

# LABORATOŘE Z ANALYTICKÉ CHEMIE

Důkazové reakce kationtů a aniontů

Univerzita Karlova v Praze

Pedagogická fakulta

Katedra chemie a didaktiky chemie

# Obsah

## Kationty

Stříbro	9
Olovo	10
Rtuťný iont	11
Měď	11
Cín	11
Kadmium	12
Rtuťnatý iont	12
Antimon	12
Bismut	13
Železnatý iont	13
Železitý iont	14
Kobalt	14
Nikl	15
Zinek	15
Mangan	16
Hliník	16
Chrom	17
Vápník	17
Stroncium	18
Baryum	18
Hořčík	19
Draslík	19
Sodík	19
Iont amonný	20

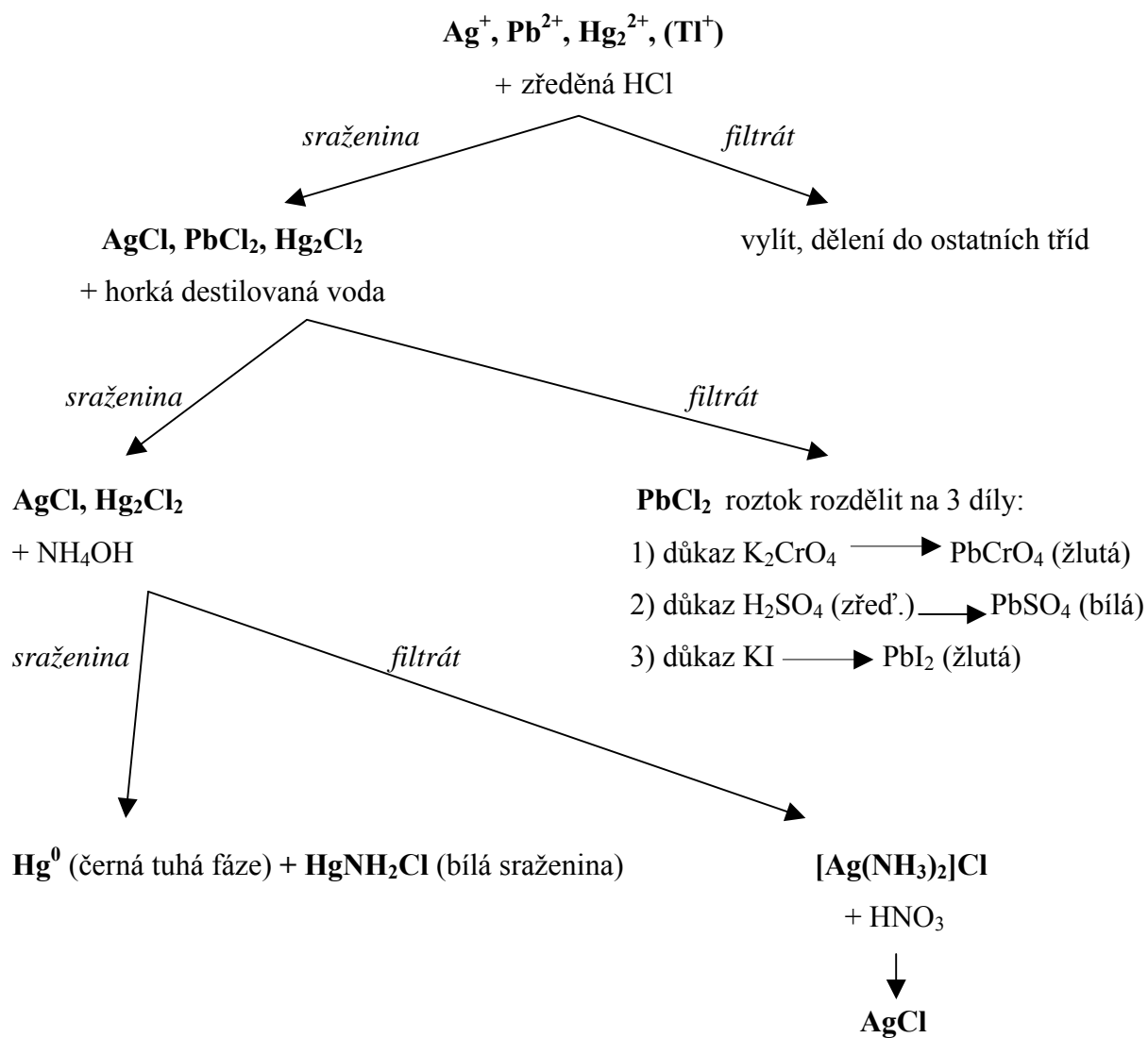
## **Anionty**

Sírany	22
Siřičitany	22
Thiosírany	23
Chromany	23
Dichromany	24
Uhličitany	24
Boritany	24
Fosforečnany	25
Chloridy	25
Bromidy	26
Jodidy	26
Thiokyanatany	26
Hexakynoželeznatany	27
Hexakynoželezitany	27
Sulfidy	27
Dusitany	28
Dusičnany	28
Chlorečnany	28

## Schéma dělení kationtů I. třídy

Do 1. třídy (sulfanového způsobu dělení kationtů) patří tyto kationty:  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$   
 Skupinovým činidlem je zředěná kyselina chlorovodíková – produktem jsou chloridy.

## Schéma dělení směsi kationtů I. třídy



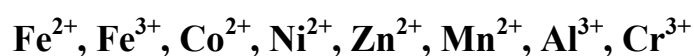


## Schéma dělení směsi kationtů III. třídy

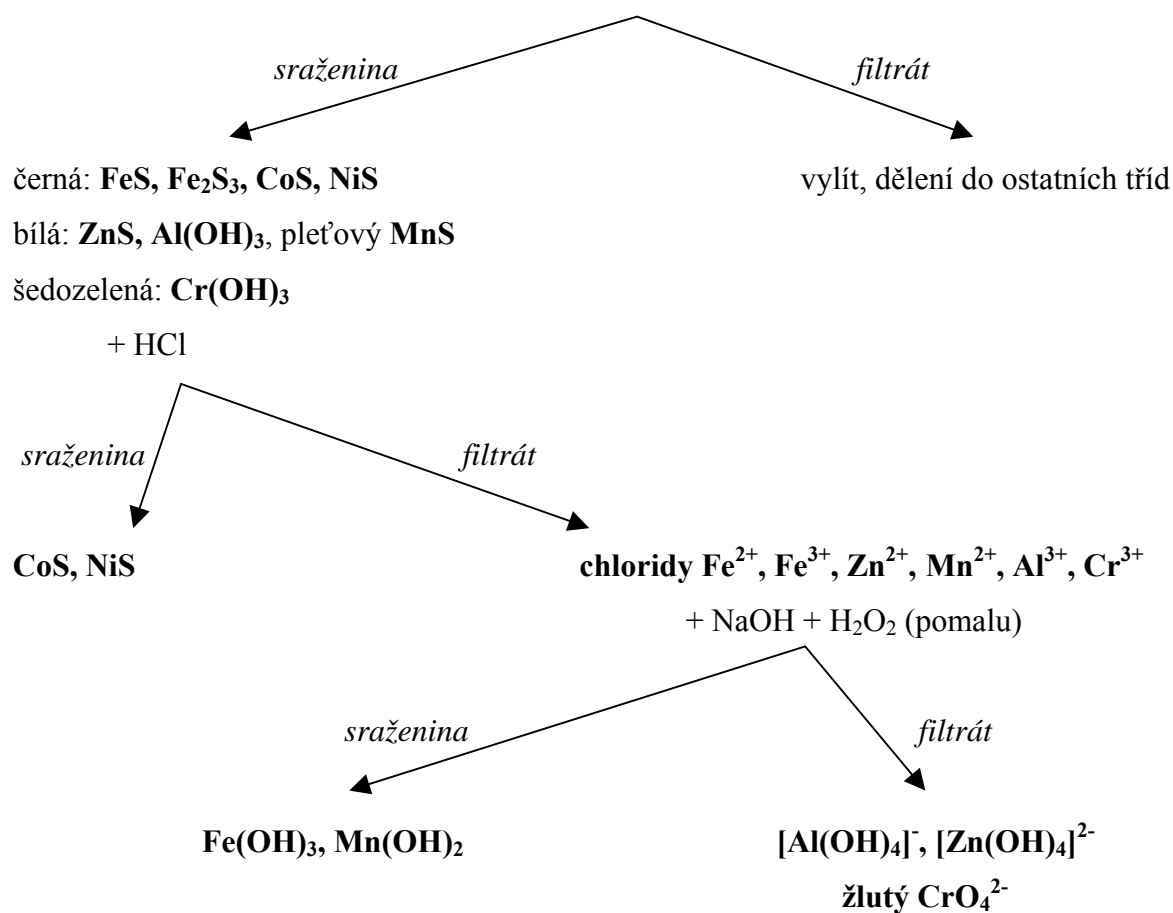
Do 3. třídy patří tyto kationty:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$

Skupinovým činidlem je  $\text{Na}_2\text{S}$  v zásaditém prostředí chloridu amonného (nasycený roztok) a amoniaku.

## Schéma dělení směsi kationtů III. třídy



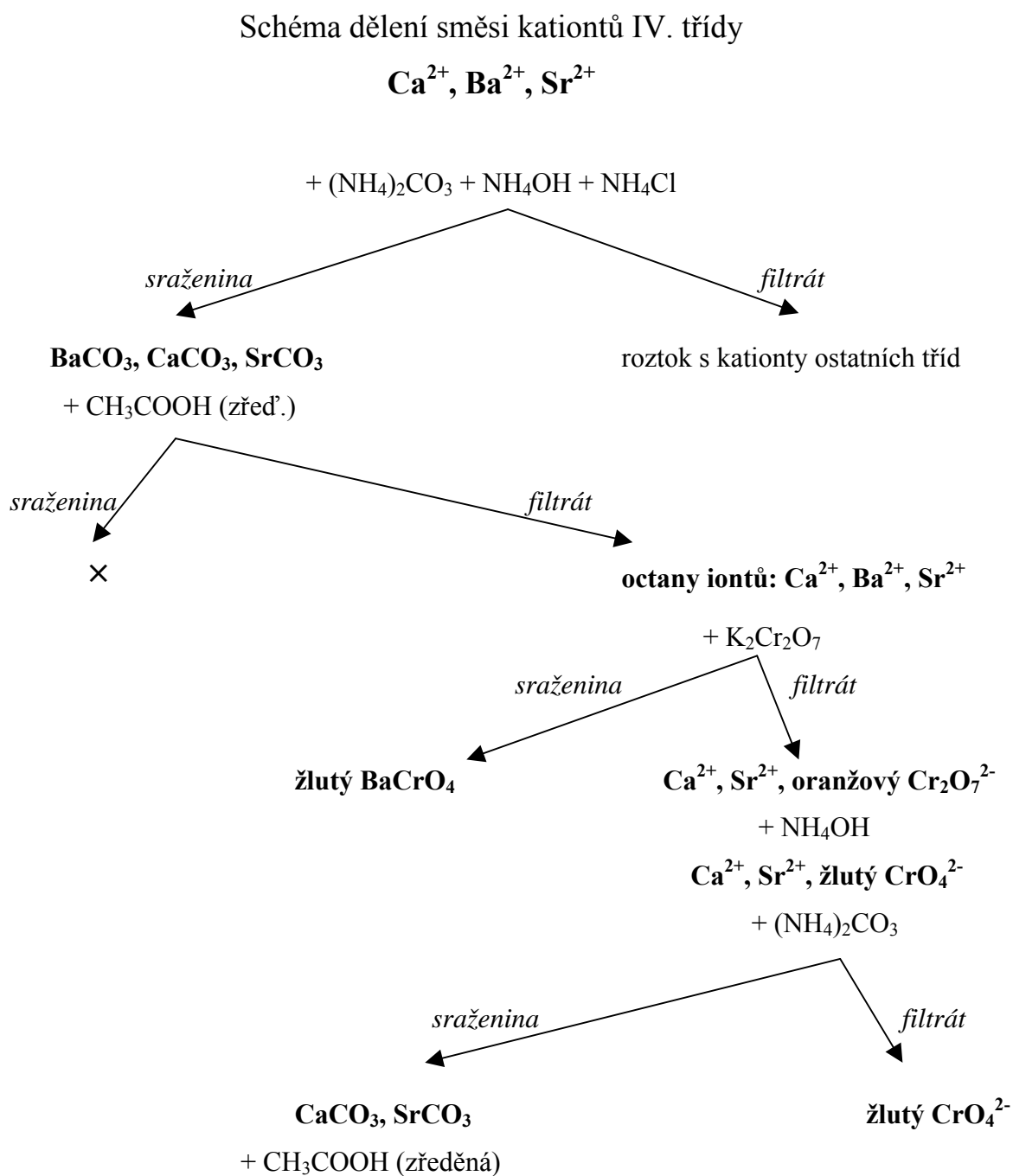
+  $\text{Na}_2\text{S}$  v zásaditém prostředí

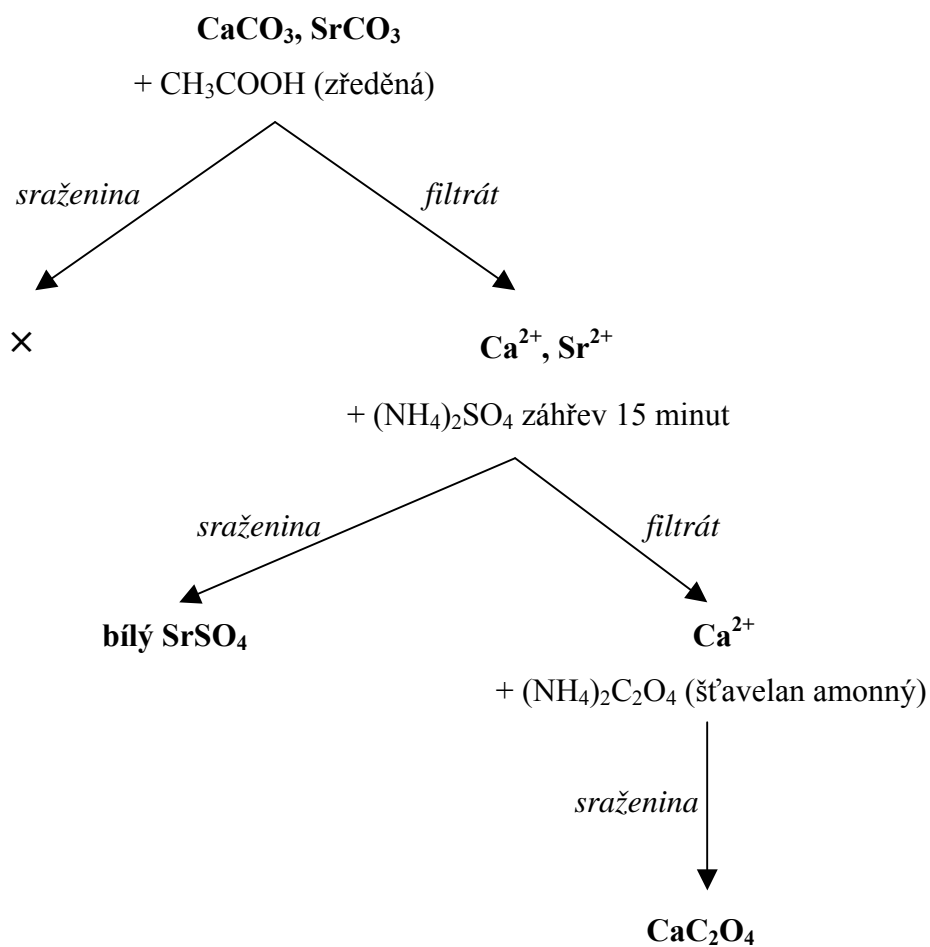


## Schéma dělení směsi kationtů IV. třídy

Do 4. třídy patří tyto kationty:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$

Skupinovým činidlem je  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  (nasycený roztok) v amoniakálním prostředí ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), přidáváme velké množství koncentrovaného roztoku  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (aby se nevysrážel  $\text{Mg}^{2+}$  ve formě  $\text{MgCO}_3$ )





### Kationty V. třídy

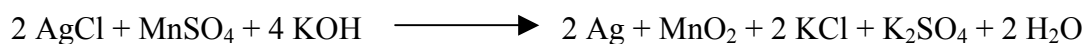
Do 5. třídy patří tyto kationty: **Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**



## Důkazové reakce kationtů

### Ag<sup>+</sup>

- 1) Důkaz chloridovými ionty jako AgCl.
- 2) Jodid draselný sráží žlutý AgI. V amoniaku je vzniklá sraženina nerozpustná.
- 3) Sulfid amonný sráží černý sulfid stříbrný, který je pokládán za nejméně rozpustnou stříbrnou sůl. Rozpouští se teprve v koncentrovaném roztoku kyanidu draselného nebo za horka v kyselině dusičné.
- 4) Alkalické hydroxidy dávají hnědou sraženinu Ag<sub>2</sub>O, nerozpustnou v nadbytku činidla, rozpustnou ve zředěné kyselině dusičné.
- 5) Amoniak zpočátku sráží rovněž Ag<sub>2</sub>O, v nadbytku činidla se však rozpouští na amminokomplex. Podobně reaguje i uhličitan amonný.
- 6) Chroman draselný sráží červenohnědý chroman stříbrný. Podobně i dichroman draselný sráží tmavočervený Ag<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Obě sraženiny jsou rozpustné ve zředěné kyselině dusičné a amoniaku.
- 7) Uhličitan sodný nebo amonný sráží nažloutlý Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.
- 8) Zinek nebo železo (a další kovy s negativnějším oxidačně-redukčním potenciálem) vylučují z neutrálních nebo slabě kyselých roztoků stříbrných solí černou práškovitou sraženinu kovového stříbra. K redukci stříbrných solí lze použít i jiná redukční činidla jako jsou železnaté soli, hydroxylamin, kyselina askorbová, cínaté soli, aj.
- 9) Tananajevova reakce. Stříbrná sůl je v alkalickém prostředí redukována síranem manganatým na kovové stříbro.



Na filtrační papír nebo důlku kapkovací desky se dá kapka zředěné HCl, kapka zkoumaného roztoku, znova kapka zř. HCl, kapka roztoku MnSO<sub>4</sub> a nakonec 1-2 kapky KOH. Černá skvrna je důkazem Ag. Reakce je citlivá, neboť barevný efekt je znásoben vznikem rovněž černé sraženiny hydratovaného MnO<sub>2</sub>.

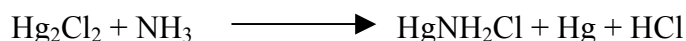
Ruší přítomnost iontu Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>. Reakce lze v opačném provedení užít k důkazu iontu Mn<sup>+</sup>.

**Pb<sup>2+</sup>**

- 1) Sulfidy sráží ze slabě kyselého prostředí černý sulfid olovnatý, rozpustný již ve zředěných minerálních kyselinách.
- 2) Zředěná kyselina chlorovodíková nebo chloridy alkalických kovů sráží bílý krystalický chlorid olovnatý. Rozpouští se v horké (vroucí) vodě, při ochlazení se opět vylučuje. Sraženina je rozpustná i v koncentrované kyselině HCl za vzniku  $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ . Rozpouští se i v alkalických hydroxidech. V amoniaku se nerozpouští.
- 3) Chroman draselný dává žlutou sraženinu chromanu olovnatého, rozpustnou v kyselině dusičné a alkalických hydroxidech (rozdíl od Bi).
- 4) Jodidy. Žlutý  $\text{PbI}_2$  rozpustný v nadbytku činidla ( $\text{PbI}_4^{2-}$ ).
- 5) Sírany. Bílý  $\text{PbSO}_4$  rozpustný v konc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , v horké koncentrované HCl a vínanu nebo octanu amonném (rozdíl od  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ , a  $\text{CaSO}_4$ ).
- 6) Reakce s  $\text{NH}_3$  a alkalickými hydroxidy. Bílý  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  rozpustný ve zřed.  $\text{HNO}_3$  a v nadbytku alkalického hydroxidu.
- 7)  $\text{Pb}^{2+}$  převedeme alkalickým hydroxidem na olovnatan, který oxidujeme  $\text{H}_2\text{O}_2$  na olovičitan. Ten oxiduje benzidin na benzidinovou modř. Na filtrační papír dáme kapku roztoku olovnaté soli, kapku hydroxidu a kapku  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Mírně zahřejeme nad malým plamínkem (peroxid se rozruší) a pak přidáme kapku benzidinu v ledové kyselině octové. Vznikne modrá skvrna, která je důkazem olova.

**Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>**

- 1) Zředěná kyselina chlorovodíková nebo chloridy ( $\text{SnCl}_2$ ) sráží bílý  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  (kalomel) rozpustný jen v koncentrované  $\text{HNO}_3$  nebo v lučavce královské (3 díly HCl + 1 díl  $\text{HNO}_3$ ). Po přidání amoniaku bílá sraženina amidu chloridu rtuťnatého zčerná vyloučenou, koloidně rozptýlenou rtuť (rtuťnaté ionty nereagují).



- 2) Sulfidy dávají černou sraženinu, která je směsí  $\text{HgS}$  a  $\text{Hg}$ .
- 3) Uhličitan sodný. Vzniká žlutý  $\text{Hg}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{HgO} + \text{Hg}$ .

- 4) Jodidy (KI). Vzniká červený  $\text{HgI}_2$  rozpustný v nadbytku.
- 5)  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Hnědočervený  $\text{HgCrO}_4$ .
- 6) Amoniak. Bílá sraženina amidu chloridu rtuťnatého  $\text{HgNH}_2\text{X}$ .

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

- 1)  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$

černý  $\text{CuS}$ ; modrý  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , rozpustný v nadbytku  $\text{NH}_3$  na  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ; v nadbytku  $\text{NH}_3$  intenzivně modré roztoky; světle modrý zásaditý uhličitan, rozp. v nadbytku  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

- 2)  $\text{I}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$

bílý  $\text{CuI}$ , hnědě zbarvený vyloučeným jodem (redukce); s kyanidy pracujeme v digestoři - žlutavý  $\text{Cu}(\text{CN})_2$  v nadbytku rozpustný  $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$ :  $2 \text{Cu}(\text{CN})_2$  ihned  $\rightarrow \text{CuCN} + (\text{CN})_2$ , v nadbytku  $\text{CN}^-$  vzniká  $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$ ; černý  $\text{Cu}(\text{CNS})_2$  přecházející zvolna, rychleji zředěním a okamžitě siřičitanem na bílý  $\text{CuCNS}$ ; hnědavý  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

- 3)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  z neutrálních nebo slabě okyselených roztoků ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) vylučuje červenohnědou sraženinu. Ve zřed. roztocích se objeví jen červenohnědé zabarven. Ruší zejména  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{UO}_2^{2+}$ , ve skupině I. a II. třídy je však reakce vysoce selektivní a citlivá.
- 4)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  sráží zelenožlutohnědou měďnatou sůl nerozpustnou ve zřed. kyselině  $\text{HCl}$ .
- 5) Kovové železo nebo zinek redukuje z roztoků i velmi zředěných měďnatých solí kovovou měď, která se projeví vyloučením červeného povlaku.
- 6) Salicylaldoxim (oxim aldehydu kyseliny salicylové) dává v roztoku slabě okyseleném kyselinou octovou světle zelenavou sraženinu. Reakce je v tomto prostředí velmi selektivní.

## $\text{Sn}^{2+}$

- 1)  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  a  $\text{NH}_3$  a  $\text{CO}_3^{2-}$

hnědý, rozpustný v  $\text{HCl}$ ; bílé sraženiny  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  a  $\text{Sn}(\text{OH})_4$  rozp. v kyselinách a  $\text{NaOH}$ .

- 2) Zinek vylučuje z okyseleného prostředí roztoku soli cínaté i cíničité šedý houbovitý cín.

**Cd<sup>2+</sup>**

- 1) S<sup>2-</sup> sráží z mírně kyselých roztoků žlutý CdS. Podle pH roztoku a teploty srážení může být zbarvení sraženiny žluté až oranžové. V silně kyselých roztocích sraženina nevzniká. Sraženina je nerozpustná v Na<sub>2</sub>S + NaOH.
- 2) NH<sub>3</sub> sráží zpočátku bílý Cd(OH)<sub>2</sub>, který se v nadbytku činidla snadno rozpouští.
- 3) Alkalické hydroxidy sráží bílý Cd(OH)<sub>2</sub>, který se v nadbytku činidla nerozpouští.
- 4) KCN sráží bílý Cd(CN)<sub>2</sub>, který se v nadbytku činidla rozpouští.
- 5) Uhličitany sráží bílý zásaditý CdCO<sub>3</sub>.
- 6) Difenyلكarbazid dává s Cd<sup>2+</sup> ionty v roztoku tlumeném octanem sodným fialové zbarvení až sraženinu (podle koncentrace Cd<sup>2+</sup>). Rhodaninem a jodidem lze maskovat rušivý vliv Ag, Hg, Pb, a Cu. Činidlo 1% ethanolový roztok.

**Hg<sup>2+</sup>**

- 1) Chlorid cínatý (SnCl<sub>2</sub>) sráží bílý Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (kalomel), který po chvíli zahřívání ihned šedne až zčerná vyloučenou rtutí.
- 2) Kovová měď (zinek, železo). Na vyleštěném povrchu se po vkápnutí slabě kyselého zkoumaného roztoku vytvoří světlá, lesklá skvrna amalgamu, která vynikne po omytí plíškou vodou; zahřátím zmizí.
- 3) Difenyلكarbazid nebo difenyلكarbazon dávají v kys. prostředí (zřed. HNO<sub>3</sub>) s ionty rtuti modrofialové zbarvení. V daném prostředí je reakce značně selektivní, ruší Au, V, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

**Sb<sup>3+,5+</sup>**

- 1) S<sup>2-</sup>, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub> a uhličitany, I<sup>-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>  
oranžové sraženiny rozpustné v HCl; bílé sraženiny rozpustné v HCl; bílé sraženiny;
- 2) Červený roztok rhodaminu B se barví za přítomnosti Sb<sup>5+</sup> fialově. Ionty Sb<sup>3+</sup> nereagují – je nutné je prve oxidovat krystalkem NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, jehož nadbytek se odstraní zrníčkem močoviny.
- 3) Thiomočovina (viz důkaz bimutu)

**Bi<sup>3+</sup>**1) S<sup>2-</sup>, I<sup>-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

temně hnědý Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>; černohnědý BiI<sub>3</sub>, rozpustný v nadbytku na BiI<sub>4</sub><sup>-</sup>; žlutý (BiO)<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, nerozpustný v NaOH (rozdíl od Pb).

2) OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

bílé sraženiny Bi(OH)<sub>3</sub> a zásaditých uhličitánů.

3) Thiomočovina dává v prostředí HNO<sub>3</sub> s bismutitými solemi žlutě zbarvený komplex Bi[(SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)<sub>n</sub>]<sup>3+</sup>. Jako činidlo se používá buď 10% roztoku nebo několika krystalků thiomočoviny. Reakce je vysoce selektivní, dává ji ještě jen antimon.

4) Místo thiomočoviny lze použít thiokyanatanu amonného nebo draselného, který rovněž poskytuje žlutě zbarvený komplex.

**Fe<sup>2+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>

černý FeS, rozpustný ve zředěných kyselinách; zelená až černá sraženina ferroferrihydroxidů Fe<sub>3</sub>(OH)<sub>8</sub> a Fe<sub>4</sub>(OH)<sub>10</sub>; s NH<sub>3</sub> vzniká obdobná sraženina jako s alkalickými hydroxidy.

2) CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, CN<sup>-</sup>

bílý FeCO<sub>3</sub>, vzduchem Fe(OH)<sub>3</sub>; bílý Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; hnědočervený Fe(CN)<sub>2</sub>, nadbytkem [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>.

3) Vysoce selektivní reakce Fe<sup>2+</sup> (i vedle Fe<sup>3+</sup>) s kyanoželezitanem dává modrou sraženinu berlínské modře.

4) Kyanoželeznatan dává sraženinu, která je světle modrá.

5) Dimethylglyoxim poskytuje s Fe<sup>2+</sup> červené zbarvení. Protože reakce probíhá v amoniakálním prostředí (k roztoku se přidá 1% alkoholový roztok činidla a pak teprve NH<sub>3</sub> do zřetelně amoniakální reakce), je třeba maskovat Fe<sup>3+</sup> - pokud jsou přítomny – kyselinou vinnou, aby nevznikal Fe(OH)<sub>3</sub>.

**Fe<sup>3+</sup>**

1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

černá sraženina Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> + FeS, rozpustná ve zředěných kyselinách; rezavý Fe(OH)<sub>3</sub>; hnědý zásaditý uhličitan přechází zvolna na Fe(OH)<sub>3</sub>.

2) Reakce s kyanoželeznatanem dává v neutrálním nebo slabě kyselém prostředí (HCl) s Fe<sup>3+</sup> ionty modrou sraženinu berlínské modři K<Fe<sup>3+</sup>[Fe<sup>2+</sup>(CN)<sub>6</sub>]<sub>3</sub>>.

3) Kyanoželezitan dává jen hnědě zbarvený roztok.

4) Thiokyanatan draselný nebo amonný dává v kyselém prostředí s ionty Fe<sup>3+</sup> velmi intenzivní červené zbarvení.

5) Thiosíran dává velmi nestálé fialové zbarvení v neutrálním prostředí (přítom nastává redukce na Fe<sup>2+</sup>).

6) Kyselina salicylová dává fialový roztok salicylátoželezitého komplexu.

**Co<sup>2+</sup>**

1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

černý CoS, nerozpustný ve zředěných kyselinách; modré zásadité soli  $\longrightarrow$  růžový

Co(OH)<sub>2</sub>; modrá sraženina, nadbytkem  $\longrightarrow$  [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup>; růžovofialový zásaditý uhličitan rozpustný v nadbytku (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

2) CN<sup>-</sup>

červenohnědý Co(CN)<sub>2</sub>, nadbytkem vzniká [Co(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>, oxidací [Co(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>

3) Thiokyanatan amonný nebo draselný dává se solemi Co<sup>2+</sup> modře zbarvený roztok komplexního tetrathiokyanátokobaltnatanu [Co(CNS)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>.

**Ni<sup>2+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

černý NiS nerozpustný ve zředěné kyselině; zelený Ni(OH)<sub>2</sub>; zelená sraženina zásaditých solí, v nadbytku vzniká modrofialový [Ni(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>; zelený zásaditý uhličitan rozpustný v přebytku solí NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

2) CN<sup>-</sup>

zelená sraženina Ni(CN)<sub>2</sub> v přebytku rozpustná na [Ni(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>. Ze silně zalkalizovaného roztoku tohoto komplexu se po přidání bromové vody a mírném zahřátí vyloučí černý Ni(OH)<sub>3</sub>. Co<sup>2+</sup> sole zůstávají v roztoku jako [Co(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>, a proto se tato reakce hodí k důkazu Ni vedle Co.

3) Čugajevova reakce s dimethylglyoximem poskytuje v amoniakálním prostředí červenou krystalickou sraženinu nerozpustnou ve zředěných minerálních kyselinách. Reakce je specifická pro nikl. Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> a Co<sup>2+</sup> dávají barevné, ale rozpustné komplexní sloučeniny, takže je lze od sraženiny niklu dobře oddělit.**Zn<sup>2+</sup>**1) H<sub>2</sub>S a (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S

bílý ZnS, rozpustný ve zředěné HCl

2) OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

bílý Zn(OH)<sub>2</sub> rozpustný v nadbytku alkalického hydroxidu i amoniaku; bílý zásaditý uhličitan rozpustný v nadbytku (NH<sub>4</sub>)CO<sub>3</sub> (amminkomplexy)

3) Reakce s (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>, [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>

bílý krystalický ZnNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>; bílý K<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>2</sub> rozpustný v alkalických loužích na [Zn(OH)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>; hnědožlutý Zn<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>2</sub>.

**Mn<sup>2+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

pleťový MnS rozpustný ve zředěných kyselinách; teoreticky: bílý Mn(OH)<sub>2</sub>, prakticky: rychle hnědnoucí Mn(OH)<sub>3</sub>.

2) CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, CN<sup>-</sup>

bílý MnCO<sub>3</sub>, hnědnoucí; bílý Mn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, v přítomnosti NH<sub>4</sub><sup>+</sup> narůžovělý MnNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>; hnědý Mn(CN)<sub>2</sub> v nadbytku [Mn(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>

3) Oxidaci na MnO<sub>2</sub> lze provést v alkalickém prostředí nejlépe bromovou vodou nebo peroxidem vodíku. K roztoku manganaté soli se přidá NaOH a pak po kapkách bromová voda nebo 3% peroxid vodíku. Hnědnoucí sraženina Mn(OH)<sub>3</sub> přidáváním oxidačních činidel rychle (zvláště po zahřátí) tmavne vzniklým hydratovaným MnO<sub>2</sub>, který je důkazem manganu.

**Al<sup>3+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

bílý Al(OH)<sub>3</sub> rozpustný v kyselinách i alkalických loužích, poněkud i v amoniaku; s CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dává převážně Al(OH)<sub>3</sub> a z části zásadité uhličitany

2) Reakce s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

bílý AlPO<sub>4</sub> nerozpustný v kyselině octové

3) Alizarin

K alkalickému roztoku hlinitanu přidáme kapku 1% alkoholického roztoku alizarinu, roztok se zbarví fialově. K němu pak přidáváme po kapkách zředěnou kyselinu octovou, čímž roztok zneutralizujeme, až se při vhodném pH vyloučí červeně vybarvený Al(OH)<sub>3</sub>.

4) Morin

nasycený roztok morinu dává v nepřilíš kyselých roztocích s hlinitými ionty zelenou fluorescenci. Pozoruje se proti černému pozadí.



**Cr<sup>3+</sup>**

1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, s ionty OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

šedozelený Cr(OH)<sub>3</sub> rozpustný v nadbytku konc. HNO<sub>3</sub> za přítomnosti NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nebo v nadbytku alkalického hydroxidu.

2) Reakce s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

šedozelený CrPO<sub>4</sub> rozpustný ve zředěných kyselinách.

3) Reakce s difenylkarbazidem (1% alkoholickým roztokem) dává s dichromanem fialové zbarvení. Soli chromité je předem nutno zoxidovat (v alkalickém prostředí) bromovou vodou a její nadbytek odstranit krystalkem fenolu. Rušivý vliv Fe<sup>3+</sup> lze maskovat fluoridem. Dále ruší Hg<sup>2+</sup>.

4) Po oxidaci Cr<sup>3+</sup> na CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (v alkalickém nebo kyselém prostředí) dokazujeme tyto ionty buď srážením octanem olovnatým v tlumeném roztoku (octan sodný) jako žlutou sraženinu PbCrO<sub>4</sub>, nebo v slabě kyselém prostředí (silně zředěná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) peroxidem vodíku, který oxiduje dichroman za vzniku modrého zbarvení.

**Ca<sup>2+</sup>**

1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

bílý CaCO<sub>3</sub> rozpustný ve zředěných kyselinách. Bílé sraženiny CaHPO<sub>4</sub> nebo Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> rozpustné ve zředěných kyselinách

2) Zředěná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:3)

jen z koncentrovaných roztoků CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, bílý.

3) Kyanoželeznatan draselný poskytuje i v nepříliš zředěných roztocích s Ca<sup>2+</sup> ionty bílou krystalickou sraženinu Ca(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>].

4) Kyselina šťavelová (0,5 M) sráží z neutrálních roztoků bílý krystalický CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O rozpustný ve zředěných kyselinách, nerozpustný ve zředěné kyselině octové.

**Sr<sup>2+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> a s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

bílý SrCO<sub>3</sub> rozpustný ve zředěných kyselinách. Bílé sraženiny SrHPO<sub>4</sub> nebo Sr<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> rozpustné ve zředěných kyselinách.

2) Zředěná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:3)

jen zvolna vzniká bílá sraženina.

3) K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

žlutý SrCrO<sub>4</sub> (z neutrálních nebo amoniakálních nepříliš zředěných roztoků), rozpustný i ve zředěné kyselině octové.

4) Rhodizonan sodný (5%)

Na filtrační papír napuštěný roztokem K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> přidáme ke kapce zkoumaného roztoku 5% roztok rhodizonanu. Vzniká hnědá skvrna, která se po přidání kapky zředěné kyseliny HCl zbarví intenzivně červeně. Pro rozlišení Ba<sup>2+</sup> vedle Sr<sup>2+</sup> postupujeme stejným způsobem. K hnědé skvrně na papíře přidáme opět kapku zředěné HCl. Jestliže skvrna zmizí, bylo přítomno pouze Sr<sup>2+</sup>. (Rhodizonan strontnatý se snadno rozpouští v kyselině). Jestliže se však po účinku kyseliny skvrna zbarví jasně červeně, bylo přítomno pouze Ba<sup>2+</sup>.

**Ba<sup>2+</sup>**1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a s PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

bílý BaCO<sub>3</sub> rozpustný ve zředěných kyselinách. Bílé sraženiny BaHPO<sub>4</sub> nebo Ba<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> rozpustné ve zředěných kyselinách.

2) Zředěná H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:3)

ihned vzniká bílá sraženina.

3) K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

žlutý BaCrO<sub>4</sub> nerozpustný ve zředěné kyselině octové, rozpustný ve zředěných minerálních kyselinách.

4) Rhodizonan sodný (5%)

Na filtrační papír přidáme ke kapce zkoumaného roztoku 5% roztok rhodizonanu. Vzniká hnědá skvrna, která se po přidání kapky zředěné kyseliny HCl zbarví intenzivně červeně. Toto jasně červené zbarvení se připisuje nerozpustnému hydrogenrhodizonanu barnatému.

## **Mg<sup>2+</sup>**

Roztok Mg<sup>2+</sup> se alkalizuje až po přidání činidla.

1) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, OH<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>

Za nepřítomnosti iontů NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: bílý zásaditý uhličitan; bílý Mg(OH)<sub>2</sub>

2) Reakce s 8-hydroxychinolinem (1% alkoholický roztok) dává žlutou sraženinu.

3) Magneson (p-nitrobenzenazoresorcin, 0,001g barviva ve 100 ml 2 M NaOH))

vybarvuje neutrální nebo slabě kyselý roztok hydroxid hořečnatý intensivně modře. Vadí Fe, Al, Cr, Mn, Ca).

4) Titanová žluť (0,1% vodný roztok) vylučuje z roztoků hořečnatých solí intensivně červený nerozpustný lak. Reakce je značně citlivá. Rušivě působí ionty těžkých kovů.

## **K<sup>+</sup>**

1) Kyselina chloristá

vylučuje z neutrálních roztoků bílý krystalický chloristan draselný. Vyšší citlivosti dosáhneme použitím chloristanu zinečnatého.

2) Zbarvení plamene

Sole draselné zbarvují nesvítiví plamen fialově. Pozorování plamene je nutno dělat kobaltovým sklem, jinak vadí žluté zbarvení plamene sodnými ionty.

## **Na<sup>+</sup>**

1) Octan uranylozinečnatý nebo uranylohořečnatý sráží neutrální nebo roztoky slabě okyselené kyselinou octovou jako žlutou krystalickou sraženinu. Důkaz sodíku je téměř specifický, ruší K<sup>+</sup> je-li jeho koncentrace větší než 5 g na litr.

2) Zbarvení plamene

Soli draselné zbarvují nesvítiví plamen intensivně žlutě.



- 1) Hydroxidy alkálií uvolňují za tepla z roztoků amonných amoniak, který je snadno dokazatelný čichem.
- 2) Nesslerovo činidlo (alkalický roztok komplexního jodortuťnatanu  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ) poskytuje již jen s nepatrnými stopami amoniaku žluté zbarvení, při větších množství amoniaku vylučuje se červenohnědá sraženina .

## Třídy aniontů podle reakce s barnatými a stříbrnými ionty

### 1. třída

zahrnuje anionty, které se srážejí jak ionty barnatými, tak i stříbrnými.

### 2. třída

obsahuje anionty, které se barnatými ionty nesrážejí, s kationty stříbrnými poskytují nerozpustné sraženiny.

### 3. třída

zahrnuje anionty, které se nesrážejí ani barnatými, ani stříbrnými kationty.

Činidla: roztoky  $\text{AgNO}_3$  a  $\text{BaCl}_2$

## Třídy aniontů podle reakce s barnatými a stříbrnými ionty

1. třída	2. třída	3. třída
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$
$\text{SO}_3^{2-}$	$\text{Br}^-$	$\text{ClO}_3^-$
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$\text{I}^-$	$(\text{ClO}_4^-)$
$\text{CrO}_4^{2-}$ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$(\text{CN}^-)$	
$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SCN}^-$	
$\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	
$\text{CO}_3^{2-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	
	$\text{S}^{2-}$	
	$\text{NO}_2^-$	

## Důkazové reakce aniontů

### $\text{SO}_4^{2-}$

1) Ba<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>

těžká bílá sraženina  $\text{BaSO}_4$  nerozpustná ve zředěných kyselinách ani za horka; bílá sraženina  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$

2) Octan olovnatý

bílá sraženina  $\text{PbSO}_4$  rozpustná v koncentrované kyselině sírové (ne kyselý síran olovnatý), rovněž v loužích ( $\text{NaOH}$ ) se rozpouští za vzniku olovnatanu  $\text{Na}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4]$

3) Benzidin (roztok v kyselině octové)

vyučuje z roztoků síranů bezbarvé jehličkovité nebo šupinkovité krystalky síranu benzidinu.

### $\text{SO}_3^{2-}$

1) Ba<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>

bílá sraženina  $\text{BaSO}_3$  snadno rozpustná ve zřed. kyselinách. Nerozpuštěn zůstane pouze síran barnatý neboť v roztocích siřičitanů jsou síranové ionty vždy obsažené; bílá sraženina  $\text{Ag}_2\text{SO}_3$  rozpustná ve zředěných kyselině dusičné a amoniaku. V nadbytku siřičitanu se rozpouští. Povařením sraženina  $\text{Ag}_2\text{SO}_3$  tmavne a vylučuje se elementární kovové stříbro.

2) Zředěné kyseliny uvolňují z roztoků siřičitanů charakteristicky páchnoucí oxid siřičitý, který lze dokázat zezelenáním papírku (vznikem chromité sole), který byl napojený dichromanem draselným.

3) Fialový roztok manganistanu draselného se působením siřičitanových iontů odbarví.

4) Nitroprussid sodný  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$  poskytuje s neutrálními nebo slabě alkalickými roztoky siřičitanů růžové zbarvení, které se stane intenzivnější přidáním síranu zinečnatého. Ke zvláště zředěným roztokům se přidá ještě roztok kyanoželeznatanu, který učiní reakci ještě citlivější. V tom případě se eventuálně vzniklá sraženina zbarví červeně.

6) Malachitová zeleň se ihned odbarvuje působením siřičitanů. Zkoumaný roztok je třeba předem neutralizovat.

## $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

1) Ba<sup>2+</sup>

bílá sraženina  $\text{BaS}_2\text{O}_3$ , která může vzniknout až po chvíli. Ve studené vodě těžce, v horké vodě snadno rozpustná.

2) Ag<sup>+</sup>

nejprve bílá sraženina  $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , která ihned žlutne, hnědne a nakonec zčerná vyloučeným sulfidem stříbrným. Zavařením roztoku nastává rozklad okamžitě. Rozpustná ve zředěných kyselině dusičné a amoniaku.

3) Zředěné kyseliny způsobují v roztocích thiosíranů žlutavý opalisující zákal vyvolaný koloidně rozpuštěnou sírou.

4) Roztok jodu se působením thiosíranů odbarví.

5) Bromovou vodou, manganistanem a dvojchromanem jsou thiosírany oxidovány na sírany. Původně hnědočervený roztok bromu a fialový roztok manganistanu se odbarví, žlutý roztok dichromanu zezelená.

## $\text{CrO}_4^{2-}$

1) Ba<sup>2+</sup>

vzniká žlutý chroman barnatý, který je snadno rozpustný ve zředěných minerálních kyselinách.

2) Ag<sup>+</sup>

vzniká červená sraženina chromanu stříbrného, která je lehce rozpustná ve zředěné kyselině dusičné i amoniaku.

3) Octan olovnatý sráží žlutý chroman olovnatý rozpustný ve zřed. kyselině dusičné a alkalických hydroxidech.

4) Peroxid vodíku poskytuje v roztocích chromanu mírně, okyselených zřed. kyselinou sírovou, nestálé modré zbarvení.

## $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

### 1) $\text{Ba}^{2+}$

vzniká žlutý chroman barnatý, který je snadno rozpustný ve zředěných minerálních kyselinách.

### 2) $\text{Ag}^+$

vzniká červená sraženina dichromanu stříbrného, která se zahřátím rozkládá.

### 4) Peroxid vodíku poskytuje v roztocích dichromanu mírně, okyselených zřed. kyselinou sírovou, nestálé modré zbarvení.

### 5) Kyselina sírová redukuje za varu dichromany na zelený roztok chromité soli.

## $\text{CO}_3^{2-}$

### 1) $\text{Ba}^{2+}$

bílá sraženina  $\text{BaCO}_3$ , snadno rozpustná ve zředěné kyselině chlorovodíkové za šumění.

### 2) $\text{Ag}^+$

sráží slabě nažloutlou sedimentu uhličitanu stříbrného, která se lehce rozpouští ve zředěné kyselině dusičné, octové a amoniaku. Varem s nadbytkem vody nažloutlá sraženina hnědne, neboť se hydrolyticky rozkládá na hnědý oxid stříbrný a oxid uhličitý.

## $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$

### 1) $\text{Ba}^{2+}$

bílá sraženina  $\text{Ba}(\text{BO}_2)_2$ , rozpustná v kyselinách a v chloridu amonném.

### 2) $\text{Ag}^+$

bílá sraženina  $\text{AgBO}_2$  rozpustná ve zředěné kyselině dusičné a amoniaku. Za chladu jen zvolna, zavařením velmi rychle přechází původně bílá sraženina v hnědý oxid stříbrný. Ve zředěných roztocích vzniká hnědá sraženina oxidu stříbrného ihned.



- 3) Kurkumový papírek se barví působením volné kyseliny borité červenohnědě. Roztok musíme okyselit přídatkem zředěné kyseliny chlorovodíkové. Ovlhčí-li se vzniklá skvrna zředěným louhem nebo amoniakem, zabarví se zelenočerně.

### **PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**

1) Ba<sup>2+</sup>

vzniká bílá sraženina, rozpustná ve zředěných minerálních kyselinách a v kyselině octové.

2) Ag<sup>+</sup>

vylučuje žlutý fosforečnan stříbrný, rozpustný ve zředěné kyselině dusičné a amoniaku.

- 3) Hořečnatá soluce vylučuje bílou jemně krystalickou sraženinu, která je nerozpustná ve zředěném amoniaku a snadno rozpustná ve zředěných kyselinách.

- 4) Molybdenová soluce dává v roztocích okyselených kyselinou dusičnou žlutou pískovitou sraženinu molybdátosfosforečnanu amonného. Vyloučení sraženiny se urychlí zahřátím zkoumaného roztoku. Sraženina je rozpustná v amoniaku a loužích.

### **Cl<sup>-</sup>**

1) Ag<sup>+</sup>

vylučuje bílý tvarohovitý chlorid stříbrný, který je fotosenzitivní a na světle šedne až černá koloidně rozpuštěným stříbrem.

- 2) Koncentrovaná kyselina sírová uvolňuje plynný chlorovodík, vnoří-li se do par chlorovodíku skleněná tyčinka ovlhčená dusičnanem stříbrným, utváří se na ní povlak chloridu stříbrného.

## **Br<sup>-</sup>**

1) Ag<sup>+</sup>

vylučuje nažloutlou sraženinu bromidu stříbrného, která je fotosenzitivní a na světle šedne.

2) Žlutý roztok fluoresceinu se barví elementárním bromem červeně z tvorby eosinu (tetrabromfluoresceinu). Reakce se provádí tak, že se brom uvolní oxidačním účinkem směsí  $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$  nebo  $PbO_2 + CH_3COOH$  a do par bromu se vkládá proužek filtračního papíru napojeného fluoresceinem.

3) Reakcí s koncentrovanou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se uvolňují načervenalé výpary Br<sub>2</sub>.

## **I<sup>-</sup>**

1) Ag<sup>+</sup>

vylučuje žlutou tvarohovitou sraženinu jodidu stříbrného nerozpustnou ve zředěné kyselině dusičné a amoniaku (zde pouze zbělá).

2) Koncentrovaná kyselina sírová rozkládá jod za tvorby jodovodíku, který je ihned oxidován na jod unikající ve fialových parách. Kyselina sírová je redukována až na H<sub>2</sub>S.

3) Škrobový maz v přítomnosti jodu nebo jodidu zmodrá. Reakce je specifická.

## **SCN<sup>-</sup>**

1) Ag<sup>+</sup>

vylučuje bílou tvarohovitou sraženinu thiokyanatanu stříbrného nerozpustnou ve zředěné kyselině dusičné, obtížně rozpustnou v amoniaku.

2) Chlorid železitý poskytuje v prostředí slabě okyseleném kyselinou chlorovodíkovou krvavě červené zabarvenou sraženinu.

## $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$

### 1) $\text{Ag}^+$

vylučuje bílou sraženinu, nerozpustnou ve zředěné kyselině dusičné a zředěném amoniaku. Pokape-li se sraženina několika kapkami chloridu železitého zmodrá. Koncentrovanou kyselinou dusičnou přechází na oranžový  $\text{Ag}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

2) Chlorid železitý dává modrou sraženinu berlínské modři nerozpustné ve zředěných kyselinách. Alkalickými hydroxidy se rozkládá a sráží se hnědý hydroxid železitý.

3) Síran měďnatý poskytuje hnědou sraženinu  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  nazývanou Hatchettovou hnědí., obtížně rozpustnou ve zředěné kyselině octové, rozpustnou v amoniaku.

## $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$

### 1) $\text{Ag}^+$

dává červenohnědou sraženinu, nerozpustnou ve zředěné kyselině dusičné, velmi snadno rozpustnou v amoniaku.

2) Síran železnatý poskytuje modrou sraženinu berlínské modři.

3) Chlorid železitý neposkytuje sraženinu a způsobuje pouze hnědé zabarvení roztoku neurčitého složení.

## $\text{S}^{2-}$

### 1) $\text{Ag}^+$

dává černou sraženinu, nerozpustnou ve zředěné kyselině dusičné a amoniaku.

2) Nitroprussid sodný  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$  poskytuje červenofialové zabarvení pouze ale jen v alkalickém prostředí. V kyselém prostředí reakce neprobíhá.

3) Octan olovnatý poskytuje černý sulfid olovnatý. Reakce je citlivější v alkalickém prostředí.

4) Zředěné minerální kyseliny uvolňují velmi charakteristicky zapáchající plynný sirovodík.

## $\text{NO}_2^-$

1) Ag<sup>+</sup>

vylučuje bílou krystalickou sraženinu, dobře rozpustnou ve zředěné kyselině dusičné.

2) Zředěná kyselina sírová rozkládá všechny dusitany za studena za vývoje hnědých dýmů oxidu dusičitého.

3) Hexakvanoželeznatan draselný se dusitany zabarvuje intenzivně žlutě v prostředí kyseliny octové.

4) Močovina v kyselém prostředí rozkládá dusitany za vzniku elementárního dusíku.

## $\text{NO}_3^-$

1) Zónová reakce. K roztoku vzorku se přidá stejný objem koncentrované kyseliny sírové, reakční směs se promíchá a ochladí pod tekoucí vodou. Takto připravený vzorek se opatrně převrství čerstvě připraveným koncentrovaným roztokem síranu železnatého. Positivní důkaz se projeví hnědou zónou na styku obou vrstev. Při zahřátí hnědé zabarvení mizí.

2) Kovový zinek nebo hliník redukuje dusitany v prostředí sodného nebo draselného louhu až na amoniak, který dokazujeme buď čichem nebo lakmusovým papírkem.

## $\text{ClO}_3^-$

1) Kovový zinek redukuje chlorečnany v kyselém i alkalickém prostředí. Redukce v kyselém prostředí se provádí zředěnou kyselinou sírovou. Vzniklé chloridy lze dokázat reakcí s dusičnanem stříbrným.

2) Jodid draselný se oxiduje na volný jod dokazatelný škrobovým mazem za tvorby modrého zabarvení.

## **Literatura**

1. V. Simon, J. Doležal: Chemická analýza kvalitativní, PřF UK Praha (1989)
2. J. Vulterin, J. Švecová: Příručka analytické chemie, PedF UK Praha (2002)

Pro Pedagogickou fakultu UK vypracovala Ing. Mgr. Štěpánka Kučková, Ph.D.  
Říjen 2006