

Систематические методы качественного анализа КАТИОНОВ

Классификации катионов качественного анализа

◎ Применение разнообразных групповых реактивов позволило разработать различные аналитические классификации катионов (и анионов). Наибольшее распространение получили сульфидная, кислотно-основная и аммиачно-фосфатная классификация.

Сульфидная классификация катионов

- ⊙ Предложена Н.А. Меншуткиным и основана на различной растворимости сульфидов, карбонатов и хлоридов. По этой классификации все катионы делятся на пять аналитических групп.

Сульфидная классификация

Группа		Групповой реактив	Растворимость соединений
I	Na^+ , K^+ , NH_4^+ Mg^{2+}	-	Сульфиды, карбонаты, хлориды растворимы в воде
II	Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+}	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ pH = 9,2	Карбонаты нерастворимы в воде
III	Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Zn^{2+}	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$ pH = 9,2	Сульфиды растворимы в разбавленных кислотах
IV	Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sb(V) Sn^{2+} , Sn(IV)	NH_2S pH = 0,5	Сульфиды нерастворимы в разбавленных кислотах
V	Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+}	HCl	Хлориды нерастворимы в воде и разбавленных кислотах

Аммиачно-фосфатная классификация

- Основана на различной растворимости фосфатов в воде, сильных и слабых кислотах, щелочах и аммиаке.
- По этой классификации катионы делят на пять аналитических групп.

Кислотно-основная классификация

- Кислотно-основная классификация основана на различной растворимости гидроксидов, хлоридов, сульфатов. Групповыми реактивами этого метода являются растворы кислот и оснований. По кислотно-основной классификации катионы делят на шесть аналитических групп.

Кислотно-основная классификация

Группа		Групповой реактив	Растворимость соединений
I	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{NH}_4^+$	-	Хлориды, сульфаты и гидроксиды растворимы в воде
II	$\text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}, \text{Hg}_2^{2+}$	HCl	Хлориды нерастворимы в воде и разбавленных кислотах
III	$\text{Ba}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Сульфаты нерастворимы в воде и кислотах
IV	$\text{Cr}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Sn}^{2+}, \text{Sn(IV)}$	NaOH (избыток)	Гидроксиды растворимы в избытке щелочи (амфотерны)
V	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Bi}^{3+}, \text{Sb}^{3+}, \text{Sb(V)}$	NaOH (NH_4OH)	Гидроксиды нерастворимы в избытке щелочи и аммиака
VI	$\text{Cu}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Hg}^{2+}, \text{Cd}^{2+}$	NH_4OH (избыток)	Гидроксиды растворимы в избытке аммиака

ПЕРВАЯ ГРУППА КАТИОНОВ

Общая характеристика катионов I аналитической группы

- К первой аналитической группе катионов относят катионы Li^+ , Na^+ , K^+ и NH_4^+ .
- Группа не имеет группового реактива. Соответствующие первым двум катионам элементы Na и K находятся в главной подгруппе первой группы периодической системы Д.И. Менделеева и являются s-элементами. Общая электронная формула их внешнего энергетического уровня s^1 , таким образом, ионы Na^+ и K^+ имеют устойчивую 8-электронную конфигурацию внешнего энергетического уровня.
- Катион NH_4^+ - сложный ион, свойства его сходны со свойствами катиона K^+ , что объясняется одинаковым зарядом ионов и близким значением их ионных радиусов ($r_{\text{K}^+} = 0,133$ нм, $r_{\text{NH}_4^+} = 0,142$ нм). Сходные свойства приводят к одинаковому действию некоторых реактивов на эти ионы.

ВТОРАЯ ГРУППА КАТИОНОВ

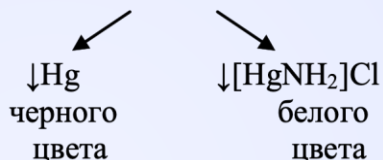
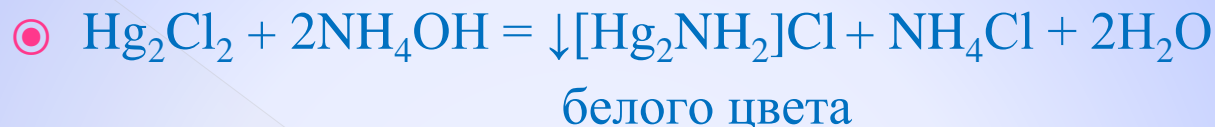
Общая характеристика катионов II аналитической группы

- Вторую аналитическую группу составляют катионы Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} . Элементы, соответствующие этим катионам, находятся в разных группах периодической системы Д.И. Менделеева. Ag^+ , Hg_2^{2+} -катионы d -элементов имеют электронную формулу внешнего энергетического уровня соответственно $4s^24p^24d^{10}$ (Ag^+) и $5s^25p^65d^{10}$, т.е. устойчивый 18-электронный внешний энергетический уровень. Pb^{2+} - катион p -элемента, электронная формула внешнего энергетического уровня $6s^2$, предыдущий пятый уровень имеет 18 электронов.
- Эти катионы образуют нерастворимые в воде хлориды, поэтому групповым реактивом на II группу является хлороводородная кислота HCl . Растворимость хлоридов различна. При стандартной температуре 298 К $P_{\text{AgCl}} = 1,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $P_{\text{PbCl}_2} = 4 \cdot 10^{-2}$ моль/л, $P_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2} = 6,9 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Растворимость PbCl_2 наибольшая. Она значительно увеличивается при повышении температуры и при температуре 373 К достигает $1,2 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Это свойство хлорида свинца дает возможность отделять PbCl_2 от AgCl и Hg_2Cl_2 .

Действие группового реактива на катионы II группы

- Групповой реактив – 2 М раствор HCl – дает с катионами Ag⁺, Pb²⁺, Hg₂²⁺ осадки хлоридов белого цвета:
 - $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \downarrow \text{AgCl};$
 - $\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \downarrow \text{PbCl}_2;$
 - $\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \downarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2.$
- Хлорид серебра растворяется в растворе аммиака. Эту реакцию используют для отделения AgCl от Hg₂Cl₂:
 - $\text{AgCl} + 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- При подкислении образовавшегося амминокомплекса азотной кислотой последний разрушается с образованием осадка AgCl:
 - $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{HNO}_3 = \downarrow \text{AgCl} + 2\text{NH}_4\text{NO}_3,$
 - $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{Cl}^- + 2\text{H}^+ = \downarrow \text{AgCl} + 2\text{NH}_4^+$
- Этот комплекс разрушается и иодидом калия KI, при этом выпадает светло-желтый осадок AgI:
 - $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{I}^- + 2\text{H}_2\text{O} = \downarrow \text{AgI} + 2\text{NH}_4\text{OH}$
- Эти реакции служат для обнаружения иона Ag⁺.

- Хлорид ртути при взаимодействии с раствором аммиака дает хлористое амидное соединение ртути, которое разлагается с выделением металлической ртути черного цвета. Эту реакцию используют для обнаружения иона Hg_2^{2+} :



- Хлорид серебра растворится в горячей воде. Это свойство осадка используют для его отделения от AgCl и Hg_2Cl_2 .

ТРЕТЬЯ ГРУППА КАТИОНОВ

Общая характеристика катионов III аналитической группы

- К третьей аналитической группе относят катионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} . Они соответствуют элементам главной подгруппы II группы периодической системы Д.И. Менделеева. Это катионы *s*-элементов. Они имеют устойчивую 8-электронную формулу внешнего энергетического уровня s_2p_6 . Поэтому степень окисления этих катионов постоянна, и они не вступают в окислительно-восстановительные реакции.
- С анионами сильных кислот, кроме H_2SO_4 , катионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} дают растворимые соли. Сульфаты, карбонаты, фосфаты, хроматы и оксалаты этих катионов труднорастворимы в воде, причем растворимость соединений уменьшается с увеличением ионного радиуса катиона (от Ca^{2+} к Ba^{2+}).
- Групповой реактив H_2SO_4 осаждает катионы III группы в виде сульфатов, нерастворимых в кислотах и щелочах. Поскольку растворимость $CaSO_4$ достаточно большая, осадить катион Ca^{2+} разбавленным раствором H_2SO_4 практически полностью не удастся. Для достижения полноты осаждения его проводят в присутствии этанола, понижающего растворимость $CaSO_4$.

- ⊙ Гидроксиды катионов III группы проявляют основные свойства, усиливающие с возрастанием ионного радиуса. В этом же направлении повышается и растворимость гидроксидов: $P_{\text{Ca(OH)}_2} < P_{\text{Sr(OH)}_2} < P_{\text{Ba(OH)}_2}$.
- ⊙ Катионы III группы бесцветны, окраска их соединений определяется только окраской аниона. Соли этих катионов, образованные сильными кислотами, не гидролизуются. Реакции комплексообразования с неорганическими реагентами для катионов Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} малохарактерны. При взаимодействии с некоторыми органическими реагентами образуются прочные растворимые внутрикомплексные соединения. Для катионов III группы характерны реакции окрашивания пламени.

Действие группового реактива на катионы III группы

- Серная кислота и растворимые сульфаты с катионами Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} образуют осадки сульфатов белого цвета:
 - $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \downarrow \text{BaSO}_4$,
 - $\text{Sr}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \downarrow \text{SrSO}_4$,
 - $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \downarrow \text{CaSO}_4$
- Ввиду сравнительно большой растворимости CaSO_4 ион Ca^{2+} разбавленным раствором H_2SO_4 полностью осадить нельзя. Его осаждают при действии концентрированного или спиртового раствора H_2SO_4 .
- Сульфаты катионов третьей группы нерастворимы в кислотах и щелочах. Поэтому для получения в растворе свободных ионов Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} сульфаты переводят в карбонаты, а последние растворяют в уксусной кислоте. Например:
 - $\downarrow \text{BaSO}_4 + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow \downarrow \text{BaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-}$,
 - $\downarrow \text{BaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \uparrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Однако CaSO_4 , в отличие от SrSO_4 , растворим в насыщенном растворе $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ вследствие образования растворимого комплекса CaSO_4 :
 - $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{CaSO}_4$
- Эту реакцию используют для разделения катионов Ca^{2+} и Sr^{2+} .

ЧЕТВЕРТАЯ ГРУППА КАТИОНОВ

Общая характеристика катионов IV аналитической группы

- К четвертой группе относят катионы Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , гидроксиды которых проявляют амфотерные свойства. Групповым реактивом являются щелочи KOH , $NaOH$. Гидроксиды катионов IV группы растворяются в избытке щелочи и переходят в раствор в виде комплексных ионов $Zn(OH)_4^{2-}$, $Al(OH)_4^-$, $Cr(OH)_4^-$, $Sn(OH)_4^{2-}$, $Sn(OH)_6^{2-}$ (при иной форме записи реакций эти ионы записывают соответственно ZnO_2^{2-} , AlO_2^- , CrO_2^- , SnO_2^{2-} , SnO_3^{2-}). Эти анионы устойчивы только в сильнощелочной среде. В кислой среде ионы IV группы существуют в виде гидротированных катионов Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} .
- Соли катионов IV группы подвергаются гидролизу, при этом соли катионов Al^{3+} и Cr^{3+} и очень слабых летучих кислот (сульфиды, карбонаты) гидролизуются полностью и не могут существовать в водных растворах.

- ⊙ Катионы Zn^{2+} , Al^{3+} , будучи образованными элементами с законченными 8- и 18-электронными внешними уровнями, имеют постоянную степень окисления и не участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Хром и олово проявляют в соединениях переменную степень окисления ($Sn^{2+} - Sn^{4+}$; $Cr^{3+} - CrO_4^{2-} - Cr_2O_7^{2-}$), поэтому для обнаружения их ионов используют окислительно-восстановительные реакции. При действии на катионы IV группы избытка щелочи в присутствии пероксида водорода все ионы переменной степени окисления находятся в растворе в высшей степени окисления (CrO_4^{2-} , SnO_3^{2-}). Окислительно-восстановительные свойства ионов часто зависят от кислотности раствора. Так, восстановительные свойства иона Sn^{2+} усиливаются при повышении pH раствора, окислительные свойства ионов CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$ усиливаются с понижением pH раствора.
- ⊙ Все катионы IV группы склонны к комплексообразованию.
- ⊙ Хлориды, нитраты, сульфаты катионов IV группы растворимы в воде. Соединения Zn^{2+} , Al^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} бесцветны, все соединения хрома окрашены в цвет соответствующего иона: CrO_4^{2-} - желтого цвета, $Cr_2O_7^{2-}$ - оранжевого, Cr^{3+} - сине-зеленого.

- Групповым реактивом на катионы IV группы являются растворы KOH и NaOH. При взаимодействии катионов этой группы со щелочами образуются аморфные осадки гидроксидов:



- Гидроксиды растворяются в избытке щелочи:



- и в кислотах:



⊙ Гидроксид хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$ не растворяется в избытке щелочи в присутствии ионов Zn^{2+} вследствие образования цинката хрома $\text{Cr}_2(\text{ZnO}_2)_3$. Этого удастся избежать, если гидроксид хрома растворяется в избытке щелочи в присутствии H_2O_2 , при этом образуются CrO_4^{2-} -ионы.

⊙ При кипячении CrO_2^- - ион гидролизуеться с образованием осадка $\text{Cr}(\text{OH})_3$:



⊙ При действии на алюминат и станнат кристаллического хлорида аммония NH_4Cl раствор подкисляется за счет гидролиза последнего, и при нагревании вновь выпадают осадки $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Sn}(\text{OH})_4$:



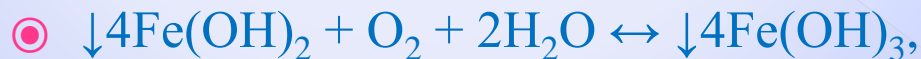
- ⊙ **Общая характеристика катионов V аналитической группы**
- ⊙ К пятой аналитической группе относят катионы Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sb(V) . Они образованы элементами, имеющими различную электронную конфигурацию атома (Mg - s -элемент, Bi , Sb – p -элементы, Fe , Mn – d -элементы), поэтому свойства этих катионов различны. Объединяет их то, что гидроксиды катионов V группы не растворяются в щелочах и в растворе аммиака. Следовательно, катионы этой группы могут быть выделены из смеси катионов всех групп действием щелочей. Раствор щелочи – групповой реактив на катионы этой группы. Растворимость гидроксидов катионов V группы различна. Особенно мала растворимость гидроксидов, образованных катионами с высокой степенью окисления (Mn(OH)_2 , Bi(OH)_3).
- ⊙ Наименее растворимые гидроксиды образуются при более низких значениях pH растворов. Так, Fe(OH)_3 осаждается при $\text{pH} = 2,3 - 4,1$, а Fe(OH)_2 – при $\text{pH} = 7,5 - 9,7$. Наиболее растворимые гидроксиды катионов Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} не осаждаются в присутствии солей аммония, понижающих pH раствора.

Действие группового реактива на катионы V группы

- Групповой реактив -2 M раствор щелочи KOH, NaOH – осаждают катиона V группы Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sb(V) виде гидроксидов Fe(OH)_2 грязно-зеленого цвета, Fe(OH)_3 красно-бурого цвета, Mn(OH)_2 , Mg(OH)_2 , Bi(OH)_3 , Sb(OH)_3 , SbO(OH)_3 белого цвета:



- Осадки Fe(OH)_2 , Mn(OH)_2 постепенно окисляются кислородом воздуха и изменяют свою окраску:

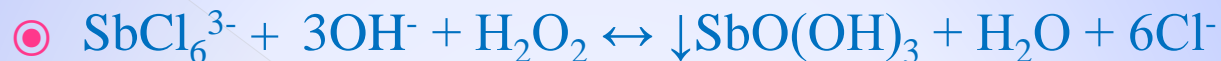
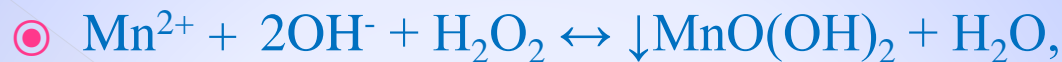


красно-бурый



черно-бурый

- При действии на катионы Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sb^{3+} раствора щелочи в присутствии окислителей (H_2O_2 , Br_2 и др.) сразу выпадают осадки $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{MnO}(\text{OH})_2$, $\text{SbO}(\text{OH})_3$:



- Гидроксиды катионов V группы растворяются в разбавленных сильных кислотах, но не растворяются в избытке щелочи и в растворе аммиака:



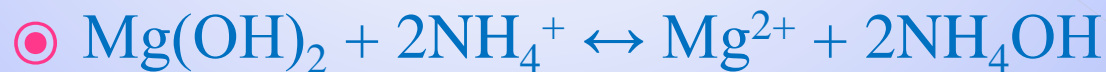
⊙ Для растворения осадка $\text{MnO}(\text{OH})_2$ помимо кислоты необходимо присутствие восстановителя (H_2O_2 , NaNO_2):



⊙ Осадок $\text{Mn}(\text{OH})_2$ можно растворить в достаточно концентрированном растворе HCl при нагревании. Восстановителем в данной реакции является Cl^- - ион:



⊙ Осаждение гидроксидов $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Mn}(\text{OH})_2$ растворами аммиака и щелочей неполное вследствие достаточно большой их растворимости. В присутствии солей аммония эти гидроксиды не осаждаются. Они растворяются в насыщенном растворе NH_4Cl . Например:



Общая характеристика катионов VI аналитической группы

- К шестой группе относят катионы *d*-элементов - Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , которые при взаимодействии с водным раствором аммиака в эквивалентных количествах дают осадок гидроксидов, основных солей или амидокомплексов (Hg), растворимых в избытке реагента с образованием аминокомплексов. Групповой реагент – концентрированный раствор аммиака.
- В водных растворах катионы VI группы находятся в гидротированном состоянии в виде аквакомплексов типа $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$. Аквакомплексы Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} окрашены: $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ - розового цвета, $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ - голубого цвета, $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ - зеленого цвета. Окраска аквакомплексов – один из характерных признаков, указывающих на наличие этих ионов в растворе. Выпаривание растворов или действие дегидратирующих веществ, например спирта, вызывает изменение окраски этих ионов. Так, розовая окраска комплекса $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ заменяется на синюю вследствие дегидратации комплексных ионов и замены молекул воды другими лигандами. Кроме амино- и аквакомплексов катионы VI группы способны образовывать и другие комплексные соединения (например, HgBr_4^{2-} , CdI_4^{2-} , $\text{Co}(\text{SCN})_3^-$ и др.), большинство имеют характерную окраску.
- Медь, кобальт и ртуть образуют соединения с разной степенью окисления ионов, поэтому для их обнаружения могут быть использованы реакции окисления-восстановления.

Действие группового реактива на катионы VI группы

⊙ Раствор NH_4OH , прибавленный к растворам солей катионов VI группы в эквивалентных количествах, осаждает эти катионы в виде белых или окрашенных основных солей, гидроксидов и амидокомплексов:



⊙ голубовато-зеленый



⊙ синий



⊙ светло-зеленый



⊙ белый

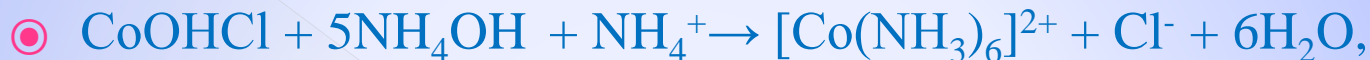


⊙ белый

⊙ В избытке NH_4OH эти осадки растворяются с образованием амминокомплексов различной окраски. Образование комплекса гексаамминкобальта (II) и тетраамминртути (II) происходит в присутствии NH_4Cl при нагревании:



⊙ ярко-синий



⊙ желто-бурый



⊙ синий

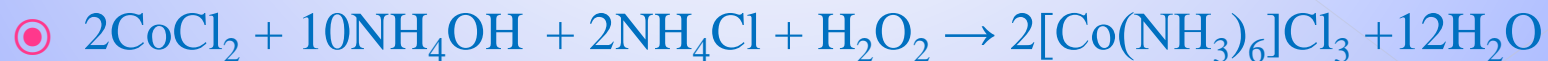


⊙ бесцветный



⊙ бесцветный

⊙ Гексаамминкобальт (II) окисляется кислородом воздуха до гексаамминкобальта (III) вишнево-красного цвета. В присутствии окислителей (H_2O_2) образование гексаамминкобальта (III) происходит мгновенно:



⊙

- ⊙ а) *Предварительные испытания.* В отдельных небольших порциях анализируемого раствора (объемом примерно по 0,3-0,5 мл) определяют наличие катионов II- VI аналитических групп действием групповых реагентов - водного раствора хлороводородной кислоты HCl, водного раствора серной кислоты H₂SO₄, водного раствора гидроксида натрия NaOH в присутствии пероксида водорода H₂O₂, водного 25%-го раствора аммиака. Обычно в отдельных порциях анализируемого раствора предварительно открывают также и некоторые индивидуальные катионы - железа Fe²⁺ и Fe³⁺, хрома (III) Cr³⁺, меди Cu²⁺, катионы первой группы и другие действием различных реагентов.
- ⊙ Определив наличие катионов различных групп, приступают к разделению их с помощью групповых реагентов.
- ⊙ б) *Отделение и открытие катионов второй аналитической группы.*
- ⊙ Если в растворе присутствуют катионы второй аналитической группы (Ag⁺, Hg₂²⁺, Pb²⁺), то их отделяют действием водного раствора хлороводородной кислоты в виде смеси осадков хлоридов AgCl, Hg₂Cl₂ и PbCl₂ белого цвета, в которой затем открывают каждый из указанных катионов.

- ⊙ в) *Отделение и открытие катионов третьей аналитической группы.* Маточник, оставшийся после отделения от анализируемого раствора осадков хлоридов катионов второй аналитической группы, медленно обрабатывают водным раствором серной кислоты (с добавлением этанола, если в растворе присутствуют катионы кальция). Выделяются белые осадки сульфатов катионов третьей аналитической группы - кальция CaSO_4 , стронция SrSO_4 , бария BaSO_4 , а также сульфат свинца PbSO_4 (катионы свинца Pb^{2+} были неполностью отделены на предыдущем этапе при обработке раствора HCl , поскольку хлорид свинца заметно растворим в воде). Убеждаются в полноте осаждения катионов третьей группы (раствор не должен мутнеть при добавлении небольшого количества серной кислоты). Смесь центрифугируют, отделяют осадки сульфатов, а маточник оставляют для дальнейшего анализа.
- ⊙ К осадку сульфатов прибавляют *небольшое количество* водного 30%-го раствора ацетата аммония $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ или натрия CH_3COONa при нагревании на водяной бане для удаления примесей сульфата свинца, который в этих условиях переходит в раствор. Операцию при необходимости повторяют до отрицательной реакции на катионы свинца (проба с дихроматом калия в отдельной порции раствора). В осадке остаются сульфаты кальция, стронция и бария, которые переводят в карбонаты (растворимые в кислотах) для того, чтобы затем растворить эти карбонаты в кислоте и получить раствор, в котором содержались бы катионы кальция, стронция и бария. В растворе открывают эти катионы.

г) *Предварительное открытие некоторых катионов четвертой, пятой и шестой аналитических групп.*

⊙ Раствор, оставшийся после отделения катионов второй и третьей аналитических групп, может содержать катионы первой, четвертой, пятой и шестой аналитических групп по кислотно-основной классификации. Перед продолжением проведения дальнейшего систематического анализа можно предварительно открыть (хотя это делается не всегда) некоторые катионы *в отдельных небольших порциях этого или исходного раствора*, например, катионы железа(II) Fe^{2+} , железа(III) Fe^{3+} , хрома(III) Cr^{3+} , меди(II) Cu^{2+} , мышьяка(V), сурьмы, марганца(II) Mn^{2+} , кобальта(II) Co^{2+} , никеля(II) Ni^{2+} , ртути(II) Hg^{2+} , висмута(III), а также катионы первой аналитической группы.