KI				
9. Осадок 4: BaSO_4 , CaSO_4 , SrSO_4 переводят в карбонаты (см. табл. 7 и 8) и анализируют по табл. 12	10. Центрифугат 4: Hg_2^{2+} , Pb^{2+} не анализируют			

Систематический ход анализа катионов 1-й аналитической группы

Таблица 10

1. Катион аммония NH_4^+ определяют реакцией с NaOH при нагревании
2. 5 – 10 капель выпаривают до полного удаления ионов NH_4^+ , т.е. до прекращения выделения «белого дыма». Затем в тигель добавляют несколько капель дистиллированной воды и в отдельной пробе проверяют наличие иона NH_4^+ реакцией с реактивом Несслера
3. При отрицательной реакции анализируют смесь на присутствие ионов K^+ и Na^+ . K^+ определяют реакциями с: а) $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$; б) $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$
4. Na^+ определяют с: а) $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$; б) KH_2SbO_4

Систематический ход анализа катионов 2-й аналитической группы

Таблица 11

1. Анализируемый раствор обрабатывают на холоде 2н. раствором HCl , центрифугируют			
2. Центрифугат 1 отбрасывают	3. Осадок 1: AgCl , Hg_2Cl_2 , PbCl_2 промывают горячей водой		
	4. Центрифугат 2: Pb^{2+} . Открывают реакцией с KI	5. Осадок 2: AgCl , Hg_2Cl_2 обрабатывают раствором аммиака	
		6. Центрифугат 3: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$. Ионы Ag^+ открывают с KI или HNO_3	7. Осадок 3: $[\text{NH}_2\text{Hg}]\text{Cl} + \text{Hg}$ (осадок чёрного цвета)

Систематический ход анализа катионов 3-й аналитической группы

Таблица 12

1. К исследуемому раствору добавляют CH_3COOH и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, центрифугируют. Проверяют на полноту осаждения Ba^{2+}			
2.Осадок 1: BaCrO_4 не исследуется	3. Центрифугат 1: содержит катионы Sr^{2+} , Ca^{2+} , CrO_4^{2-} . Осаждают катионы Sr^{2+} , Ca^{2+} действием Na_2CO_3 ($\text{pH}>10$)		
	4. Осадок 2: SrCO_3 , CaCO_3 промывают водой и растворяют в CH_3COOH		5.Центрифугат 2 не исследуется
	6. Центрифугат 3: $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ открывают катионы Sr^{2+} раствором CaSO_4 при нагревании и отделяют Sr^{2+} действием $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		
	7. Осадок 3: SrSO_4	8. Центрифугат 4: Ca^{2+} и избыток $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ открывают Ca^{2+} действием $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ или $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ 4 – 6-й АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП

Частные реакции катионов группы гидроксидов, растворимых в растворах щелочей (4-я аналитическая группа)

К 4-й аналитической группе относятся катионы: Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Zn^{2+} , As^{3+} , As^{5+} . Алюминий имеет законченные 2- и 8-электронные слои внешней оболочки. Хром является переходным элементом и имеет отличные от других катионов этой группы свойства. Он обладает выраженной способностью к комплексообразованию. Гидратированный гидроксид хрома по своим свойствам очень близок к гидратированному гидроксиду алюминия. Цинк имеет законченный 18-электронный слой. Алюминий и цинк обладают постоянной, а остальные – переменной степенью окисления. Групповым реагентом на катионы 4-й группы является гидроксид натрия или калия (в избытке). Образующиеся гидроксиды амфотерны, то есть способны диссоциировать в растворе и по типу основания, и по типу кислоты. Со всеми катионами 4-й группы (исключая мышьяк) растворы едких щелочей образуют гидроксиды, растворяющиеся в избытке реагента (см. табл. 13).

Методики проведения реакций обнаружения катионов 4 – 6-й аналитических групп представлены в табл. 14.

Отношение катионов 4-й аналитической группы к действию едких щелочей и раствора аммиака

Таблица 13

Ион	Избыток KOH или NaOH	Примечание	NH_4OH	Примечание
Al^{3+}	$\downarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$	Разрушается при действии минеральной кислоты	$\downarrow \text{Al}(\text{OH})_3$	Не растворяется в растворах солей аммония
Cr^{3+}	$\downarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$	Гидролизуетсся водой при нагревании	$\downarrow \text{Cr}(\text{OH})_3$	–
Zn^{2+}	$\downarrow \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	–	$\downarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$	В избытке растворяется, образуя комплекс $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
Sn^{2+}	$\downarrow \text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Sn}(\text{OH})_4]^{2-}$	В избытке образуется гидроксокомплекс	$\downarrow \text{Sn}(\text{OH})_2$	–
Sn^{4+}	$\downarrow \text{Sn}(\text{OH})_4 + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$	–	$\downarrow \text{Sn}(\text{OH})_4$	–

Таблица 14

Частные реакции катионов 4-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Al^{3+}	Ализарин $C_{14}H_6O_2(OH)_2$	На полоску фильтровальной бумаги нанесите 1 – 2 капли раствора соли алюминия, подержите 1 – 2 минуты над парами концентрированного аммиака и нанесите ализарин капилляром, перечеркнув пятно
	Алюминон $C_{22}H_{11}O_9(NH_4)_3$	К 2 каплям раствора соли алюминия прибавьте каплю CH_3COOH и 1 – 2 капли 0,01% раствора реагента. Нагрейте на водяной бане, прибавьте раствор аммиака и 2 – 3 капли раствора $(NH_4)_2CO_3$
	8-оксихинолин C_9H_6NOH	К 2 каплям соли алюминия добавьте 2 капли CH_3COONa и прибавьте 1 – 2 капли реагента
Cr^{3+}	Соли цинка в щелочной среде (соосаждение)	К 3 каплям раствора соли хрома прибавьте 3 капли соли цинка (желательно хлорид), внесите 10 – 12 капель $NaOH$
	H_2O_2 -изоамиловый спирт	К 3 – 4 каплям раствора соли хрома прибавьте 4 – 5 капель 2н. $NaOH$, 2 – 3 капли 3% H_2O_2 , нагрейте до изменения окраски. Охладите, отцентрифугируйте и добавьте к раствору HNO_3 до появления оранжевой окраски, прилейте 6 – 8 капель изоамилового спирта и 2 – 3 капли H_2O_2 , встряхните
	Раствор ЭДТА	К 3 – 4 каплям соли хрома прибавьте 5 – 7 капель 30% CH_3COOH , 3 – 5 капель CH_3COONa , 12 – 15 капель 5% раствора ЭДТА, нагрейте
Zn^{2+}	H_2S или Na_2S	К 3 – 4 каплям раствора соли цинка, добавьте 2 – 3 капли раствора CH_3COONa и 5 – 7 капель реагента сероводородной воды или раствора сульфида натрия
	$K_4[Fe(CN)_6]$	К 2 – 3 каплям раствора соли цинка прибавьте 3 капли реагента
	Дитизон $CSN_4H_2(C_6H_5)_2$	К 2 – 3 каплям соли цинка добавьте 5 капель 2н. раствора $NaOH$. Если образуется осадок, отцентрифугируйте его. В центрифугат внесите 2 – 3 капли дитизона, встряхните
	$(NH_4)_2[Hg(SCN)_4]$ тетрароданомеркуриат аммония	К 1 капле раствора соли цинка, подкисленного CH_3COOH , прибавьте на предметном стекле каплю реагента, рассмотрите каплю под микроскопом
Sn^{2+}	Соли висмута	К 4 каплям раствора соли олова (II) прибавьте раствор 2н. $NaOH$ до исчезновения осадка, внесите 3 – 4 капли реагента
	H_2S	К 1 – 2 каплям соли олова (II) добавьте 2 – 3 капли сероводородной воды

Окончание табл. 14

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Sn^{4+}	$Me (Fe, Al, Mg)$	К 4 – 5 каплям соли олова (IV) добавьте 2 капли HCl (конц.), 2 стружки металла, нагревайте в течение 3 – 4 мин. Добавьте 7 – 8 капель $NaOH$ и отцентрифугируйте осадок. К 2 – 3 каплям центрифугата добавьте 1 – 2 капли раствора нитрата висмута
	H_2S	К 2 – 3 каплям соли олова (IV) прибавьте 3 – 4 капли сероводородной воды

Частные реакции катионов группы гидроксидов, нерастворимых в растворах щелочей (5-я аналитическая группа) (табл. 15, 16)

К 5-й аналитической группе относятся катионы Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} . В атомах элементов этой группы, таких как марганец и железо, происходит достройка третьего электронного слоя от 8 до 18 электронов, сурьма и висмут имеют либо законченные 18-электронные слои, либо оболочки, содержащие 18+2 электронов в двух наружных слоях. Эти элементы, за исключением висмута и магния, имеют переменную степень окисления и обладают тенденцией к комплексообразованию. Гидроксиды катионов 5-й группы, кроме сурьмы (III), не обладают амфотерностью и не образуют растворимых аминок комплексов. Они количественно осаждаются избытком гидроксидов натрия или калия, которые являются групповым реагентом.

Таблица 15

Отношение катионов 5-й группы к действию растворов едких щелочей и аммиака

Ион	$NaOH$ или KOH	Примечание	NH_4OH	Примечание
Fe^{2+}	$\downarrow Fe(OH)_2$	—	$\downarrow Fe(OH)_2$	Присутствие солей аммония препятствует выпадению осадка
Fe^{3+}	$\downarrow Fe(OH)_3$	—	$\downarrow Fe(OH)_3$	—
Mn^{2+}	$\downarrow Mn(OH)_2$	Осадок растворим в минеральных кислотах, но не растворим в щелочах	$\downarrow Mn(OH)_2$	Растворяется в минеральных кислотах и в избытке аммиака в присутствии солей аммония
Bi^{3+}	$\downarrow Bi(OH)_3$		$\downarrow Bi(OH)_3$	—
Mg^{2+}	$\downarrow Mg(OH)_2$	Растворим в минеральных кислотах и солях аммония	$\downarrow Mg(OH)_2$	Растворяется в присутствии солей аммония
Sb^{3+}	$\downarrow Sb(OH)_3$	—	$\downarrow Sb(OH)_3$	—
Sb^{5+}	$\downarrow HSbO_3$	—	$\downarrow HSbO_3$	—

Таблица 16

Частные реакции катионов 5-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Fe^{2+}	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Диметилглиоксим (р-в Чугаева)	К 2 каплям раствора соли железа (II) добавьте 4 капли раствора реагента и 4 капли дистиллированной воды На предметное стекло поместите 1 каплю раствора соли, добавьте 1 каплю реагента и 1 каплю NH_4OH
Fe^{3+}	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ NH_4CNS	К 2 – 3 каплям раствора соли железа (III) добавьте 3 – 4 капли дистиллированной воды, 1 – 2 капли HCl и 2 капли реагента К 2 – 3 каплям раствора соли железа (III) прибавьте 4 капли дистиллированной воды и 2 капли раствора реагента
Mn^{2+}	NaBiO_3 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ Бензидин $\text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2$	К 1 – 2 каплям раствора соли марганца (II) прибавьте 3 – 4 капли бн. раствора HNO_3 и 5 – 6 капель воды, внесите стеклянной лопаткой немного реагента (сухой соли). Отцентрифугируйте К 5 – 6 каплям раствора реагента прибавьте 1 каплю 2н. раствора H_2SO_4 (HNO_3), 1 – 2 капли H_3PO_4 (конц.) и 2 капли раствора AgNO_3 , нагрейте. В смесь внесите при помощи стеклянной палочки немного раствора соли марганца (хлорид брать нельзя) На полоску фильтровальной бумаги наносят каплю раствора соли Mn (II), каплю NH_4Cl обрабатывают парами аммиака. Подействуйте на пятно каплей раствора реагента
Bi^{3+}	H_2O $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$ Тиомочевина $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	Возьмите 2 – 3 капли раствора соли висмута и прибавьте 2 – 3 капли NH_4Cl . Сильно разбавьте водой К 3 каплям раствора хлорида олова (II) прибавьте избыток 2н. NaOH (до растворения осадка) и внесите 2 – 3 капли соли висмута К 1 – 2 каплям соли нитрата висмута прибавьте 2 – 3 капли раствора реагента

Окончание табл. 16

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Mg^{2+}	Na_2HPO_4 NH_4OH , NH_4Cl Магнезон	1. К 3 – 4 каплям раствора соли магния 4 – 6 капель 2н. HCl и 3 – 5 капель Na_2HPO_4 , 8 – 9 капель 2н. NH_4OH 2. К 3 – 4 каплям раствора соли магния, содержащего немного NH_4Cl , поместите на предметное стекло и обработайте в парах 25% аммиака. Затем поместите в каплю кристаллик гидрофосфата натрия $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Рассмотрите кристаллы под микроскопом На предметное стекло нанесите 1 – 2 капли соли магния и добавьте 1 – 2 капли щелочного раствора реагента
Sb^{3+}	H_2O $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	К 1 – 2 каплям раствора соли сурьмы (III) добавьте 5-кратный объем воды К 1 – 2 каплям раствора соли сурьмы (III) добавьте каплю H_2SO_4 , 5 – 6 капель воды, бросьте кристаллик реагента, нагрейте
Sb^{3+} , Sb^{5+}	H_2S или Na_2S Zn, Fe, Al	К 1 – 2 каплям раствора соли сурьмы (III) или (V) прибавьте 1 каплю 2М раствора HCl , разбавьте 5 – 6 каплями воды и добавьте 1 – 2 капли сероводородной воды На хорошо очищенную пластину металла нанесите каплю раствора соли сурьмы (III) или (V). Реакция требует времени

Частные реакции катионов группы гидроксидов, растворимых в избытке раствора аммиака (6-я аналитическая группа) (табл. 17-20)

К 6-й группе относятся катионы Cu^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} . Эти катионы характеризуются способностью к комплексообразованию. Их гидроксиды растворяются в избытке аммиака с образованием аминокомплексов различного состава. Групповым реагентом на катионы 6-й группы является NH_4OH – гидроксид аммония в избытке. Растворы солей меди, кобальта и никеля окрашены, кадмия и ртути (II) – бесцветны. KOH и NaOH с раство-

рами, содержащими катионы Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , дают аморфные осадки гидроксидов, с катионами Hg^{2+} – оксиды, с катионами Co^{2+} – основные соли.

Таблица 17

Отношение катионов 6-й аналитической группы
к действию едких щелочей

Реагент	Ион	Уравнение реакции	Примечание
Растворы NaOH KOH	Cu^{2+}	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$	Растворяются в кислотах и избытке аммиака, кроме соединений ртути, которые растворяются в NH_4OH только при добавлении солей аммония
	Cd^{2+}	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 \downarrow$	
	Ni^{2+}	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow$	
	Hg^{2+}	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{HgO} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$	
	Co^{2+}	$\text{Co}^{2+} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CoOH}^+$	

Опыт. В 5 пробирок налейте по 3 капли раствора соответствующей соли, добавьте по 3 капли раствора щелочей. Обратите внимание на цвет осадков.

Опыт. Возьмите 5 пробирок, внесите в каждую по 3 капли соответствующих солей, добавьте 3 капли 25% NH_4OH . Обратите внимание на цвет осадков. Затем добавьте ещё по 6 капель раствора аммиака, в пробирки с Hg^{2+} и Co^{2+} добавьте несколько кристалликов NH_4Cl . Сравните цвета осадков с растворами комплексных солей.

Таблица 18

Отношение катионов 6-й аналитической группы
к действию сероводородной воды

Реагент	Ион	Уравнение реакции	Аналитический сигнал	Примечание
H_2S Na_2S	Cu^{2+}	$\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{CuS} \downarrow$	Осадки чёрного цвета	Образуется в присутствии HCl или H_2SO_4 , осадки растворимы при нагревании в HNO_3 , или «царской водке»
	Hg^{2+}	$\text{Hg}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{HgS} \downarrow$		
	Ni^{2+}	$\text{Ni}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{NiS} \downarrow$		
	Co^{2+}	$\text{Co}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{CoS} \downarrow$		
	Cd^{2+}	$\text{Cd}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{CdS} \downarrow$	Осадок жёлтого цвета	pH=5-6 (уксуснокислая среда)

Таблица 19

Отношение катионов 6-й аналитической группы
к действию растворов аммиака

Реагент	Ион	Уравнение реакции	Примечание
NH_4OH эквивалентное количество	Cu^{2+}	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ $\text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4^+$	—
	Cd^{2+}	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ $\text{Cd}^{2+} + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4^+$	
	Hg^{2+}	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{NH}_2\text{Hg}]\text{NO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Hg}^{2+} + \text{NO}_3^- + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{NH}_2\text{Hg}]\text{NO}_3 + \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	
	Ni^{2+}	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})\text{NO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{NO}_3$ $\text{Ni}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4^+$	
	Co^{2+}	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Co}(\text{OH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3$ $\text{Co}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Co}(\text{OH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4^+$	
NH_4OH избыток	Cu^{2+}	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	Образование комплекса происходит при нагревании и добавлении к смеси солей хлорида аммония
	Hg^{2+}	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Hg}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Hg}^{2+} + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	
	Co^{2+}	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{Co}^{2+} + 6\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 6\text{H}_2\text{O}$	
	Cd^{2+}	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cd}^{2+} + 4\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	
	Ni^{2+}	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ni}^{2+} + 6\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 6\text{H}_2\text{O}$	

Таблица 20

Частные реакции катионов 6-й аналитической группы

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Cu^{2+}	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	К 2 – 3 каплям раствора соли меди добавьте 4 – 5 капель воды, 2 – 3 капли H_2SO_4 , кристаллик реагента. Нагрейте
	Zn, Al, Fe	На зачищенную пластину нанесите каплю раствора соли меди, подкисленной кислотой
	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	К 1 – 2 каплям раствора соли меди прибавьте 1 – 2 капли реагента

Ион	Реагент	Выполнение реакции
Cu^{2+}	$(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$	На предметном стекле 1 каплю раствора соли меди подкислите 1 каплей 0,05н. раствора CH_3COOH и прибавьте каплю реагента. Форму кристаллов рассмотрите под микроскопом
Ni^{2+}	Диметилглиоксим (реактив Чугаева)	На 1 каплю раствора соли никеля подействуйте каплей реагента и каплей раствора аммиака
Co^{2+}	$\text{NH}_4 \text{ CNS}$ изоамиловый спирт Реактив Ильинского (α -нитрозо- β -нафтол) $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$	К 2 – 3 каплям раствора соли кобальта добавьте 8 – 10 капель насыщенного раствора реагента, 5 – 6 капель изоамилового спирта. Встряхните пробирку К 2 – 3 каплям раствора соли кобальта, прибавьте 1 каплю воды и 2 – 3 капли реагента. Нагрейте Выпарьте 1 каплю раствора досуха на предметном стекле. Обработайте 1 каплей реагента. Форму и цвет кристаллов рассмотрите под микроскопом
Cd^{2+}	H_2S Тиомочевина Дифенилкарбазид	К 3 – 4 каплям раствора соли кадмия, добавьте 6 капель H_2SO_4 и 2 – 3 кристалла $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, нагревайте 2 – 3 минуты. Отцентрифугируйте и добавьте 5 – 6 капель сероводородной воды. К 3 – 4 каплям соли кадмия добавьте 3 – 4 кристаллика реагента, дайте постоять 2 – 3 мин и добавьте 5 – 6 капель сероводородной воды К 3 – 4 каплям раствора соли кадмия добавьте 3 – 4 кристаллика реагента, через 2 – 3 мин добавьте 5 – 6 капель сероводородной воды На фильтровальную бумагу наносят каплю насыщенного раствора реагента (в присутствии ионов Cu^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} добавляют твердые KCNS и KI), каплю раствора соли кадмия и держат ее 2 – 3 мин над концентрированным раствором аммиака
Hg^{2+}	KI H_2S SnCl_2 Cu металлич.	1. В 4 – 5 капель раствора соли ртути (I) внесите палочку (стеклянную), смоченную раствором реагента 2. На полоску фильтровальной бумаги нанесите 1 каплю раствора KI . Капилляром внесите в центр пятна раствор соли ртути К 1 – 2 каплям раствора соли ртути (II) прибавьте 2 – 3 капли реагента К 1 капле раствора соли ртути (II) прибавьте 2 – 3 капли раствора хлорида олова (II) На медную пластинку нанесите 1 – 2 капли раствора соли ртути (II). Реакция требует времени

АНАЛИЗ СМЕСИ КАТИОНОВ 4 – 6-й АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП

Ход анализа дробным методом

При исследовании смеси катионов 4 – 6-й аналитических групп можно применять дробный метод, так как каждый из ионов может быть обнаружен из отдельных проб в присутствии других (табл. 21).

Таблица 21

Анализ смеси катионов 4 – 6-й аналитических групп дробным методом

Ион	Выполнение работы
Fe^{2+}	К 1 – 2 каплям анализируемого раствора (АР) добавьте 2 капли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
Fe^{3+}	К 1 – 2 каплям АР добавьте 2 – 3 капли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
Al^{3+}	1. На полоску фильтровальной бумаги поместите 1 – 2 капли раствора $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, подсушите в токе тёплого воздуха и добавьте 1 – 2 капли АР. Затем добавьте 1 – 2 капли 0,1% ализарина и обработайте бумагу парами аммиака. Пятно окрашивается в фиолетовый цвет, его смачивают каплей 1н. раствора уксусной кислоты и высушивают. При наличии катиона Al^{3+} появляется красное пятно 2. Возьмите 2 – 3 капли АР, добавьте 3 – 4 капли 2н. раствора уксусной кислоты и 2 – 4 капли 0,1% раствора алюминона. Нагрейте на водяной бане, перемешайте и по каплям добавьте 2н. раствор аммиака, затем внесите 2 – 3 капли 2н. раствора $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. При наличии алюминия раствор окрашивается в красный цвет или появляется красный осадок
Cr^{3+}	К 3 – 4 каплям АР прилейте 5 – 7 капель 2н. раствора KOH и 3 – 4 капли 3% раствора H_2O_2 , нагрейте на водяной бане, пока зелёная окраска не перейдёт в жёлтую. Охладите, добавьте 2н. раствор HNO_3 до кислой реакции и прибавьте 2 капли H_2O_2 , 5 капель изоамилового спирта, взболтайте. Образование синего кольца на поверхности свидетельствует о наличии катиона Cr^{3+}
Zn^{2+}	К 2 – 3 каплям АР прибавьте 1 мл смеси (0,5мл 2н. раствора CH_3COOH и 0,5 2н. раствора CH_3COONa), 4 – 5 капель 1н. раствора тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) и 1мл дитизона (в CHCl_3 или CCl_4), перемешайте. При наличии Zn^{2+} слой растворителя приобретает красную окраску
Mn^{2+}	Определяют реакцией окисления до MnO_4^-
Mg^{2+}	Открывают микрокристаллоскопической реакцией с Na_2HPO_4
Sb^{3+} Sb^{5+}	К 2 – 3 каплям АР добавьте 10 капель воды. Образование осадка указывает на наличие сурьмы
Sn^{2+} Sn^{4+}	К 4 – 5 каплям АР добавьте 2 капли HCl (конц.) и бросьте 2 стружки металлического Mg (Al , Fe) (если в АР необходимо обнаружить Sn^{4+}), нагрейте и добавьте 7 – 8 капель щёлочи и отцентрифугируйте осадок. К 2 – 3 каплям центрифугата добавьте 1 – 2 капли $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. Образование черного осадка свидетельствует о присутствии олова

Ион	Выполнение работы
Bi^{3+}	К 6 каплям AP добавьте 5 – 7 капель 2н. H_2SO_4 , бросьте 2 – 3 кристаллика тиосульфата натрия, нагревайте на кипящей бане 4 – 5 мин. Осадок обработайте 10 каплями 2н. HNO_3 и снова отцентрифугируйте. В центрифугате открывайте Bi^{3+} любой реакцией (например с SnCl_2)
Co^{2+}	На фильтр нанесите 2 капли AP и 1 каплю роданида аммония (конц.). Подержите над парами аммиака и подсушите, при наличии Co^{2+} периферическая часть пятна окрашивается в синий цвет
Ni^{2+}	На полоску фильтровальной бумаги нанесите каплю раствора Na_2HPO_4 , затем в центр пятна – каплю испытуемого раствора, каплю перекиси водорода, после этого ещё добавьте каплю Na_2HPO_4 и каплю диметилглиоксима. При наличии Ni всё пятно или его периферическая часть окрашивается в розовый цвет
Cd^{2+}	К 2 – 3 каплям AP, 3 – 4 каплям 2н. H_2SO_4 добавьте 1 – 2 кристаллика $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, подержите 5 мин на кипящей бане и отцентрифугируйте. Затем на полоску фильтровальной бумаги нанесите 2 – 3 капли центрифугата и подержите над склянкой с сероводородной водой. Появление жёлтого окрашивания говорит о наличии катиона Cd^{2+}
Cu^{2+}	Открывают действием аммиака. Если окраска недостаточно характерна, то рекомендуется следующее. К 3 – 4 каплям AP прибавьте 2 капли щёлочи и образовавшийся осадок нагревайте на бане 5 мин (в присутствии Cu^{2+} осадок приобретает чёрный цвет). Затем добавьте 6 капель раствора NH_4Cl , перемешайте, отцентрифугируйте. Центрифугат отделите и осадок обработайте 3 – 4 каплями HNO_3 . К полученному раствору прилейте 8 – 10 капель NH_4OH (конц.). В присутствии Cu^{2+} раствор окрашивается в лазурно-синий цвет
Hg^{2+}	Обнаруживается действием иодида калия или SnCl_2 (свежеприготовленного)

**Ход анализа систематическим методом
катионов 4 – 6-й аналитических групп (табл. 22 – 25)**

1. Прежде чем приступить к анализу, необходимо обратить внимание на цвет раствора и на характер осадка.

2. Предварительно из отдельных порций открывают катионы Fe^{2+} , Fe^{3+} , Sb^{3+} .

3. Если анализируемый раствор содержит осадок, то раствор размешайте, возьмите 35 – 40 капель смеси в коническую пробирку, добавьте 8 капель 2н. раствора азотной кислоты, перемешайте стеклянной палочкой и нагревайте 4 – 5 минут на водяной бане. Если осадок не черного цвета, то его отфильтруйте, промойте на фильтре или в пробирке разбавленной азотной кислотой и затем внесите на фильтр несколько капель сероводородной воды. При наличии Sb^{3+} осадок окрашивается в оранжево-красный цвет.

Если после нагревания осадок становится черным или темно-серым, то можно предположить, что присутствуют, кроме Sb^{3+} , восстановленные висмут и ртуть. Тогда осадок перенесите в фарфоровую чашечку, растворите в 4 – 6 каплях концентрированной азотной кислоты, разбавьте 5 – 7 каплями дистиллированной воды и откройте катионы Sb^{3+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} .

4. В том случае, когда осадок растворяется полностью в разбавленной азотной кислоте, приступают к отделению 4-й группы катионов без предварительных испытаний.

К раствору, содержащему смесь катионов 4 – 6-й групп, добавьте по каплям раствор гидроксида натрия до щелочной реакции ($\text{pH} = 9 - 10$), 5 – 6 капель перекиси водорода. Затем прилейте еще небольшой избыток раствора гидроксида натрия ($\text{pH} = 10 - 12$), нагревайте на водяной бане 2 – 3 мин и центрифугируйте. При этом в осадке (1) остаются катионы 5-й и 6-й групп в виде гидроксидов, а катионы 4-й группы переходят в раствор (центрифугат 2).

5. Для разделения катионов 5-й и 6-й групп осадок (1), оставшийся после отделения катионов 4-й группы, растворяют в азотной кислоте. Затем нагревают, добавляют в избытке 25% аммиака и несколько кристаллов нитрата аммония, перемешивают стеклянной палочкой, снова нагревают на водяной бане и центрифугируют. В осадке (2) остаются гидроксиды катионов 5-й группы. Анализируют по таблице 24 (анализ 5-й группы).

6. Центрифугат, содержащий катионы 4-й группы, нейтрализуют соляной кислотой ($\text{pH} = 3 - 4$) и анализируют, как указано в таблице 23 (анализ 4-й группы).

7. Центрифугат (2), содержащий смесь катионов 6-й группы в виде аммиакатов и катионов магния, делят на две части. В отдельной пробе открывают катион магния. Остальной раствор нейтрализуют соляной кислотой до $\text{pH} = 3 - 4$ и определяют катионы 6-й группы (табл. 25).

Таблица 22

Систематический ход анализа катионов 4 – 6-й аналитических групп

1. Открывают из отдельных проб Fe^{2+} , Fe^{3+} , Sb^{3+}	
2. Добавляют NaOH до $\text{pH} = 10 - 12$, раствор H_2O_2 , центрифугируют	
3. Осадок 1: смесь гидроксидов катионов 5 – 6-й групп. Растворяют в HNO_3 при нагревании, добавляют раствор NH_4OH и NH_4Cl , перемешивают, нагревают, центрифугируют	4. Центрифугат 1: $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ нейтрализуют соляной кислотой до $\text{pH} = 5 - 6$ и поступают так, как указано в табл. 23
5. Осадок 2: смесь гидроксидов катионов 5-й группы. С этим осадком поступают так, как указано в табл. 24	6. Центрифугат 2: смесь катионов 6-й группы в виде аммиакатов и Mg^{2+} открывают из отдельной пробы. Остальной раствор нейтрализуют HCl до $\text{pH} = 3 - 4$ и определяют катионы 6-й группы по табл. 25

Таблица 23
Систематический ход анализа смеси катионов 4-й группы

1. К испытываемому раствору добавляют раствор NH_3 и H_2O_2 , нагревают и центрифугируют			
2. Осадок 1: $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Sn}(\text{OH})_4$ обрабатывают HCl и определяют Al^{3+} и Sn^{4+} частными реакциями; Al^{3+} – при помощи ализарина или алюминона, а Sn^{4+} – сероводородной водой или восстановлением до Sn^{2+} и действием Bi^{3+} в щелочной среде	3. Центрифугат 1: $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ нейтрализуют CH_3COOH , добавляют раствор Na_2CO_3 и центрифугируют		
	4. Осадок 2: $(\text{ZnOH})_2\text{CO}_3$ растворяют в CH_3COOH и определяют Zn^{2+} с дитизоном или микрокристаллоскопической реакцией	5. Центрифугат 2: $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$, Cr^{3+} открывают в виде $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	

Таблица 24
Систематический ход анализа катионов 5-й группы

1. Если катионы 5-й группы находятся в виде осадка гидроксидов, то его растворяют в соляной кислоте				
2. В отдельных пробах открывают Fe^{2+} с $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и Fe^{3+} с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$				
3. Солянокислый раствор нейтрализуют 0,5н. NaOH до появления слабой мути, которую потом растворяют добавлением нескольких капель HCl. Разбавляют десятикратным количеством дистиллированной воды, центрифугируют				
4. Осадок 1: SbOCl , BiOCl обрабатывают в пробирке винной кислотой, центрифугируют		5. Центрифугат 1: Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} . Все катионы осаждают NaOH, добавляют H_2O_2 , нагревают, центрифугируют		
6. Осадок 2: BiOCl промывают водой, растворяют в HNO_3 и открывают Bi^{3+} характерными реакциями	7. Центрифугат 2: $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}(\text{SbO})$. Из данного раствора открывают сурьму (III) или (V) характерными реакциями	8. Осадок 3: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MnO_2 , обрабатывают раствором NH_4Cl		9. Центрифугат 3: MgCl_2 открывают с: а) Na_2HPO_4 ; б) магниезоном
		10. Осадок 4: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_2 растворяют в разбавленной HNO_3	11. Центрифугат 4: Fe^{2+} , Fe^{3+} открывают с NH_4CNS	
				12. Осадок 5: MnO_2 растворяют в HCl и обнаруживают висмутатом натрия или персульфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$

Таблица 25
Систематический ход анализа смеси катионов 6-й группы

1. К исследуемому раствору приливают 2н. раствор NH_4OH , нагревают 2 – 3 минуты, охлаждают и центрифугируют			
2. Осадок 1: CoOHCl^* , $[\text{HgNH}_2]\text{Cl}^*$ обрабатывают 2н. раствором H_2SO_4	3. Центрифугат 1: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ нейтрализуют 2н. раствором H_2SO_4 до кислой реакции, добавляют 2 кристаллика $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, нагревают, центрифугируют		
	4. Осадок 2: $[\text{HgNH}_2]\text{Cl}$ растворяют в концентрированной HNO_3 и определяют частными реакциями Hg^{2+} с KI или медью	5. Центрифугат 2: CoSO_4 . Co^{2+} открывают с NH_4SCN в виде $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$	6. Осадок 3: CuS растворяют в 2н. HNO_3 и определяют Cu^{2+} с NH_4OH
			7. Центрифугат 3: Ni^{2+} и Cd^{2+} открывают, прибавляя NH_4OH и реактив Чугаева; Cd^{2+} открывают с $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ или H_2S

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

АНАЛИЗ СМЕСИ КАТИОНОВ ВСЕХ ШЕСТИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП (табл. 26 – 28)

Предварительные испытания

При анализе смеси катионов всех шести групп следует обратить внимание на окраску и реакцию раствора. Отсутствие окраски даёт возможность предположить, что в растворе нет катионов: Cr^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} . Нейтральная реакция указывает, что катионы $\text{Sn}^{2+(4+)}$, Bi^{3+} , Hg^{2+} , $\text{Sb}^{3+(5+)}$ отсутствуют. В отдельных пробах проводятся реакции с соляной, серной кислотами, а также с хлоридом олова (2). Если при прибавлении к отдельной пробе исследуемого раствора серной кислоты осадка не образуется, то в растворе отсутствуют катионы Pb^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} (и вероятно Ca^{2+}). Если не выпадает осадок при пробе с соляной кислотой, следовательно, катионов Ag^+ , Hg_2^{2+} и, возможно, катиона Pb^{2+} – нет.

* Состав этих соединений зависит от состава солей анализируемых катионов.

Если же при прибавлении SnCl_2 не появляется чёрный осадок, то это является основанием предположить, что катионы Bi^{3+} , Hg^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ отсутствуют. Испытываемый раствор может быть с осадком и без осадка. Анализ смеси катионов 1 – 6-й групп можно проводить с отделением и без отделения осадка.

Анализ смеси катионов 1 – 6-й аналитических групп с отделением осадка

1. 20 – 30 капель исследуемого раствора центрифугируют			
2. Осадок 1 содержит соли свинца, ртути, серебра, бария, стронция, кальция, сурьмы, промывают горячей дистиллированной водой		3. Центрифугат 1 содержит катионы 1 – 6-й аналитических групп, анализируют как смесь без осадка по табл. 28	
4. Осадок 2 промывают 8 – 10 каплями 2н. HCl	5. Центрифугат 2 содержит Pb^{2+} , открывают его любой частной реакцией		
6. Осадок 3, содержащий соли катионов 3-й группы, а также Ag^+ , Hg_2^{2+} , анализируют по табл. 11	7. К центрифугату 3, содержащему Sb^{3+} , добавляют 5-кратный объём воды		

Анализ смеси без отделения осадка

Раствор с осадком тщательно взболтайте и часть смеси – 20 – 30 капель – исследуйте, а другую – сохраните для контрольных проб на катионы: Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ .

Анализ смеси катионов всех шести аналитических групп без отделения осадка

1. К 20 каплям исследуемого раствора добавьте 6 – 7 капель 2н. HNO_3 , перемешайте, нагрейте на бане, охладите, добавьте 5 капель концентрированного HCl , дайте постоять 2 – 3 мин и отцентрифугируйте		
2. Осадок 1: катионы 2-й и 3-й аналитических групп в виде солей анализируют по табл. 9 п.3	3. Центрифугат 1: катионы 1 – 6-й аналитических групп анализируют по табл. 28	

Анализ смеси без осадка

1. Предварительные испытания на Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ проводят из отдельных проб		
2. Добавляют 8 – 10 капель 2н. HCl , нагревают 5 мин, дают постоять, центрифугируют		
3. Осадок 1: хлориды катионов 2-й аналитической группы анализируют по табл. 11	4. Центрифугат 1: содержит катионы 1, 3 – 6-й аналитических групп. Добавляют 8 – 10 капель раствора $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
	5. Осадок 2: сульфаты катионов 3-й аналитической группы анализируют по табл. 12	6. Центрифугат 2: катионы 1, 4 – 6-й аналитических групп; к 1 мл центрифугата добавьте концентрированный раствор аммиака (по каплям до щелочной реакции), 6 капель $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, отцентрифугируйте. Раствор упарьте досуха и прокалите до полного удаления ионов аммония (проба с реактивом Несслера). Полученный после прокаливания осадок растворить в 5 – 6 каплях дистиллированной воды и определить катионы K^+ и Na^+
	7. 3 – 4 мл центрифугата нейтрализуйте раствором гидроксида натрия до щелочной реакции, упарьте наполовину и анализируйте по табл. 22. Кроме того, можно воспользоваться дробным методом (табл. 21)	

Уравнения реакций обнаружения катионов 1 – 6-й аналитических групп с указанием аналитического сигнала представлены в табл. 29 – 31.

Действие специфических и избирательных реагентов

Ион	Реагент	Уравнение реакции
NH_4^+	NaOH	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
	$\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ реактив Несслера	$\text{NH}_4^+ + 2[\text{HgI}_4]^{2-} + 4\text{OH}^- \rightarrow \left[\begin{array}{c} \text{Hg} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \quad \text{NH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Hg} \end{array} \right] \downarrow + 7\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ красно-бурый
Na^+	KH_2SbO_4	$\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{SbO}_4^- \rightarrow \text{NaH}_2\text{SbO}_4 \downarrow$ белый крист.
K^+	$\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	$\text{K}^+ + \text{HC}_4\text{H}_4\text{O}_6^- \rightarrow \text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \downarrow$ белый крист.
	$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$2\text{K}^+ + \text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{2-} \rightarrow \text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow$ желтый крист.

Продолжение табл. 29

Ион	Реагент	Уравнение реакции
Ag^+	K_2CrO_4	$2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4\downarrow$ кирпично-красный
	KI	$\text{Ag}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{AgI}\downarrow$ бледно-желтый
	KBr	$\text{Ag}^+ + \text{Br}^- \rightarrow \text{AgBr}\downarrow$ желтый
Pb^{2+}	K_2CrO_4	$\text{Pb}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbCrO}_4\downarrow$ желтый крист.
	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$2\text{Pb}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{PbCrO}_4\downarrow + 2\text{H}^+$ желтый крист.
	KI	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2\downarrow$ желтый крист.
Hg_2^{2+}	K_2CrO_4	$\text{Hg}_2^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Hg}_2\text{CrO}_4\downarrow$ красный
	KI	$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{Hg}_2\text{I}_2\downarrow$ зеленоватый
	SnCl_2	$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow$ белый
	Cu, металлич.	$\text{Hg}_2^{2+} + \text{Cu} \downarrow \rightarrow 2\text{Hg}\downarrow + \text{Cu}^{2+}$ металлический блеск
Ba^{2+}	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$2\text{Ba}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{BaCrO}_4\downarrow + 2\text{H}^+$ желтый крист.
	K_2CrO_4	$\text{Ba}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaCrO}_4\downarrow$ желтый крист.
Sr^{2+}	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Sr}^{2+} + \text{CaSO}_4 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{SrSO}_4\downarrow + \text{Ca}^{2+}$ белый крист.
	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{Sr}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{SrC}_2\text{O}_4\downarrow$ белый крист.
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{Sr}^{2+} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SrSO}_4\downarrow + 2\text{NH}_4^+$ белый крист.
Ca^{2+}	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$ белый крист.
	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{NH}_4^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Ca}(\text{NH}_4)_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]\downarrow$ белый крист.
	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	$\text{Ca}^{2+} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{NH}_4^+$ белый крист.

Продолжение табл. 29

Ион	Реагент	Уравнение реакции
Al^{3+}	$\text{C}_{14}\text{H}_6\text{O}_2(\text{OH})_2$ ализарин	$\text{Al}^{3+} + \text{ализарин} \rightarrow \text{«ализариновый лак»}\downarrow$ ярко-красный
	$\text{C}_{22}\text{H}_{11}\text{O}_9(\text{NH}_4)_3$ алюминон	$\text{Al}^{3+} + \text{алюминон} \rightarrow \text{соединение красного цвета}\downarrow$
	NaOH (избыток) + NH_4Cl	$\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{NH}_4\text{OH}$ белый
	$\text{C}_9\text{H}_6\text{NOH}$ 8-оксихинолин	$\text{Al}^{3+} + 3\text{C}_9\text{H}_6\text{NOH} \rightarrow (\text{C}_9\text{H}_6\text{NO})_3\text{Al}\downarrow$ зеленовато-желтый
Cr^{3+}	H_2O_2	$2[\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}_2\text{O}$ желтый
	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	$2\text{Cr}^{3+} + 3\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{SO}_4^{2-} + 14\text{H}^+$ оранжевый
Zn^{2+}	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ ЭДТА	$\text{Cr}^{3+} + \text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \rightarrow \text{фиолетовое окрашивание}$
	H_2S	$\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{ZnS}\downarrow$ белый
	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$3\text{Zn}^{2+} + 2\text{K}^+ + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2\downarrow$ белый
	$\text{CSN}_4\text{H}_2(\text{C}_6\text{H}_5)_2$ дитизон $(\text{NH}_4)_2\text{Hg}(\text{CNS})_4$ тетрароданмер- куриат аммония	$\text{Zn}^{2+} + \text{дитизон} \rightarrow \text{дитизонат цинка}$ красного цвета в органической среде $\text{Zn}^{2+} + (\text{NH}_4)_2\text{Hg}(\text{CNS})_4 \rightarrow \text{ZnHg}(\text{CNS})_4\downarrow + 2\text{NH}_4^+$ белый крист.
Sn^{2+}	соли висмута	$3[\text{Sn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\text{Bi}^{3+} + 6\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Bi}\downarrow + 3[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ черный
	$\text{H}_2\text{S} + 2\text{M HCl}$	$\text{SnCl}_4^{2-} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SnS}\downarrow + 4\text{Cl}^- + 2\text{H}^+$ темно-коричневый
	$\text{HgCl}_2 + 2\text{M HCl}$	$\text{SnCl}_4^{2-} + 2\text{HgCl}_2 \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + \text{SnCl}_6^{2-}$ белый
Sn^{4+}	Mg, Al	$\text{SnCl}_6^{2-} + 2\text{Mg} \rightarrow \text{Sn}\downarrow + 2\text{MgCl}_2 + 2\text{Cl}^-$ черный
	H_2S	$\text{SnCl}_6^{2-} + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SnS}_2\downarrow + 6\text{Cl}^- + 4\text{H}^+$ желтый
	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, NaOH	$3\text{Sn}(\text{OH})_4^{2-} + 2\text{Bi}^{3+} + 6\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Bi}\downarrow + 3[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ черный
Fe^{2+}	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ турбулева синь

Продолжение табл. 29

Ион	Реагент	Уравнение реакции
Fe^{2+}	$(\text{CH}_3)_2(\text{CNOH})_2$	$\text{Fe}^{2+} + 2(\text{CH}_3)_2(\text{CNOH})_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2 \downarrow + 2\text{H}^+$ красный
	диметилглиоксим	$\text{Fe}^{2+} + \text{диметилглиоксим} \rightarrow \text{диметилглиоксимат железа}$
Fe^{3+}	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow$ берлинская лазурь
	NH_4CNS	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{CNS}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{SCN})_3 \downarrow$ красный
Mn^{2+}	NaBiO_3	$2\text{Mn}^{2+} + 5\text{BiO}_3^- + 14\text{H}^+ \rightarrow 2\text{MnO}_4^- + 5\text{Bi}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ малиновый
	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	$2\text{Mn}^{2+} + 5\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MnO}_4^- + 10\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$ малиновый
	$\text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2$ бензидин	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4^+$ $2\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}(\text{OH})_2$ $\text{MnO}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$ $\text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH})_2 + \text{Mn}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH})_2 + \text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2 \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH})_2 \cdot \text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2$ синий
	H_2O	$\text{BiCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})_2\text{Cl} \downarrow + 2\text{HCl}$ $\text{Bi}(\text{OH})_2\text{Cl} \downarrow \rightarrow \text{BiOCl} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Bi}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BiOCl} \downarrow + 2\text{H}^+$ белый
Bi^{3+}	$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$	$2\text{Bi}^{3+} + 3\text{Sn}(\text{OH})_4^{2-} + 6\text{OH}^- \rightarrow \text{Bi} \downarrow + 3[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ черный
	$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ тиомочевина	$\text{Bi}^{3+} + 3\text{SC}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow [\text{Bi}(\text{SCN}_2\text{H}_4)_3]^{3+}$ желтый
Mg^{2+}	Na_2HPO_4	$\text{Mg}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ белый крист.
	магнезон	$\text{Mg}^{2+} + \text{магнезон} \rightarrow \text{соединение синего цвета}$
Sb^{3+}	H_2O	$\text{SbCl}_6^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SbOCl} \downarrow + 2\text{H}^+ + 5\text{Cl}^-$ белый
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$2\text{SbCl}_6^{3-} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Sb}_2\text{OS}_2 \downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 12\text{Cl}^-$ красно-оранжевый
Sb^{3+} Sb^{5+}	H_2S	$2\text{SbCl}_6^{3-} + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Sb}_2\text{S}_3 \downarrow + 6\text{H}^+ + 12\text{Cl}^-$ $2[\text{SbCl}_6]^- + 5\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Sb}_2\text{S}_5 \downarrow + 10\text{H}^+ + 12\text{Cl}^-$ оранжевый
	Zn, металлич.	$2[\text{SbCl}_6]^{3-} + 3\text{Zn} \rightarrow 2\text{Sb} \downarrow + 3\text{Zn}^{2+} + 12\text{Cl}^-$ $2[\text{SbCl}_6]^- + 5\text{Zn} \rightarrow 2\text{Sb} \downarrow + 5\text{Zn}^{2+} + 12\text{Cl}^-$ черный

Окончание табл. 29

Ион	Реагент	Уравнение реакции
Sb^{3+} Sb^{5+}	Sn	$2[\text{SbCl}_6]^{3-} + 3\text{Sn} \rightarrow 2\text{Sb} \downarrow + 3[\text{SnCl}_4]^{2-}$ черный
Cu	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ интенсивно-синий
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$2\text{Cu}^{2+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} \downarrow + \text{S} \downarrow + 4\text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{2-}$ темно-бурый
	Zn, Fe, Al – металлич.	$\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} \downarrow + \text{Zn}^{2+}$ красный
	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$2\text{Cu}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$ красно-бурый
Ni^{2+}	Диметилглиоксим	$2\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2 + \text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_4\text{Ni} \downarrow + 2\text{H}^+$ красный
Co^{2+}	NH_4SCN + изоамиловый спирт	$\text{Co}^{2+} + 4\text{SCN}^- \rightarrow [\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$ ярко-синий
	Реактив Ильинского (α -нитрозо- β - нафтол)	$\text{Co}^{3+} + 3\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO})(\text{OH}) \rightarrow [\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO})\text{O}]_3\text{Co} \downarrow + 3\text{H}^+$ красно-бурый
	KNO_2 , CH_3COOH	$\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 7\text{KNO}_2 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$ $\rightarrow \text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow + \text{NO} + 4\text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O}$ желтый
Cd^{2+}	$\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}$ дифенилкарбазид	$\text{Cd}^{2+} + \text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O} \rightarrow \text{соединение сине-фиолетового цвета.}$
	H_2S	$\text{Cd}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{CdS} \downarrow$ желтый
	тиомочевина $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	$\text{Cd}^{2+} + 4\text{SC}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow [\text{Cd}(\text{SCN}_2\text{H}_4)_4]^{2+} \downarrow$ желто-оранжевый
Hg^{2+}	KI	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{HgI}_2 \downarrow$ красный
	H_2S	$\text{Hg}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{HgS} \downarrow + 2\text{H}^+$ черный
	SnCl_2	$2\text{HgCl}_2 + [\text{SnCl}_4]^{2-} \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow + [\text{SnCl}_6]^{2-}$ $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow + [\text{SnCl}_4]^{2-} \rightarrow 2\text{Hg} \downarrow + [\text{SnCl}_6]^{2-}$ черный
	Cu, металлич.	$\text{Hg}^{2+} + \text{Cu} \rightarrow \text{Hg} \downarrow + \text{Cu}^{2+}$ черный

Таблица 30

Микрокристаллоскопические реакции











Ион	Реагент	Уравнение реакции	Форма кристаллов
K ⁺	Na ₂ Pb[Cu(NO ₂) ₆]	$2K^{+} + Na_2Pb[Cu(NO_2)_6] \rightarrow$ $\rightarrow K_2Pb[Cu(NO_2)_6] + 2Na^{+}$ черные кристаллы	
Na ⁺	UO ₂ (CH ₃ COO) ₂	$Na^{+} + UO_2(CH_3COO)_2 + CH_3COO^{-} \rightarrow$ $\rightarrow Na(UO_2)(CH_3COO)_3$ желтые кристаллы	
Sr ²⁺	Cu(NO ₃) ₂ CH ₃ COOH KNO ₃ тв.	$Sr^{2+} + 2K^{+} + Cu^{2+} + 6NO_2^{-} \rightarrow$ $\rightarrow K_2Sr[Cu(NO_2)_6]$ изумрудно-зеленые кристаллы	
Ca ²⁺	H ₂ SO ₄	$Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$	
Zn ²⁺	(NH ₄) ₂ Hg(SCN) ₄	$Zn^{2+} + (NH_4)_2Hg(SCN)_4 \rightarrow$ $\rightarrow ZnHg(SCN)_4 + 2NH_4^{+}$ бесцветные кристаллы	
Co ²⁺	(NH ₄) ₂ Hg(SCN) ₄	$Co^{2+} + (NH_4)_2Hg(SCN)_4 \rightarrow$ $\rightarrow CoHg(SCN)_4 + 2NH_4^{+}$ ярко-синие кристаллы	
Cu ²⁺	(NH ₄) ₂ Hg(SCN) ₄	$Cu^{2+} + (NH_4)_2Hg(SCN)_4 \rightarrow$ $\rightarrow CuHg(SCN)_4 + 2NH_4^{+}$ желтые кристаллы	
NO ₃ ⁻	Нитрон C ₂₀ H ₁₆ N ₄	$NO_3^{-} + H^{+} + C_{20}H_{16}N_4 \rightarrow$ $\rightarrow C_{20}H_{16}N_4 \cdot HNO_3$ темно-коричневые кристаллы	
Mg ²⁺	Na ₂ HPO ₄ , NH ₄ OH	$Mg^{2+} + NH_4^{+} + PO_4^{3-} + 6H_2O \rightarrow$ $\rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ медленная кристаллизация	
Mg ²⁺	Na ₂ HPO ₄ , NH ₄ OH	$Mg^{2+} + NH_4^{+} + PO_4^{3-} + 6H_2O \rightarrow$ $\rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ быстрая кристаллизация	

Таблица 31

Реакции окрашивания пламени

Ион	Длина волны, нм	Цвет пламя
K ⁺	λ=769	бледно-фиолетовый темно-красная линия
Na ⁺	λ=590	желтый
Ba ²⁺	λ=510 – 580	желто-зеленый группа зеленых линий
Ca ²⁺	λ=554 λ=622	кирпично-красный зеленая линия и красная линия
Sr ²⁺	λ=605	карминно-красный оранжевая линия

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. М.: Химия, 1973.
2. Логинов Н.Я., Воскресенский А.Г. Аналитическая химия. М.: Просвещение, 1975.
3. Основы аналитической химии: В 2 кн. / Сост. Ю.А. Золотов и др. М.: Высш. школа, 1996.
4. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика: В 2 кн. М.: Высш. школа, 2001.
5. Крешков А.П. Основы аналитической химии. М.: Химия, 1970.
6. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989.
7. Справочник химика. Основные свойства неорганических и органических соединений. Л.: Химия. 1972. Т. 2.

Учебное издание

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Практикум по качественному анализу

Татьяна Николаевна Куркова
Юлия Владимировна Королева
Яна Валерьевна Веремейчик

Редактор М.В. Королева
Оригинал-макет Г.Е. Гришиной

Подписано в печать 15.04.2002 г. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага для множительных аппаратов. Ризограф. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 120 экз. Заказ 102.

Издательство Калининградского государственного университета
236041, г. Калининград, ул. А.Невского, 14