

Східноєвропейський національний університет імені Лесі
Українки
Хімічний факультет
Кафедра неорганічної і фізичної хімії

ХІМІЯ КООРДИНАЦІЙНИХ СПОЛУК

Методичні вказівки до лабораторних занять

Луцьк – 2018

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки
(протокол № 3 від 21 листопада 2018 р.)*

Рецензенти:

Марушко Л. П., кандидат хімічних наук, доцент кафедри органічної хімії та фармації Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки.

Шемет В. Я., кандидат хімічних наук, доцент кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету.

О. М. Строк, І. І. Мазурець

К 65 Хімія координаційних сполук: Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів II-го (магістрського) рівня освіти, спеціальності – 102 Хімія, галузі знань «Природничі науки». / Укладачі: Оксана Мар'янівна Строк, Ірина Іванівна Мазурець. – Луцьк: П “Зоря–плюс” ВОО ВОІ СОІУ, 2018. – 52 с.

Навчально–методичне видання містить план лабораторного практикуму, методичні розробки лабораторних робіт та методики синтезу комплексних сполук, список рекомендованої літератури, додатки. Для самоконтролю при підготовці до модульних контрольних робіт та лабораторних занять подаються окремі теоретичні питання та ряд вправ для самостійного розв'язування.

Для студентів II-го (магістрського) рівня освіти, спеціальності 102 Хімія, галузі знань «Природничі науки»; викладачів та лаборантів, які проводять лабораторні заняття.

ЗМІСТ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	5
РОЗДІЛ 1.	6
Лабораторна робота № 1. Будова комплексних сполук	6
Лабораторна робота № 2. Класифікація та ізомерія комплексних сполук	9
Лабораторна робота № 3. Властивості комплексних сполук та їх залежність від будови. Стійкість комплексів	12
Лабораторна робота № 4. Встановлення координаційної формули сполук за даними електропровідності	16
Семінар. Розв'язування вправ та задач	19
РОЗДІЛ 2. СИНТЕЗИ КОМПЛЕКСНИХ СПОЛУК	24
Зразок оформлення синтезу КС	24
Перелік синтезів для виконання	25
2.1. Натрій гексагідроксостанат (IV) $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$	25
2.2. Натрій гексанітрокобальтат (III) $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	25
2.3. Калій триоксалатохромат (III) $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	26
2.4. Калій триоксалатоферат (III) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	26
2.5. Калій диоксалатокупрат (II) $\text{K}_2[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	27
2.6. Калій тетраіоціанатомеркурят (II) $\text{K}_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$	27
2.7. Калій гексатіоціанатохромат (III) $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{SCN})_6] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	28
2.8. Купрум (I) тетраіодомеркурят (II) $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$	28
2.9. Тетраамінкупрум (II) сульфат $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$	29
2.10. Гексаамінкобальт (III) хлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	29
2.11. Хлоропентаамінкобальт (III) хлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$	30
2.12. Динітротетраамінкобальт (III) хлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}$	30
2.13. Гексаамінкобальт (II) іодид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{I}_2$	30
2.14. Гексаамінкобальт (III) нітрат $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_3$	31
2.15. Триетиленкобальт хлорид $[\text{CoEn}_3]\text{Cl}_3$	31
2.16. Карбонатотетраамінкобальт (III) сульфат $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{CO}_3]\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	32
2.17. Гексааміннікол (II) хлорид $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	32
2.18. Гексаміннікол бромід $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_2$	32
2.19. Тетрароданомеркуріат Цинку, Кадмію, Купруму, Кобальту	33

та інших металів	
2.20. Амоній тетрароданоdiamінхромат (III) $\text{NH}_4[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{CNS})_4]\cdot\text{H}_2\text{O}$	33
2.21. Купрум (II) глікоколят $[\text{Cu}(\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—COO})_2]\cdot\text{H}_2\text{O}$	34
РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗИ ПОДВІЙНИХ СОЛЕЙ	35
3.1. Амоній-натрій гідрогенфосфат $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$	35
3.2. Купрум (II) амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	35
3.3. Ванадій–амоній сульфат $\text{NH}_4\text{V}(\text{SO}_4)_2$	35
3.4. Ванадій–калій сульфат $\text{KV}(\text{SO}_4)_2$	35
3.5. Цинк–амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\cdot\text{ZnSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	36
3.6. Ферум–амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\cdot\text{FeSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	36
3.7. Нікол–амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\cdot\text{NiSO}_4$	36
3.8. Магній-амоній фосфат MgNH_4PO_4	36
3.9. Алюмоамонійні галуни $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	37
3.10. Алюмокалієві галуни $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	37
3.11. Залізоамонійні галуни $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	37
3.12. Хромокалієві галуни $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	38
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	39
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	42
ДОДАТКИ	43
1. Правила техніки безпеки в хімічній лабораторії і заходи для надання першої медичної допомоги	43
2. Загальні константи нестійкості (K_n) та константи стійкості (β) деяких комплексних іонів	49
3. Добутки розчинності (ДР) важкорозчинних речовин	50

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Хімія координаційних сполук – розділ хімії, що вивчає координаційні (комплексні) сполуки, тобто хімічні сполуки, що складаються з центрального атома та пов'язаних з ним молекул або іонів (лігандів). Координаційна хімія вивчає методи синтезу та будову комплексних сполук, їхні фізико-хімічні властивості, реакційну здатність, природу хімічного зв'язку, особливості перебігу реакцій комплексоутворення тощо.

Під час вивчення даної дисципліни у студентів формується уявлення про координаційні сполуки як клас речовин, що принципово відрізняється від органічних та неорганічних сполук; про основні типи реакцій за участю координаційних сполук і особливості їх протікання; знання будови та хімічного зв'язку в комплексних сполуках тощо.

Навчальна дисципліна «Хімія координаційних сполук» читається магістрам галузі знань – 10 «Природничі науки», спеціальності – 102 «Хімія», освітньої програми «Хімія» у III-му семестрі навчання. Згідно з навчальним планом на вивчення дисципліни відводиться 60 аудиторних годин – 16 лекційних та 44 годин для виконання лабораторних робіт.

Під час проходження лабораторного практикуму студенти повинні виконати лабораторні роботи по вивченню будови, ізомерії, властивостей комплексних сполук, а також самостійно синтезувати запропоновані викладачем координаційні сполуки.

Як допуск до виконання лабораторної роботи на кожному занятті перевіряються знання студентами методики експерименту.

Для підготовки до занять та модульних контрольних робіт у даному навчально-методичному виданні наведено теоретичні питання, вправи та задачі для самопідготовки, що сприятимуть глибшому засвоєнню матеріалу при самостійному опрацюванні та допоможуть викладачеві організувати самостійну роботу студентів і проконтролювати їх знання.

Необхідний для виконання завдань довідковий матеріал міститься у додатках.

РОЗДІЛ 1

Лабораторна робота № 1

Будова комплексних сполук

Питання та вправи для підготовки

1. Координаційна теорія Вернера. Комплексоутворювачі й ліганди. 2. Координаційне число (КЧ) комплексоутворювача. Чинники, що впливають на значення КЧ. 3. Як визначають координаційне число центрального атома та який взаємозв'язок між значенням КЧ та ступенем окиснення центрального атома? 4. Дентатність лігандів. Які ліганди називають амбідентатними? Скласти формули координаційних сполук (КС) з урахуванням приєднання амбідентатних лігандів CN^- , NO_2^- , SCN^- до комплексоутворювачів: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Co^{3+} , Hg^{2+} . Назвати ці сполуки. 5. Номенклатура комплексних сполук. Побудова назви аніонних, катіонних і нейтральних комплексів. 6. Назвати основні складові частини координаційних сполук: $\text{Na}_3[\text{Ir}(\text{C}_2\text{O}_4)_2\text{Br}_2]$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_3$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{OH})_3]$, $\text{H}_3\text{O}[\text{SbF}_6]$, $[\text{Ru}(\text{py})_2(\text{CO})_2\text{Br}_2]$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$. Визначити заряди зовнішньої координаційної сфери, внутрішньої координаційної сфери та центрального атома. 7. Визначити ступінь окиснення комплексоутворювача в таких комплексних іонах: $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+$, $[\text{HgI}_4]^{2-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{ClF}_6]^+$, $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2(\text{CO}_3)]^{3-}$, $[\text{Cr}(\text{en})_2(\text{CN})_2]^+$. 8. Обчислити заряд комплексних частинок (x) і назвати серед них аніони, катіони, неелектроліти: $[\text{Sc}(\text{CO}_3)_3]^x$, $[\text{Ni}(\text{CO})_4]^x$, $[\text{Zn}(\text{en})_3]^x$, $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Br}_2]^x$, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^x$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_4\text{PO}_4]^x$, $[\text{I}(\text{CN})_2]^x$, $[\text{Au}(\text{CN})_2\text{Cl}_2]^x$. 9. Визначити КЧ комплексоутворювачів у таких КС: $\text{K}_3[\text{Ir}(\text{C}_2\text{O}_4)_2\text{Br}_2]$, $[\text{Zn}(\text{en})_3]\text{Cl}_2$, $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$, $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$, врахувавши, що ліганди H_2O , Cl^- , Br^- , CN^- , NH_3 – монодентатні, а ліганди en , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ – бідентатні. 10. Скласти формули всіх можливих КС, які можна одержати, поєднуючи частинки Cr^{3+} , NH_3 , Cl^- , en , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, Na^+ . Які з них містять комплексні катіонами, аніонами, а які є неелектролітами? 11. Для наведених КС вказати назву, заряд і КЧ комплексоутворювача, заряд лігандів: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{Cl}_2$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{Br}_3$, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. 12. Назвати наведені КС, вказати заряд комплексного іону, комплексоутворювача, його КЧ: $\text{K}[\text{Cr}(\text{NCS})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$, $\text{H}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{Li}[\text{Ti}(\text{bipy})_3]$, $\text{Rb}[\text{SeOF}_5]$, $\text{Xe}[\text{TaF}_6]_2$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Br}_2$, $[\text{Co}(\text{en})_3]\text{Br}_3$, $[\text{Co}(\text{SO}_4)(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_3\text{H}_2\text{O}](\text{ClO}_4)_2$. 13. Написати координаційні формули наступних КС: а) калій диціаноаргентат (I); б) гексааміннікол (II) хлорид; в) калій пентахлороакваіндат (III); г) натрій тетратіостанат (IV); г) тетраамінпаладій (II) тетрахлоропаладат (II); д) амоній гексахлорованадат (III). 14. Назвати комплексні іони: $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]^{3+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]^+$, $[\text{ICl}_2]^+$, $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_3]^+$, $[\text{BrF}_4]^+$,

$[\text{Cr}(\text{en})_2(\text{CN})_2]^+$, $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_4\text{I}_2]^+$, $[\text{Ni}(\text{NO}_2)_3\text{Br}_2\text{Cl}]^{4+}$, $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{CO}_3)_2]^{2-}$, $[\text{Ir}(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{SO}_3)_2]^{3-}$, $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_4(\text{SO}_4)_2]^-$, $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)(\text{CrO}_4)_2]^-$, $[\text{Cr}(\text{NO}_2)_4(\text{NCS})_2]^{3-}$.

Хід виконання роботи

Дослід № 1. Реакції іонів комплексної солі

Налити в одну пробірку 1 мл розчину ферум (III) хлориду, а в другу – розчину калій гексаціаноферату (III) і додати краплями розчин калій тіоціанату. Чому розчин в першій пробірці червоний, а в другій ні?

Налити в одну пробірку 1 мл калій хлориду, а в другу – розчину калій гексаціаноферату (III) і додати в обидві пробірки розчин натрій гексанітрокобальтату. Спостерігати за утворенням осадів в обох пробірках. Який висновок можна зробити на основі цього досліді?

Налити в одну пробірку 1 мл розчину ферум (III) хлориду, а в другу – розчину калій гексаціаноферату (III) і додати краплями розчин ферум (II) сульфату. Що спостерігається?

Написати рівняння реакцій в молекулярному та іонному вигляді.

Дослід № 2. Утворення солей з комплексними катіонами

Налити у 5 пробірок по 1 мл розчинів наступних солей: в 1-шу – кобальт (II) хлориду; в 2-гу – хром (III) сульфату; в 3-тю – купрум (II) сульфату; в 4-ту – нікол (II) сульфату і в 5-ту – цинк сульфату. Додати в кожен з них концентровано розчин амоніаку. Що спостерігається? Якого забарвлення набувають розчини?

Описати утворені комплекси, написати рівняння реакцій у молекулярному та іонному вигляді.

Дослід № 3. Утворення солей з комплексними аніонами

Налити в 5 пробірок по 2 краплі 1н розчину кобальт (II) хлориду. Додати: в 1-шу – концентрований розчин натрій ацетату; в 2-гу – концентрований розчин натрій нітриту; в 3-тю – концентрованої хлоридної кислоти; в 4-ту – концентрований розчин калій тіоціанату; в 5-ту – концентрований розчин натрій тіосульфату. Спостерігати зміну забарвлення розчинів у кожному випадку внаслідок утворення комплексної солі. Описати утворені комплекси, написати рівняння реакцій у молекулярному та іонному вигляді.

Дослід № 4. Утворення комплексів у неводних розчинах

В пробірку налити концентровано розчину кобальт (II) хлориду. Потім поступово приливати ацетон до отримання розчину яскраво-синього кольору, при цьому утворюється комплексна сіль. Розведення водою приводить до появи рожевого розчину.

Дослід № 5. Стійкість координаційної сфери

В пробірку налити меркурій (II) нітрату і обережно додати невелику кількість розчину калій іодиду. Утворюється яскраво-оранжевий осад.

Подальше додавання калій йодиду приводить до розчинення осаду і утворення безбарвного розчину (запобігати великого надлишку калій йодиду). Розчин розділити на чотири пробірки.

До першої додати декілька крапель калій гідроксиду. Осад меркурій оксиду не утворюється. В іншій пробірці паралельно показати, що додавання лугу до меркурій (II) нітрату приводить до утворення осаду меркурій (II) оксиду.

До другої пробірки додати сірководневої води, що приводить до утворення чорного осаду меркурій (II) сульфід ($DP(HgS) = 4 \cdot 10^{-58}$).

Для доказу присутності в розчині комплексного іону в третю пробірку додати розчин аргентум нітрату, а в четверту – купрум (II) сульфату.

Дослід № 6. Утворення комплексів з нейтральним лігандом

Отримати осад нікол (II) гідроксиду з розчину нікол хлориду і їдкого натру. Розчинити осад у 25%-ному розчині амоніаку. Відзначити зміну забарвлення розчину. Яка основа є більш сильною: проста чи комплексна?

Нікол (II) хлорид можна замінити купрум (II) сульфатом.

Дослід № 7. Отримання комплексних іонів феруму (III)

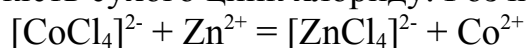
Налити в чотири пробірки розчин, що містить Fe^{3+} (залізоамонійні галуни або ферум (III) сульфат). Першу залишити для порівняння. У другу додати сухого калій хлориду, в третю – кристалики калій броміду, в четверту – декілька кристаликів калій тіоціанату. Відмітити забарвлення утворених комплексів.

Дослід № 8. Зміна рН середовища при утворенні комплексних іонів

Помістити в пробірку невелику кількість меркурій (II) оксиду, долити води і декілька крапель універсального індикатора. В іншу пробірку налити розчин калій йодиду і також додати індикатор. Забарвлення розчину в обох пробірках вказує на нейтральну реакцію. Вилити розчин калій йодиду в пробірку з меркурій оксидом. Зелене забарвлення індикатора різко змінюється на фіолетове, що вказує на наявність у розчині надлишку гідроксид-іонів.

Дослід № 9. Різна здатність іонів металів до комплексоутворення

У пробірку налити невелику кількість концентрованого розчину кобальт (II) хлориду. Додаючи ацетон, отримати синій розчин комплексної солі. Відлити частину отриманого розчину в іншу пробірку і додати невелику кількість сухого цинк хлориду. Розчин стає рожевим.



Ацетон можна замінити насиченим розчином кальцій хлориду для проведення досліду лише у водному розчині.

Дослід № 10. (Демонстраційний) Зміна забарвлення твердих комплексних солей при нагріванні

Лабораторна робота № 2

Класифікація та ізомерія комплексних сполук

Питання та вправи для підготовки

1. Способи класифікації комплексних сполук. 2. Класифікація за природою центрального атома і характером його зв'язку з лігандами. 3. Які комплекси називають хелатами? Навести приклади хелатних комплексів для комплексоутворювачів Ni^{2+} , Cu^{2+} . Визначити КЧ комплексоутворювача в цих сполуках та вказати дентатність хелатоутворюючих лігандів. 4. Що називають сандвічевими сполуками? 5. Які комплекси називають клатратами, тектогідратами? Навести приклади. 6. Які ліганди називають містковими (μ – ліганд) та для яких комплексів вони характерні? Навести приклади КС з містковими лігандами. 7. Які комплекси називають кластерними? Назвати сполуки: $[\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}]$, $[\text{Nb}_6\text{Cl}_{10}]\text{Cl}_2$, $[\text{Mo}_6\text{Br}_8]\text{Br}_4$, $\text{K}_3[\text{Re}_3\text{I}_{12}]$, $[\text{Ta}_6\text{Br}_{10}]\text{Br}_2$, $(\text{NH}_4)_3[\text{Re}_3\text{Cl}_{12}]$, $[\text{W}_6\text{Cl}_8]\text{Cl}_4$. 8. Дати класифікацію наступних КС за належністю до класу сполук, за зарядом комплексного іону, за природою лігандів: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{Br}_3$, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, $\text{H}[\text{AuCl}_4]$, $\text{K}_3[\text{W}(\text{CN})_8]$, $\text{K}_3[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]$, $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$, $\text{Ca}[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]_2$, $\text{Na}_3[\text{IrCl}_2(\text{NO}_2)_4]$, $\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$. 9. Види ізомерії комплексних сполук. 10. Дати визначення сольватної ізомерії та написати формули наступних ізомерів: а) $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; б) $\text{VOSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; в) $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; г) $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{py}$. Назвати ці сполуки. 11. Трансвплив лігандів у комплексних сполуках. 12. Дати визначення геометричної ізомерії та написати формули транс– і цис– ізомерів для комплексів: а) $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$; б) $[\text{PdCl}_2(\text{py})_2]^{2+}$. 13. Для яких КС характерна координаційна ізомерія? Скласти формули ізомерів для сполук складу: а) Co^{3+} , 6CN^- , Cr^{3+} , 6NH_3 ; б) Pt^{4+} , 4NH_3 , Pt^{2+} , 6Cl^- . 14. Скласти формули КС, які виникають при наявності амбідентатних лігандів: а) $[\text{CoX}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$, б) $\text{K}_2[\text{Co}(\text{X})_4]$, де $\text{X} = \text{NO}_2^-$ (ONO) та NCS^- (SCN). Який вид ізомерії називають ізомерією зв'язку (сольовою)?

Хід виконання роботи

Дослід 1. Одержання аквакомплексів

Нагріти в тиглі кристалогідрати $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ до одержання безводних солей. Простежити за зміною забарвлення солей. Після охолодження додати воду. Внаслідок чого змінюється забарвлення солей та як? Написати координаційні формули аквакомплексів, які містяться у водному розчині, враховуючи координаційне число комплексоутворювачів і те, що лігандами є молекули води. Як дисоціюють ці солі в розчині? Присутність яких іонів зумовлює забарвлення водного розчину?

Дослід 2. Одержання амоніакатів та гідроксокомплексів

2.1. Одержання малорозчинних гідроксидів

В 7 пробірок налити по 1 мл розчинів солей таких металів: Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} . У кожну з пробірок обережно по краплях додати розбавлений (0,1 н) розчин луку до утворення осаду гідроксиду. Слід пам'ятати, що деякі осади розчиняються в надлишку луку, тому додавання

надлишку лугу не припустиме. Вміст пробірок збовтати та розділити на дві частини. Таким чином, отримати дві серії пробірок з нерозчинними гідроксидами.

2.2. Дослідження можливості утворення гідроксокомплексів

У кожену з пробірок першої серії додати 1–2 мл концентрованого розчину лугу. Відзначити зміни, що відбулись у пробірках. Результати занести у таблицю 1.

2.3. Дослідження можливості утворення амоніакатів

У кожену з пробірок другої серії додати 1–4 мл концентрованого розчину амоніаку. Відмітити зміни, що відбулись у пробірках. Результати занести у таблицю 1.

Таблиця 1

Катіон	Формула гідроксиду та колір осаду	Зміни, що відбулись при додаванні розчину лугу (конц.)	Зміни, що відбулись при додаванні розчину NH ₃ (конц)
Fe ³⁺			
Zn ²⁺			
Cu ²⁺			
Co ²⁺			
Ni ²⁺			
Pb ²⁺			
Al ³⁺			

У висновку відмітити (користуючись значеннями констант нестійкості та проведеними дослідями):

- іони, які утворюють міцні амоніакати та гідроксокомплекси: ...;
- іони, які утворюють лише міцні амоніакати: ...;
- іони, які утворюють лише міцні гідроксокомплекси: ...;
- іони, що не утворюють міцних амоніакатів та гідроксокомплексів:...

Дослід 3. Одержання ацидокомплексів

3.1. Утворення ацидокомплексів магнію і меркурію (II)

У дві пробірки помістити по 5-7 крапель розчинів солей Hg(NO₃)₂ і MgCl₂. До першого розчину додати кілька крапель розчину KI. Спостерігати утворення осаду. Продовжувати додавати по краплях розчин KI до повного розчинення цього осаду внаслідок утворення [HgI₄]²⁻-іонів. До другого розчину MgCl₂ додати краплями концентрований розчин (NH₄)₂CO₃ до випадання осаду MgCO₃. Розчинити його у надлишку реактиву. Утворюється комплекс [Mg(CO₃)₂]²⁻. Написати рівняння реакцій. Назвати одержані ацидокомплекси.

3.2. Утворення ацидокомплексів феруму (III)

Помістити у дві пробірки по 3-4 краплі FeCl₃ і додати в кожену пробірку по 1 краплі амоній роданіду. Якого забарвлення набув розчин? Потім в одну пробірку додати 2 краплі 2н розчину ортофосфатної кислоти, а в другу – 2 краплі 2н розчину флуороводневої кислоти. Враховуючи, що стійкі комплекси [Fe(PO₄)₂]³⁻ і [FeF₆]³⁻ безбарвні, пояснити зміну забарвлення розчинів і написати відповідні рівняння реакцій.

3.3. Утворення ацидокомплексу аргентуму (I)

Помістити у пробірку 2-3 краплі аргентум (I) нітрату і додати по краплях 1н розчин $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до випадання осаду аргентум (I) тіосульфату. До одержаного осаду додати ще декілька крапель розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до розчинення осаду, яке відбувається за рахунок утворення комплексної сполуки. Написати відповідні рівняння реакцій. Використовуючи значення величини ДР і K_n , пояснити розчинення осаду в надлишку $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ та утворення ацидокомплексу.

3.4. Утворення ацидокомплексу йоду

Помістити у пробірку 1-2 кристалики йоду і прилити трохи води. Струшуючи пробірку, переконайтесь, що йод у воді малорозчинний. Додати у пробірку по краплях концентрований розчин калій йодиду до розчинення йоду. Написати рівняння реакції утворення комплексної сполуки $\text{K}[\text{I}_2]$.

Дослід 4. Утворення сполук, які містять комплексний катіон і комплексний аніон

Помістити у пробірку 2 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і 4 краплі розчину NiSO_4 , при цьому випадає осад $\text{Ni}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Додати краплями концентрованого розчину аміаку (25%) до повного розчинення осаду. Через 2 хвилини з одержаного розчину випадають блідо-фіалкові кристали солі $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Написати рівняння реакцій, які при цьому відбуваються. Вказати зовнішні ознаки реакції.

Провести аналогічний дослід з розчинами CuSO_4 і $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ та пояснити спостереження.

Дослід 5. Подвійні і комплексні солі

Взяти 5 пробірок. У перші три пробірки помістити по 3 краплі розчину залізоамонійних галунів $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, у четверту і п'яту – по 3 краплі $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

У першу пробірку додати 2 краплі розчину NH_4SCN , у другу – 2 краплі розчину BaCl_2 , у третю – дві краплі розчину NaOH (нагріти до появи запаху амоніаку), у четверту – 2 краплі розчину NaOH і в п'яту – 2 краплі розчину NH_4SCN . Написати рівняння реакцій, що відбуваються.

Порівняти досліди в першій, другій та третій пробірках з дослідом в четвертій та п'ятій. На які іони дисоціюють у водному розчині залізоамонійні галуни і $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$? Написати рівняння реакцій дисоціації взятих солей. У чому подібність і відмінність між подвійними солями та координаційними сполуками?

Дослід 6. Одержання хелатних комплексів

6.1. Утворення нікол (II) диметилгліоксимату

На краплю розчину NiSO_4 подіяти краплею розчину диметилгліоксиму (H_2Dm) та краплею розведеного розчину NH_3 . Спостерігати випадання осаду внутрішньокомплексної солі нікол (II) диметилгліоксимату $\text{Ni}(\text{HDm})_2$. Який колір має осад? Написати рівняння реакцій та зобразити формулу сполуки. Вказати зовнішні ознаки реакції.

6.2. Утворення хелатних сполук феруму (III)

У три пробірки помістити по три краплі розчину FeCl_3 . Одну пробірку залишити як контрольну. У дві інші додати по 3 краплі розчину лугу. Потім до осадів, що утворились, додати: в одну – 12–15 крапель 2н розчину щавлевої кислоти $\text{COOH} - \text{COOH}$, а в другу – 12–15 крапель 2н розчину лимонної кислоти $\text{CH}_2(\text{COOH}) - \text{C}(\text{OH})\text{COOH} - \text{CH}_2(\text{COOH})$. Написати рівняння реакцій. Моно– чи полідентатними лігандами є залишки щавлевої та лимонної кислот? Записати графічні формули щавлевого (оксалатного) та лимоннокислого (цитратного) комплексів. Вказати зовнішні ознаки цих реакцій.

Дослід 7. Гідратна ізомерія комплексних сполук

Хром (III) хлорид $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ утворює ізомери різного кольору: $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ – синьо-фіолетовий; $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ – темно-зелений; $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – світло-зелений, і стан рівноваги у розчинах значною мірою залежить від температури.

Розчинити у воді кілька кристалів $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і відзначити колір розчину. Нагріти одержаний розчин. Як зміниться його забарвлення? Чим це пояснюється? Написати координаційні формули фіолетової та зеленої модифікації кристалогідратів $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Лабораторна робота № 3

Властивості комплексних сполук та їх залежність від будови.

Стійкість комплексів

Питання та вправи для підготовки

1. Електростатична модель утворення хімічного зв'язку в КС. 2. Метод валентних зв'язків. 3. Які комплекси називають внутрішньо–орбітальними, низькоспіновими, діамагнітними? Навести конкретні приклади. 4. Які комплекси називають зовнішньо–орбітальними, високоспіновими, парамагнітними? Навести конкретні приклади. 5. З якими центральними атомами комплекси будуть парамагнітними незалежно від сили поля лігандів? Відповідь мотивувати конкретними прикладами. 6. З якими центральними атомами комплекси є діамагнітними незалежно від сили поля лігандів? Відповідь мотивувати конкретними прикладами. 7. Теорія кристалічного поля. Енергія розщеплення. 8. Спектрохімічний ряд лігандів. 9. Визначити тип гібридизації атомних орбіталей центрального атома та геометричну конфігурацію комплексів: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$, $[\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Sb}(\text{OH})_6]^-$. 10. Визначити тип гібридизації атомних орбіталей центрального атома та геометричну конфігурацію комплексів: $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, $[\text{TiF}_6]^{2-}$, $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$, $[\text{BrO}_2\text{F}_2]^-$, $[\text{SOF}_5]^-$, $[\text{IOF}_4]^-$. 11. Визначити тип гібридизації у комплексах з монодентатними лігандами та їх просторову будову: $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{As}(\text{Cl})\text{F}_3]^-$, $[\text{ClO}_2\text{F}_2]^+$, $[\text{AsS}_4]^{3-}$, $[\text{IO}_3\text{F}_2]^-$, $[\text{As}(\text{OH})\text{F}_5]^-$. 12. Визначити тип гібридизації центрального атома в КС з бідентатними

лігандами та їх просторову будову: $[\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$, $[\text{Fe}(\text{en})_3]^{2+}$, $[\text{Zn}(\text{en})_3]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COO})_2]$. 13. Використовуючи правило Сіджвіка, вказати хімічні формули карбонілів Мангану, Феруму, Кобальту та Ніколу. 14. За допомогою МВЗ пояснити магнітні властивості комплексних іонів $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{NiCl}_4]^{2-}$, $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$. 15. Трансвплив лігандів, правило трансвпливу.

Хід виконання роботи

Дослід 1. Координаційні сполуки в реакціях обміну

В одну пробірку внести 2-3 краплі свіжоприготовленого розчину солі FeSO_4 , а в другу – 2-3 краплі розчину солі FeCl_3 . У першу пробірку додати 2-3 краплі розчину $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, а в другу – 2-3 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Вміст пробірок розбавити дистильованою водою. Який колір осадів і як вони називаються? Написати рівняння реакцій. (Звернути увагу, що в обох випадках склад один і той же – $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.) Вказати умови, ознаки, тип реакцій.

Дослід 2. Координаційні сполуки в окисно-відновних реакціях

2.1. Відновлення калій гексаціаноферату (III)

Помістити у пробірку 8-10 крапель 0,1н розчину KI , 6-7 крапель HCl і 5-6 крапель бензену. Відзначити, що бензен залишився безбарвним. Додати один мікрошпатель кристалів солі $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і перемішати розчин скляною паличкою. За зміною забарвлення бензену переконались, що виділився вільний йод. Написати рівняння реакції, в результаті якої $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ переходить в $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. (Кислоту у рівняння реакції не записувати!)

2.2. Відновлення срібла із його комплексного амоніаку

У пробірку до розчину аргентум нітрату додати розчин натрій хлориду. Отриманий осад розчинити в 25%-ному розчині амоніаку. Внести в пробірку металічний цинк. Через певний час спостерігати відновлення срібла. Написати рівняння реакцій. Чому цинк витісняє срібло з діамінаргентум (I) іону? Відповідь аргументувати константами нестійкості відповідних іонів. Вказати умови, ознаки, тип реакції.

2.3. Окиснення калій гексаціаноферату (II)

Внести у пробірку 5 крапель KMnO_4 , 1-2 краплі розчину H_2SO_4 і додати 5 крапель розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Спостерігати знебарвлення розчину KMnO_4 . Написати рівняння реакції утворення $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Які властивості має гексаціаноферат (II) іон?

Дослід 3. Дослідження стійкості координаційних сполук та умов їх руйнування

3.1. Порівняння стійкості комплексних іонів

У двох пробірках одержати осад AgCl . Додати по краплях в одну пробірку 25%-ний розчин амоніаку, а в другу – 1н розчин $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до повного розчинення осадів у обох пробірках. У обидві пробірки додати по дві краплі 0,1н розчину калій йодиду і злегка їх струсити. Із якого розчину випадає осад аргентуму йодиду, а який не зникає при струшуванні? Написати рівняння реакцій утворення відповідних координаційних сполук, електролітичної дисоціації та вирази констант нестійкості. Скласти рівняння реакції руйнування одного із комплексних іонів. Користуючись величинами констант нестійкості одержаних комплексних іонів, пояснити, який з них є більш міцним. Порівнюючи значення K_n обох комплексних іонів із ДР (AgI), пояснити причину руйнування одного з них.

3.2. Руйнування координаційної сполуки шляхом осадження комплексоутворювача

Внести у пробірку 5-7 крапель CuSO_4 і додати по краплях 2 н розчин амоніаку до випадання осаду $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$. Звернути увагу на забарвлення цього осаду. Одержаний осад розчинити у надлишку розчину амоніаку. Яке забарвлення має розчин координаційної сполуки $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$? До цього розчину додати 2-3 краплі розчину $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Спостерігати випадання осаду CuS . Написати рівняння реакції утворення координаційної сполуки та її руйнування при взаємодії із $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Користуючись величинами K_n і ДР, пояснити, як впливає наявність іонів S^{2-} на дисоціацію комплексного іону. Вказати ознаки цих реакцій.

3.3. Руйнування координаційної сполуки внаслідок утворення більш міцного комплексного іону

Одержати розчин діамінаргентум (I) хлориду, як описано у попередніх дослідах. До розчину координаційної сполуки додати 2 н розчин нітратної кислоти до випадання осаду AgCl . Написати рівняння відповідної реакції. Чому при цьому знову випадає в осад AgCl ? Як впливає на рівновагу дисоціації комплексного іону Аргентуму утворення більш стійкого комплексного іону NH_4^+ ?

3.4. Реакції обміну комплексоутворювача

У пробірку помістити 2 краплі 1н розчину кобальт (II) хлориду і додати 5–10 крапель концентрованої хлоридної кислоти до появи синьо-фіолетового забарвлення, зумовленого утворенням комплексного іону $[\text{CoCl}_4]^{2-}$. Потім в пробірку додати 2 краплі

концентрованого розчину цинк сульфату до появи рожевого забарвлення. Чим зумовлене рожеве забарвлення розчину?

Написати рівняння реакцій в молекулярному та іонному вигляді.

В іншу пробірку налити 2 краплі розчину цинк сульфату та додати декілька крапель концентрованого розчину амоніаку. Відмітити забарвлення розчину. Потім в пробірку додати 2–3 краплі 1н розчину купрум сульфату до появи синього забарвлення. Чим воно зумовлене? Написати рівняння відповідних реакцій.

3.5. Реакції обміну лігандами

У 4 пробірки налити по 1 мл розчину ферум (III) хлориду. В 1–шу додати 1 мл дистильованої води, в 2–гу – 1 мл розчину натрій флуориду, в 3–тю – 1 мл розчину калій тартрату (двозарядний аніон винної кислоти $\text{HCOO}^- - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{COO}^-$, є тридентатним лігандом), у 4–ту – 1 мл розчину калій оксалату. При складанні формул комплексів врахувати, що координаційне число феруму (III) становить 6. Спостереження оформити у таблиці 2.

Таблиця 2

№	Реагент	Колір вмісту пробірки	Формула та будова комплексу
1	Вода		
2	Натрій флуорид		
3	Калій тартрат		
4	Калій оксалат		

Дослід № 4. Порівняння констант дисоціації комплексних сполук

Налити у пробірку 2-3 мл розчину аргентум нітрату і додати 2-3 мл розчину калій хлориду. Збовтати осад, що утворився, і долити розчин амоніаку до розчинення осаду. Яка речовина утворилася? Розлити утворений розчин порівну у дві пробірки. В одну з них долити розчин калій іодиду, а в другу – амоній сульфід до утворення осадів. В обидві пробірки долити розчин натрій тіосульфату і збовтати. Який осад розчиняється? Скласти рівняння реакцій і пояснити низку проведених дослідів, користуючись табличними значеннями добутку розчинності та констант дисоціації сполук Аргентуму.

Дослід № 5. Взаємозв'язок забарвлення і електронної структури комплексних сполук

5.1. Вплив будови 3d-електронної оболонки на величину розщеплення d-рівнів центрального іона полем одного і того ж ліганда

Налити у пробірки приблизно однакову кількість води і додати сухі солі – манган сульфат, ферум (II) сульфат (краще – сіль Мора), нікол сульфат, кобальт сульфат, купрум сульфат, цинк сульфат. В отриманих розчинах утворюються аквакомплекси, які мають однакову координацію (октаедричну), але різне забарвлення. Відзначити забарвлення розчинів.

Воно вказує на різну величину розщеплення терма, яка залежить від природи центрального атома. Записати електронні конфігурації центральних іонів відповідних аквакомплексів.

5.2. Вплив сили поля лігандів на величину розщеплення d-рівнів (для одного і того ж іона – комплексоутворювача в октаедричній координації лігандів)

У чотири пробірки налити насичений розчин кобальт хлориду. Потім у першу пробірку додати воду, в другу – концентрований розчин натрій ацетату, в третю – розчин амоніаку, і в останню – концентрований розчин натрій нітрату. Утворені комплексні іони кобальту мають різне забарвлення: рожеве, яскраво-рожеве, брудно-рожеве, оранжеве.

У перших обох випадках ліганд приєднується через Оксиген, в інших – через Нітроген. В останньому випадку поле лігандів більш сильне.

5.3. Вплив координації лігандів на величину розщеплення d-рівнів центрального іона

У попередньому досліді іон кобальту утворював комплекси з октаедричною координацією. Комплекси мали різні відтінки рожевого забарвлення. З іншими лігандами можна отримати комплексні іони кобальту з тетраедричною координацією. У цьому випадку розщеплення буде менше, і розчини набувають іншого забарвлення.

До розчину кобальт хлориду в окремих пробірках додати розчини солей, які містять хлорид-іони, тіоціанат-іони, тіосульфат-іони. Відзначити забарвлення розчинів відповідних комплексів Кобальту.

5.4. Вплив ступеня окиснення центрального атома на розщеплення d-рівнів

Вплив цього фактора на забарвлення солей можна проілюструвати на прикладі комплексів ферум (II) і ферум (III) з однаковими лігандами.

Порівняти забарвлення сухих солей $K_3[Fe(CN)_6]$ та $K_4[Fe(CN)_6]$ – червона і жовта кров'яна солі.

Лабораторна робота № 4

Встановлення координаційної формули сполук

за даними електропровідності

Завдання. Встановити склад внутрішньої та зовнішньої координаційної сфери для координаційних сполук заданого складу.

Хід виконання роботи

На початку роботи необхідно виміряти опір розчинника. Останній об'ємом 15 мл поміщають в електрохімічну комірку (рис. 1.1), приєднують її до приладу і проводять вимірювання згідно з інструкцією з експлуатації омметра.

Після цього у комірку додають 15 мл свіжоприготовленого 0.1 М розчину досліджуваної речовини і проводять перший вимір. Усі виміри виконуються при 25°C. Кожний наступний вимір здійснюється після додавання 5 мл розчинника і ретельного перемішування розчину. Після

того, як об'єм розчину досягне 100 мл, розчинник додають порціями по 10 мл. Дані вимірів заносять у таблицю 3.

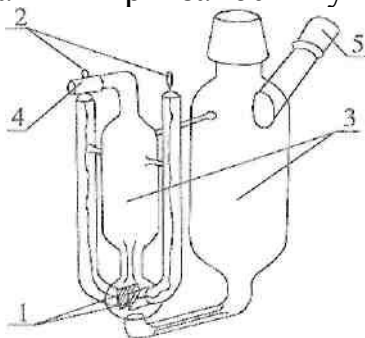


Рис. 1.1. Електрохімічна комірка для вимірювання електропровідності розчинів: 1 – платинові електроди; 2 – провідники (мідь); 3 – посудина для розчинів; 4, 5 – отвори для інертного газу.

Використовуючи виміряні значення опору R , необхідно розрахувати питому електропровідність χ і концентрації розчинів C_m на кожному етапі вимірювання з розрахунку, що вихідний розчин (об'єм 15 мл) містить 0,0015 моль речовини:

$$\chi = \frac{L}{RS} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}, \text{ де } \left(\frac{L}{S} \right) - \text{константа комірки,} \quad (1.1)$$

$$C_m = \frac{1.5}{V}, \text{ де } V - \text{загальний об'єм розчину (мл).} \quad (1.2)$$

Константа комірки визначається на основі вимірювання електропровідності розчинів KCl. Значення питомої електропровідності 0,02н розчину KCl за температури 18°C дорівнює 0,002501 Ом⁻¹см⁻¹. Молярна електропровідність μ розчину координаційної сполуки розраховується за формулою:

$$\mu = \frac{1000(\chi - \chi_{p-ка})}{C_m} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}, \quad (1.3)$$

де $\chi_{p-ка}$ розраховується за формулою для питомої електропровідності.

Отримані результати заносять в електронну таблицю програми Excel (нижче наведено таблицю 1.1.), проводять у цій програмі математичну обробку одержаних експериментальних даних і будують графік у координатах $\mu - \sqrt{C_m}$. Екстраполяцією на нульову концентрацію комплексу знаходять значення молярної електропровідності, визначають тип електроліту і склад внутрішньої і зовнішньої сфери комплексу.

Нижче наведено приклад визначення електропровідності розчину $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, результати якого (табл. 4, рис. 1.) показали, що $\mu=358\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}$, тобто досліджена сполука є електролітом типу 1:3.

Таблиця 3

	A	B	C	D	E	F
1	$V, \text{мл}$	$R, \text{Ом}$	$C_m, \text{моль/л}$	$\sqrt{C_m}$	$\chi, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	$\mu,$ $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$
2						
3						

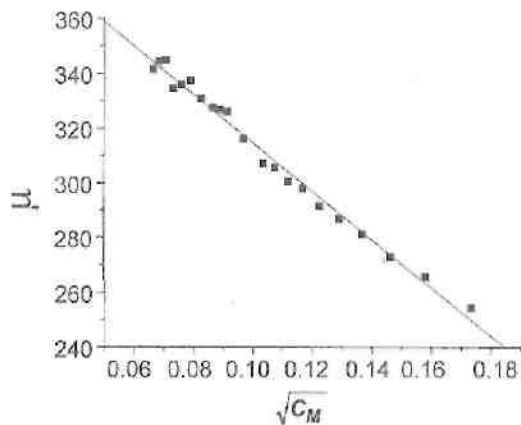


Рис. 1.2. Графік залежності молярної електропровідності розчину $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ від його концентрації

Таблиця 4
Результати вимірювання і розрахунків в електронній таблиці Excel молярної електропровідності розчину $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$

	A	B	C	D		E	F
1	$V, \text{мл}$	$R, \text{Ом}$	$C_M, \text{моль/л}$	$\sqrt{C_M}$	$\chi, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	$\mu,$ $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{моль}^{-1}$	
2	25	47	0.03	0.173	0.0068	225	
3	30	54	0.025	0.158	0.0059	235.1	
4	35	61.3	0.0214	0.146	0.0052	241.6	
5	40	68	0.0187	0.137	0.0047	248.9	
6	45	75	0.0166	0.129	0.0042	253.9	
7	50	82	0.015	0.122	0.0039	258.1	
8	55	88.3	0.0136	0.117	0.0036	263.6	
9	60	95.5	0.0125	0.112	0.0033	265.9	
10	65	101.7	0.0115	0.107	0.0031	270.5	
11	70	109	0.0107	0.103	0.0029	271.8	
12	75	117	0.01	0.100	0.0027	271.3	
13	30	121	0.0094	0.097	0.0026	279.8	
14	85	122	0.0088	0.094	0.0026	294.8	
15	90	132	0.0083	0.091	0.0024	288.5	
16	95	139	0.0079	0.089	0.0023	289.2	
17	100	146	0.0075	0.086	0.0022	289.9	
18	110	159	0.0068	0.082	0.0020	292.8	
19	120	170	0.0063	0.079	0.0019	298.7	
20	130	185	0.0058	0.076	0.0017	297.4	
21	140	200	0.0054	0.073	0.0016	296.2	
22	150	208	0.005	0.07	0.0015	305.2	
23	160	222	0.0047	0.068	0.0014	305.0	
24	170	238	0.0044	0.066	0.0013	302.3	

Семінар
Розв'язування вправ та задач

Вправи та задачі для підготовки

1. Для наведеної комплексної сполуки вказати її назву, заряд і координаційне число комплексоутворювача, заряд лігандів: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{Cl}_2$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]\text{Cl}_3$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{Br}_3$, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. Дати класифікацію сполуки за належністю до класу сполук, за зарядом комплексного іону, за природою лігандів.
2. Для наведеної комплексної сполуки вказати її назву, заряд і координаційне число комплексоутворювача, заряд лігандів: $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{H}[\text{AuCl}_4]$, $\text{K}_2[\text{Hg}(\text{SO}_3)_2]$, $\text{K}_3[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]$, $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$, $\text{Ca}[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]_2$, $\text{Na}_3[\text{IrCl}_2(\text{NO}_2)_4]$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$. Дати класифікацію сполуки за належністю до класу сполук, за зарядом комплексного іону, за природою лігандів.
3. З частинок Hg^{2+} , NH_3 , Γ^- і K^+ можна скласти 5 координаційних формул комплексних сполук Меркурію. Навести формули даних сполук, врахувавши, що координаційне число Меркурію дорівнює чотирьом. Назвати ці сполуки.
4. Поєднанням частинок Co^{3+} , NH_3 , NO_2^- , K^+ можна скласти формули семи комплексних сполук з координаційним числом комплексоутворювача, що дорівнює 6. Написати ці формули, назвати ці сполуки.
5. З частинок Fe^{3+} , H_2O , CN^- , Na^+ можна скласти формули семи комплексних сполук. Написати їх формули і дати назви.
6. Поєднанням частинок Ni^{2+} , NH_3 , Cl^- , Na^+ можна скласти формули п'яти комплексних сполук з координаційним числом комплексоутворювача, що дорівнює 4. Написати ці формули, назвати ці сполуки.
7. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук: калій диціаноаргентат (I); калій гексанітрокобальтат (III); гексааміннікол (II) хлорид; гексаамінкобальт (III) бромід; калій пентахлороакваіндат (III); натрій тетратіостанат (IV); тетраамінпаладій (II) тетрахлоропаладат (II); амоній гексахлорованадат (III).
8. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук: калій гексафлуорованадат (V); калій ди(ціано–C)аурат (I); алюміній тетрагідридоборат (III); калій тетрагідроксоаурат (III); натрій тетранітродихлорородат (III); гексаціанофератна (III) кислота; тетракіс (тримолібдато) ортофосфатна кислота; калій діакватетраціанохромат (III); дихлорокарбонілпіридинплатина.
9. Скласти координаційні формули наступних КС: калій тетрафлуороборат (III); калій трихлородибромойодогафнат (IV); ферум гекса(ціано–N)ферат (III); тетраамінпаладій (II) тетрахлоропаладат (II); тетрафлуоробром (V) флуорид; триаміндіаквахлороїридій (III) хлорид; дихлоройод (III) хлорид; тетрааміндибромкобальт (III) бромід; діацетатодипіридинцинк.
10. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук: діамінпіридинплатина (II) хлорид; тетрапіридинцинк гідроксид;

гексаамінхром (III) нітрат; гексафлуорохлор (VII) флуорид; триамінтринітрокобальт; триакватрихлорохром; дібензенхром; діаміндихлороплатина (II); пентакарбонілферум; триоксофлуорохлор.

11. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук: динітротетраамінкобальт (III) нітрат; дигідроксотетрааквахром; динітротетраамінкобальт (III) нітрат; гексаціанофератна (II) кислота; натрій бромонітрохлороамінпаладат (II); динітротетрапіридиніридій (III) динітроаргентат (I); оксоній трифлуорогідроксоборат (III); амінбромонітрохлоро(етилендіамін)платина (IV) хлорид; тетрааквадихлорохром (III) хлорид.

12. Скласти формули комплексних катіонів: пентааквахлорохром (III); пентааміннітратокобальт (III); біс(етилендіамін)оксалатохром (III); трис(етилендіамін)купрум (II); пентаамінперхлоратокобальт (III); триакватриамінкобальт (III); тетрааміндихлороплатина (IV); тетрааквадибромоцирконій (IV); гексааміннікол (II); біс(етилендіамін)дихлороіридій (III); пентааміннітратоіридій (III).

13. Скласти формули комплексних аніонів: ди(карбамід)трихлорокупрат (II); діамінтетратіоціанатохромат (III); тетрааквадикарбонатніколат (II); дигідроксодіоксалатохромат (III); тетранітромеркуріат (II); гексагідроксоплюмбат (IV); дигідроксодіоксалатоманганат (IV); пентафлуорогідроксоарсенат (V); тетра(ціано-С)аурат (III); дигідроксотетрафлуоростибат (V).

14. Дати назви, визначити заряди комплексів, координаційне число та ступінь окиснення комплексоутворювачів наступних комплексних сполук: $K_2[Sn(OH)_4]$, $[Cr(H_2O)_5Cl](NO_3)_2$, $[Co(NH_3)_3F_3]$, $H_3[AuCl_6]$, $Na[Co(NH_3)_2(NO_2)_4]$, $K_6[Cu(P_2O_7)_2]$, $[Ru(H_2O)_2(NO_2)_4]$, $K_3[W(CN)_8]$, $Na_2[Be(OH)_4]$, $[Co(H_2O)_2(NH_3)_3Cl][Pt(CN)_4Cl_2]$, $Na_4[Si(Mo_2O_7)_4]$, $[(NH_3)_5Co(O_2)Co(NH_3)_5]Cl_5$.

15. Розрахувати концентрацію Ag^+ в 0,01 М розчині $[Ag(NH_3)_2]NO_3$, що містить 2 моль/л надлишкового амоніаку ($K_H([Ag(NH_3)_2]^+) = 5,7 \cdot 10^{-8}$).

16. Чи відбудеться осадження $AgCl$ при зливанні 0,01 М розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$, що містить 2 моль/л надлишкового амоніаку, з рівним об'ємом 0,5 М розчину KCl , якщо при 298 К $DP(AgCl) = 1,73 \cdot 10^{-10}$, $K_H[Ag(NH_3)_2]^+ = 5,7 \cdot 10^{-8}$.

17. При якій концентрації іонів S^{2-} почнеться випадання осаду CdS з 0,6 М розчину $Na_2[Cd(CN)_4]$, що містить 0,04 моль/л $NaCN$, якщо $DP(CdS) = 7,9 \cdot 10^{-27}$, $K_H[Cd(CN)_4]^{2-} = 1,4 \cdot 10^{-19}$.

18. Скільки грамів срібла міститься у вигляді іонів у 0,04 М розчині $K[Ag(CN)_2]$, що містить в надлишку 1,3 г KCN в 1 л розчину. ($K_H([Ag(CN)_2]^-) = 1,4 \cdot 10^{-20}$.)

19. Чи відбудеться осадження меркурій (II) сульфід, якщо до 1 л 0,3 М розчину $K_2[HgI_4]$, що містить в надлишку 0,01 моль KI , додати $1 \cdot 10^{-4}$ моль K_2S ? ($DP(HgS) = 1,6 \cdot 10^{-52}$, $K_H([HgI_4]^{2-}) = 1,5 \cdot 10^{-31}$.)

20. При якій концентрації хлорид-іонів почнеться випадання осаду $AgCl$ з 0,6 М розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$, що містить 1,2 моль/л надлишку NH_3 , якщо $DP(AgCl) = 1,73 \cdot 10^{-10}$, $K_H([Ag(NH_3)_2]^+) = 5,7 \cdot 10^{-8}$.

21. Константа нестійкості йону $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 1 \cdot 10^{-21}$. Розрахувати концентрацію йонів Аргентуму в 0,05 М розчині $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$, який містить, крім того, 0,01 моль/дм³ KCN.
22. Константи нестійкості йонів $K_{\text{н}}([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) = 1,4 \cdot 10^{-19}$, $K_{\text{н}}([\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}) = 3,0 \cdot 10^{-16}$, $K_{\text{н}}([\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}) = 4,0 \cdot 10^{-14}$. У розчині якої комплексної сполуки буде міститись більше йонів CN^- при однаковій молярній концентрації комплексних йонів?
23. Розрахувати концентрацію йонів Кадмію в 0,01 М розчині $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$, який містить, крім того 6 г/дм³ KCN ($K_{\text{н}}([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) = 1,4 \cdot 10^{-19}$).
24. Обчислити концентрації йонів $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ та $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]^{3+}$ у 0,01 М розчині солі, вважаючи, що дисоціація відбувається переважно за першою стадією (ступінчаста константа стійкості $\beta_6 = 2,5 \cdot 10^4$).
25. Обчислити розчинність AgI в 2,5 М розчині амоніаку. ($\text{ДР}(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$, $K_{\text{н}}([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 5,7 \cdot 10^{-8}$).
26. Калій тіоціанат часто використовують для спектрофотометричного визначення йонів Fe^{3+} у вигляді комплексного іона $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$. Якою буде концентрація Fe^{3+} у розчині, якщо змішати 0,5 л 0,0015 М розчину $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ і 0,5 л 0,2 М розчину KSCN? ($\beta = 8,9 \cdot 10^2$).
27. Визначити концентрацію йонів $[\text{Zn}^{2+}]$, $[\text{CN}^-]$ і $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ у розчині, який був одержаний при розчиненні 0,82 г ZnCl_2 в 1 л 0,15 М розчину NaCN. ($\beta_4 = 4,2 \cdot 10^{19}$).
28. За якої концентрації амоніаку $[\text{Ag}^+] = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Ni}^{2+}] = [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$? ($K_{\text{н}}([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 5,7 \cdot 10^{-8}$, $K_{\text{н}}([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 1,9 \cdot 10^{-9}$).
29. Константа дисоціації йонів $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ дорівнює $2,1 \cdot 10^{-13}$. Визначити концентрацію йонів Купруму в 0,05 М розчині $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, який містить 0,03 моль NH_3 .
30. Чи випаде осад кадмій сульфід, якщо до 0,1 М розчину $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ долити рівний об'єм 0,1 М розчину Na_2S ? ($\text{ДР}(\text{CdS}) = 7,9 \cdot 10^{-27}$, $K_{\text{н}}[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 1,4 \cdot 10^{-19}$.)
31. Визначити можливість дисоціації комплексних йонів $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$, виходячи із зміни енергії Гіббса. $K_{\text{н}}[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} = 1,4 \cdot 10^{-19}$ при 25°C.
32. У скільки разів зменшиться концентрація йонів Аргентуму (I), якщо до 0,1 М розчину $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ долили таку кількість NH_3 , що рівноважна концентрація амоніаку в розчині стала дорівнювати 0,1 М?
33. Чи випаде в осад аргентум (I) йодид, якщо змішати рівні об'єми 0,1 М розчинів $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ та AgNO_3 . ($K_{\text{н}}([\text{HgI}_4]^{2-}) = 1,5 \cdot 10^{-31}$, $\text{ДР}(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$).
34. Визначити концентрацію йонів Cu^{2+} у 0,1 М розчині $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$. Чи можна з цього розчину осадити лугом купрум (II) гідроксид чи купрум (II) сульфід натрій сульфідом? Відповідь обґрунтуйте відповідними розрахунками, враховуючи добутки розчинності $\text{Cu}(\text{OH})_2$ і CuS та константу нестійкості йонів $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$.
35. До розчинів $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ та $[\text{Ni}(\text{CN})_4]\text{SO}_4$ долили розчин Na_2S . Чи випаде осад нікол (II) сульфід?
36. Чи випаде осад аргентум (I) галогеніду при доливанні до 1 л 0,1 М розчину $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$, який містить 1 моль/л аміаку: а) $1 \cdot 10^{-5}$ моль KBr; б) $1 \cdot 10^{-5}$ моль KI?

37. Чи можна за допомогою 0,001 М розчину натрій сульфїду осадити FeS з розчину, концентрація якого 0,01 М за $K_4[Fe(CN)_6]$ та 0,01 М за KCN? ($DP(FeS) = 5 \cdot 10^{-18}$, $K_n([Fe(CN)_6]^{4-}) = 1 \cdot 10^{-24}$).
38. У розчині якої комплексної сполуки – $K_2[CdI_4]$ чи $K_2[Cd(CN)_4]$ з однаковою концентрацією, що становить 0,1 моль/л, – міститься більша кількість іонів Cd^{2+} ? ($K_n(CdI_4]^{2-}) = 8 \cdot 10^{-7}$, $K_n(Cd(CN)_4]^{2-}) = 1 \cdot 10^{-17}$). Відповідь підтвердити розрахунками.
39. Чи буде випадати в осад $CdCO_3$, якщо до 500 мл 0,02 М розчину $[Cd(NH_3)_4]SO_4$, який містить надлишок 0,2 моль NH_3 , додати 250 мл 0,001 М розчину Na_2CO_3 ? ($K_n(Cd(NH_3)_4]^{2+}) = 8 \cdot 10^{-8}$, $DP(CdCO_3) = 2,5 \cdot 10^{-14}$).
40. У якому розчині міститься більша кількість іонів CN^- : у 200 мл 0,1 М розчину $K[Au(CN)_2]$ чи у 0,5 л 0,01 М розчину $K_2[Hg(CN)_4]$? Константи нестійкості взяти з довідника.
41. Яка кількість іонів Hg^{2+} міститься в 0,2 л 0,1 М розчину $K_2[HgI_4]$? Чи зміниться концентрація іонів Hg^{2+} при додаванні до цього розчину 0,585 г $NaCl$? Константи нестійкості взяти з довідника.
42. Яка маса іонів Hg^{2+} міститься в 100 мл 0,01 М розчину $K_2[HgI_4]$? Як зміниться концентрація іонів Hg^{2+} (та їх маса) при додаванні до цього розчину 0,45 г NaI ?
43. Яка кількість іонів Zn^{2+} міститься в 0,5 л 0,05 М розчину $K_2[Zn(CN)_4]$? Як зміниться концентрація іонів Zn^{2+} при додаванні 0,05 моль KCN ($\alpha = 85\%$).
44. Написати рівняння реакцій за схемою: $Ag \rightarrow AgNO_3 \rightarrow AgCl \rightarrow [Ag(NH_3)_2]^+ \rightarrow AgI \rightarrow [Ag(CN)_2]^- \rightarrow Ag_2S$.
45. Написати реакції одержання КС: $Na_2[Zn(OH)_4]$, $K_3[Fe(CN)_6]$, $[Cu(NH_3)_4]SO_4$, $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$, $Na_3[Co(NO_2)_6]$.
46. Встановити, у яких випадках відбувається взаємодія між розчинами вказаних електролітів, написати рівняння реакцій в молекулярній та йонній формі: $K_2[HgI_4] + KBr \rightarrow$; $K_2[HgI_4] + KCN \rightarrow$; $[Ag(NH_3)_2]Cl + K_2S_2O_3 \rightarrow$; $K[Ag(CN)_2] + K_2S_2O_3 \rightarrow$.
47. Чи можуть берилій і магній утворювати октаедричні комплекси?
48. Чи можуть іони Ni^{2+} утворювати внутрішньо-орбітальні октаедричні комплекси?
49. За допомогою МВЗ пояснити утворення комплексів: $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$, $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$, $[Co(NO_2)_6]^{3-}$, $[Ag(NH_3)_2]^+$, $[PtCl_4]^{2-}$, $[NiCl_4]^{2-}$.
50. Закінчити рівняння реакцій: $Cr_2(SO_4)_3 + KOH \rightarrow \dots$; $CoCl_2 + NH_3 \rightarrow \dots$; $K_4[Fe(CN)_6] + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow \dots$; $AgI + Na_2S_2O_3 \rightarrow \dots$; $BeSO_4 + KOH \rightarrow \dots$
51. Закінчити рівняння реакцій: $K[Au(CN)_2] + Zn \rightarrow \dots$; $AlCl_3 + NaOH \rightarrow \dots$; $NiSO_4 + NH_3 \rightarrow \dots$; $Ag + KCN + O_2 + H_2O \rightarrow \dots$; $ZnO + KOH + H_2O \rightarrow \dots$
52. Закінчити рівняння реакцій: $Au + HNO_3 + HCl \rightarrow \dots$; $[Co(NH_3)_6]Cl_2 + HCl \rightarrow \dots$; $FeSO_4 + K_3[Fe(CN)_6] \rightarrow \dots$; $SnSO_4 + KOH \rightarrow \dots$; $SnO + Cl_2 + HCl \rightarrow \dots$
53. Закінчити рівняння реакцій: $CuOH + NH_3 \rightarrow \dots$; $HgI_2 + KI \rightarrow \dots$; $K_4[Fe(CN)_6] + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow \dots$; $FeCl_2 + KCN \rightarrow \dots$; $Zn(OH)_2 + NH_3 \rightarrow \dots$
54. Закінчити рівняння реакцій: $Bi(NO_3)_3 + KI \rightarrow \dots$; $Na[Cu(CN)_2] + Zn \rightarrow \dots$; $[Co(NH_3)_6]SO_4 + KCN \rightarrow \dots$; $Pb(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow \dots$; $CrCl_3 + KCN \rightarrow \dots$
55. Закінчити рівняння реакцій: $Be + KOH + H_2O \rightarrow \dots$; $CuBr + Na_2S_2O_3 \rightarrow \dots$; $AgBr + NH_3 \rightarrow \dots$; $HgSO_4 + Na_2S_2O_3 \rightarrow \dots$; $Pt + HNO_3 + HCl \rightarrow \dots$

56. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $[\text{Fe}(\text{CO})_5] + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Fe}(\text{CO})_4]^{2-} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{HgCl}_2 + \text{I}^- \rightarrow [\text{HgI}_4]^{2-} + \text{Cl}^-;$
 $\text{BeO} + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-};$
 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{NH}_4^+ + \text{CO};$
 $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}.$
57. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $\text{AgBr} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{Br}^-;$
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5(\text{SCN})]^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{PtCl}_4]^{2-} + \text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Pt}(\text{N}_2\text{H}_4)_2]^{2+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{NH}_4^+ + \text{NH}_3 + \text{Cl}^- + \text{O}_2 \rightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]^{2+} + \text{H}_2\text{O}.$
58. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Ni}(\text{CN})_6]^{4-} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + \text{MnO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{Mo} + \text{NO}_3^- + \text{HF} \rightarrow [\text{MoF}_8]^{2-} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Hg}(\text{H}_2\text{O})_3]^- + \text{I}^- \rightarrow [\text{HgI}_4]^{2-} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{FeS} + \text{CN}^- \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + \text{S}^{2-}.$
59. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $[\text{Pt}(\text{NH}_2\text{OH})_4]^{2+} + \text{Br}_2 \rightarrow [\text{PtBr}_6]^{2-} + \text{N}_2 + \text{H}_3\text{O}^+;$
 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{SnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-};$
 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} + \text{NH}_4^+;$
 $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-} + \text{H}_2\text{O}.$
60. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $\text{Cr} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{O}_2 \rightarrow [\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{PbO}_2 + [\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-} + \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{BiI}_3 + \text{I}^- \rightarrow [\text{BiI}_6]^{3-};$
 $[\text{PtCl}_6]^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow [\text{PtCl}_4]^{2-} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+.$
61. Урівняти рівняння реакцій та написати їх в молекулярному вигляді:
 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{OH}^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-} + \text{H}_2\text{O};$
 $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} + \text{CN}^- \rightarrow [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \text{S}_2\text{O}_3^{2-};$
 $\text{Ag} + \text{CN}^- + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \text{OH}^-;$
 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{CN}^- \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + \text{H}_2\text{O};$
 $\text{Ag}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{NH}_4^+ + \text{HPO}_4^{2-} + \text{OH}^-.$

РОЗДІЛ 2
СИНТЕЗИ КОМПЛЕКСНИХ СПОЛУК
ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СИНТЕЗУ

1. Рівняння реакції:

1. Методика синтезу:

Основні етапи синтезу:

- синтез;
- виділення речовини.

2. Розрахунки експерименту:

3. Вихід одержуваної речовини:

- теоретичний вихід:

за методикою: –

за керівництвом: –

- практичний вихід: (розраховується після синтезу, виділення та висушування КС)

4. Кількості вихідних речовин:

Речовина	M, г/моль	За рівнянням реакції		За методикою		За керівництвом		Надлишок	
		г (мл)	моль	г (мл)	моль	г(мл)	моль	%	моль

5. Властивості одержуваної речовини:

Речовина	M, г/ моль	K _n	β	зabarвлення	розчинність	стійкість

7. Ідентифікація синтезованої КС:

- ідентифікація іонів зовнішньої сфери;
- ідентифікація комплексоутворювача;
- ідентифікація лігандів (по можливості).

8. Висновок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Навести рівняння реакції та основні етапи синтезу заданої координаційної сполуки.

2. Навести реакції, за якими можна ідентифікувати складові частини заданої сполуки.

3. Яких правил техніки безпеки необхідно дотримуватись при проведенні синтезу?

4. Для заданої КС вказати: внутрішню сферу, іони зовнішньої сфери, їх заряди, комплексоутворювач, його заряд та координаційне число, ліганди та їх дентатність.

5. Дати характеристику КС за належністю до певного класу сполук, за зарядом комплексу, за природою лігандів.

6. Написати рівняння первинної та вторинної дисоціації КС. Яка кількість іонів утворюється при первинній дисоціації КС?

7. Скільки іонів утворюється при вторинній дисоціації комплексу?

8. Записати вираз для константи нестійкості (K_n) сполуки.

8. Який тип гібридизації комплексоутворювача?

9. Яку геометричну конфігурацію має комплекс?

10. Які властивості проявляє ця КС у магнітному полі?

ПЕРЕЛІК СИНТЕЗІВ

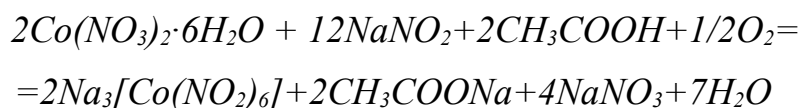
2.1. Натрій гексагідроксостанат (IV) $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$



Розчин станум (IV) хлориду в дуже розведений хлоридній кислоті нейтралізують натрій гідроксидом (без карбонатів) до від'ємної реакції по метилоранжу. Відфільтрований і промитий водою до відсутності реакції на іон Cl^- осад гідрату $\text{SnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ вносять порціями в надлишок концентрованого гарячого ($\sim 100^\circ\text{C}$) розчину натрій гідроксиду, в якому він повністю розчиняється. Через деякий час виділяється кристалічний гексагідроксостанат. Кристали фільтрують (без доступу вуглекислого газу), промивають 30% розчином лугу і декілька разів спиртом та ефіром.

Властивості: безбарвний кристалічний порошок (тонкі шестикутні пластинки); легко розчиняється у воді, причому розчинність падає із підвищенням температури. Препарат завжди містить невелику кількість адсорбованого лугу. Чутливий до дії вуглекислого газу.

2.2. Натрій гексанітритокобальтат (III) $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$



150 г натрій нітриту розчиняють в 150 мл води, розчин охолоджують до $50\text{-}60^\circ\text{C}$ (при цьому виділяється невелика кількість натрій нітриту), додають 50 г $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а потім при струшуванні порціями – 50 мл 50%-ної

ацетатної кислоти і протягом 30 хв. пропускають сильний потік повітря. Через 2 год. відфільтровують коричневий осад, причому фільтрат повинен бути прозорим. Осад перемішують з ~50 мл води (нагрітої до 70-80°C), і нерозчинений $K_3[Co(NO_2)_6]$ відфільтровують на невеликому фільтрі і фільтрати від цього і попереднього фільтрувань об'єднують. В об'єднаний розчин (~300 мл) доливають 250 мл 96%-ного спирту і залишають на декілька годин для випадання осаду, який фільтрують, промивають 4 рази 25 мл спирту, потім 2 рази ефіром і сушать на повітрі. Вихід 50-53 г (75%).

Властивості: жовтий кристалічний порошок. Добре розчиняється у воді, гірше – в спирті і ефірі. Водний розчин нестійкий, речовина розкладається на нітритну і нітратну кислоти.

2.3. Калій триоксалатохромат (III) $K_3[Cr(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$

У розчин 27 г дигідрату оксалатної кислоти і 12 г моногідрату нейтрального калій оксалату повільно при перемішуванні додають по краплях водний розчин 12 г калій біхромату. Розчин випарюють і охолоджують для кристалізації.

Властивості: темно-зелені, по краях сині кристали в формі моноклінних призм; добре розчинні у воді.

2.4. Калій триоксалатоферат (III) $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$

1-й спосіб

Змішують концентровані розчини калій оксалату і будь-якої солі Феруму (III), взяті у стехіометричних кількостях. Розчин для кристалізації поміщають в ексікатор над сульфатною кислотою. Кристали відфільтровують, промивають невеликою кількістю холодної води і висушують над сульфатною кислотою в ексікаторі. Усі ці операції треба проводити у затемненому приміщенні або при червоному освітленні.

2-й спосіб

У киплячий розчин 35 г кристалічного ферум (II) сульфату у 100 мл води додають невеликими порціями 10-15 мл концентрованої нітратної кислоти. Під час окислення виділяються нітроген оксиди, тому роботу потрібно проводити під витяжкою.

Повноту окислення перевіряють у окремій пробі розчином червоної кров'яної солі. Після цього отриманий розчин розводять до 2 л, доливають до нього надлишок аміаку (до появи слабкого запаху) і осаджений ферум (III) гідроксид промивають 5-6 разів декантацією. Після цього осад гідроксиду відфільтровують через великий паперовий складчастий фільтр і

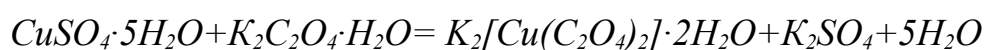
промивають декілька разів невеликою кількістю гарячої води до зникнення реакції на сульфат-іони у промивній воді. Вологий ферум (III) гідроксид вносять частинами у нагрітій до 35-40°C розчин 44 г калій оксалату в 100 мл води до тих пір, поки гідрогель не перестане розчинятися.

Розчинення гідрогелю і усі наступні операції потрібно проводити у посудинах із темного скла або пофарбованих чорною фарбою, а найкраще при червоному освітленні або у затемненому приміщенні, оскільки калій триоксалатоферат (III) чутливий до світла. Розчин утвореного калій триоксалатоферату (III) фільтрують, і фільтрат випарюють до початку кристалізації. Зелені кристали, які випадають при кристалізації, відсмоктують, промивають водою і спиртом, висушують в ексікаторі. Зберігати $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ потрібно у темних склянках.

Властивості: смарагдово-зелені кристали, світло-чутливі, розчинні у воді.

2.5. Калій диоксалатокупрат (II) $K_2[Cu(C_2O_4)_2] \cdot 2H_2O$

Оксалат-аніон як двоосновний хелатний агент реагує з багатьма іонами металів утворюючи п'ятичленні цикли:



Розчин 12,5 г (50 ммоль) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 25 мл води нагрівають до 90°C і при інтенсивному перемішуванні швидко додають нагрітій до тієї ж температури розчин 36,8 г (200 ммоль) $K_2C_2O_4 \cdot H_2O$ в 100 мл води. Суміш охолоджують на водяній бані до 10°C. Утворений осад відфільтровують, зразу ж промивають 25 мл холодної води і сушать протягом 12 год. в сушильній шафі при 50°C. Вихід 17,1 г (97%).

Властивості: розчинна в теплій воді речовина блідо-голубого кольору. У розчині повільно розкладається до CuC_2O_4 (осад), розклад пришвидшують сильні кислоти. Дуже слабо розчиняється в органічних розчинниках. Вище 150°C швидко втрачає воду, при 260°C повністю розкладається.

2.6. Калій тетратіоціанатомеркурат (II) $K_2[Hg(SCN)_4]$

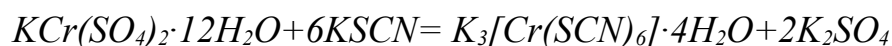


31,7 г меркурій (II) тіоціанату розчиняють в киплячому розчині калій роданіду (20 г в 100 мл води). Меркурій сульфід, який виділяється при охолодженні, відфільтровують. Фільтрат випарюють на водяній бані до початку кристалізації. Охолоджений розчин твердне після цього в біло-променево кристалічну масу. Її відділяють відсмоктуванням і висушують над P_4O_{10} .

Властивості: кристалізується у формі сліпуче білих голок. Легко розчиняється в холодній воді, спирті. Не розчиняється в абсолютному ефірі.

Аналогічно готують амоній тетрароданомеркурат $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$. Вихідні речовини – меркурій (II) роданід $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ і амоній роданід NH_4SCN .

2.7. Калій гексатіоціанатохромат (III) $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{SCN})_6] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



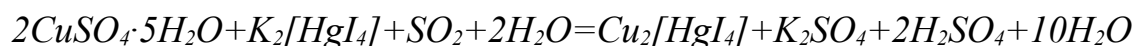
Протягом 2 год

ин нагрівають на киплячій водяній бані концентрований розчин, який містить 6 частин калій тіоціанату і 5 частин хромокалієвих галунів. Потім розчин випаровують в чашці доти, доки при охолодженні і застиганні не отримують червону кристалічну масу. Її обробляють абсолютним спиртом, в якому $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{SCN})_6]$ дуже добре розчинний, а калій сульфат нерозчинний. Після концентрування відфільтрованого спиртового розчину сіль ще декілька раз перекристалізують із спирту.

Аналогічну амонієву сіль отримують за тією ж методикою. Реакція NH_4SCN з хромамонієвими галунами починається лише після короткочасного кип'ятіння.

Властивості: блискучі кристали, у відбитому світлі темні червоно-фіолетові, а в прямому гранатово-червоні. Сіль не змінюється на повітрі і над сульфатною кислотою. Лише при 110°C відбувається втрата води. Комплексний тіоціанат розчиняється в воді (1 г на 0,72 г води) і спирті (1 г на 0,94 г спирту).

2.8. Купрум (I) тетраіодомеркурат $\text{Cu}_2[\text{HgI}_4]$



4,5 г меркурій (II) іодиду і 3,3 г калій іодиду розчиняють в 25 мл води. Розчин при потребі фільтрують, до фільтрату додають розчин, який містить 5 г купрум (II) сульфату пентагідрату в 15 мл води, і пропускають сульфур (IV) оксид. При цьому випадає світло червоний осад, який фільтрують з відсмоктуванням, промивають водою і висушують при 100°C .

Властивості: червоний кристалічний порошок або дрібні кристали у формі пластинок. При нагріванні до 70°C забарвлення змінюється на шоколадно-коричневе.

За цією ж методикою можна отримати $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$.

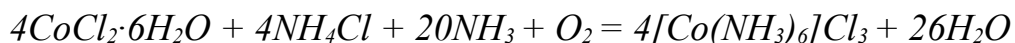
2.9. Тетраамінкупрум (II) сульфат $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

10 г подрібненого купрум сульфату розчиняють у суміші 15 мл концентрованого розчину амоніаку і 10 мл води. Розчин фільтрують, додають до фільтрату 20-30 мл етанолу і суміш охолоджують. Темно-синій кристалічний осад відфільтровують, промивають спиртом, потім сумішшю спирту з ефіром і висушують при 50-60°C.

Властивості: темно-синій кристалічний осад. На повітрі сіль стійка. При 120°C вона розкладається.

2.10. Гексаамінкобальт (III) хлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ (лутеохлорид)

1-й спосіб



До суміші 240 г кобальт (II) хлориду гексагідрату і 160 г амоній хлориду додають 200 мл води. Суміш струшують до повного розчинення, додають 4-5 г активованого вугілля, 500 мл концентрованого амоніаку і пропускають через розчин сильний струмінь повітря, доки колір розчину з червоного не стане жовто-коричневим. Потрібно, проте, регулювати швидкість струменя повітря для того, щоб не понизити вміст амоніаку в розчині. Втрати амоніаку можна компенсувати шляхом додавання концентрованого амоніаку.

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, який випав, відфільтровують разом з активованим вугіллям, осад розчиняють при нагріванні в 1-2 %-ній хлоридній кислоті. Розчин фільтрують гарячим, додають 400 мл концентрованої хлоридної кислоти і охолоджують до 0°C. Осад фільтрують, промивають 60 %-ним спиртом і сушать при 80-100°C. Вихід 85%.

2-й спосіб

Розчиняють 11 г $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в мінімальній кількості води, додають 23 мл 25%-ного розчину аміаку, 7,4 г амоній хлориду і 1 г розтертого активованого вугілля. Суміш добре збовтують і при охолодженні додають невеликими порціями 4 мл 30%-ного розчину гідроген пероксиду. Для розкладу надлишку пергідролу все це залишають стояти при кімнатній температурі або нагрівають 5 хвилин на водяній бані. Потім розчин нейтралізують розбавленою хлоридною кислотою, охолоджують його і відфільтровують на лійці Бюхнера вугілля та кристали гексаміну. Суміш на фільтрі промивають теплою водою, що містить декілька крапель хлоридної кислоти. Фільтрат нагрівають до 80°C і добавляють концентровану хлоридну кислоту доти, доки не з'явиться стійке помутніння. Все це повільно охолоджують, осад гексаміну фільтрують і промивають спиртом.

Властивості: винно-червоні або коричнево-червоні кристали. Розчинність у воді 0,152 (0°C), 0,26 (20°C), 0,42 (46,6°C) моль/л. При кип'ятінні водного розчину утворюється $\text{Co}(\text{OH})_2$.

2.11. Хлоропентаамінкобальт хлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$

До суміші розчину 50 г CoCl_2 і 100 г амоній хлориду в 300 мл концентрованого розчину аміаку ($\rho = 0,9$) відразу додають 25 мл, а потім 50 мл 30%-ного розчину гідроген пероксиду, порціями по 2–3 мл.

Після закінчення окиснення розчин нейтралізують концентрованою хлоридною кислотою, додають ще 50 мл кислоти, нагрівають до кипіння і залишають стояти на холоді.

Осад, що випав, відфільтровують, а потім розчиняють у 2%-ному нагрітому розчині аміаку. Ще гарячим розчин фільтрують, потім підкислюють хлоридною кислотою і кип'ятять. Осад, що випаде після охолодження, відфільтровують, промивають водою, спиртом і висушують. Вихід продукту теоретичний.

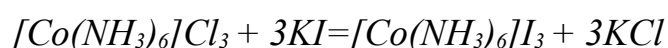
Властивості: кристали пурпурового кольору.

2.12. Динітротетраамінкобальтхлорид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}$ (кроцеосіль)

До розчину, що містить 10 г амоній хлориду і 13,5 г натрій нітриту в 75 мл води, додають 15 мл 20%-ного розчину аміаку і розчин 9 г кобальт хлориду в 25 мл води. Окиснюють розчин продуванням повітря. Через 3 години буро-зелене забарвлення розчину набуває жовтого відтінку, а з розчину випадає осад, який відфільтровують і промивають водою. Для очистки продукту його розчиняють в гарячій воді, що містить ацетатну кислоту, і швидко фільтрують через складчастий фільтр. Фільтрат відразу ж осаджують розчином 4 г амоній хлориду, охолоджують, на наступний день відфільтровують кристали, промивають осад спиртом до зникнення іонів хлору і висушують в ексікаторі.

Властивості: жовті кристали.

2.13. Гексаамінкобальт (III) іодид $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{I}_3$

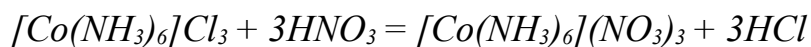


24 г кобальт (II) хлориду гексагідрату і 16 г амоній хлориду розчиняють в 150 мл води, додають 1 г активованого вугілля, 100 мл концентрованого амоніаку і пропускають через розчин повітря для окиснення. Осад $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, який випадає в результаті окиснення, розчиняють в гарячій 2 %-ній хлоридній кислоті і знову осаджують з отриманого розчину дією 400 мл концентрованої хлоридної кислоти. Потім суміш охолоджують до 0°C і фільтрують, осад промивають етанолом і сушать при 80-100°C. 5 г отриманого хлориду розчиняють в 50 мл води і обробляють 50 мл 6%-ного розчину калій іодиду. При випарюванні розчину виділяється $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{I}_3$.

Властивості: гранатово-червоні блискучі кристали, стійкі на повітрі.

2.14. Гексаамінкобальт (III) нітрат $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_3)_3$

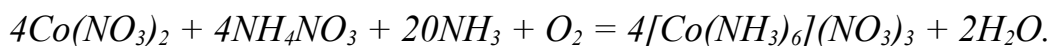
1-й спосіб



$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ розчиняють у достатній кількості води і діють розведеною нітратною кислотою. Осад відмивають розведеною нітратною кислотою від HCl , а потім 90%-ним спиртом від слідів обох кислот.

2-й спосіб

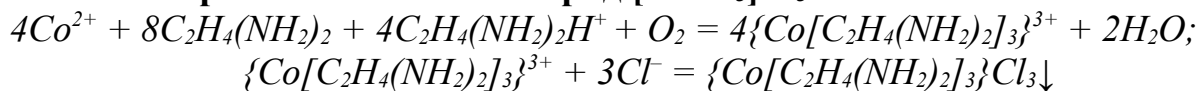
14,6 г кобальт (II) нітрату гексагідрату розчиняють при нагріванні в 20 мл води, додають до розчину 16 г амоній нітрату, 1-2 г розтертого активованого вугілля і 36 мл концентрованого розчину амоніаку. Для окиснення через отриману суміш пропускають повітря протягом 1-2 год.



Для окиснення кобальту до розчину можна додати відповідну кількість 3%-ного розчину гідроген пероксиду (на 1 моль $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 моль H_2O_2). Розчин кип'ятять до видалення основної маси амоніаку. Після цього до розчину доливають 250 мл води, підкисленої нітратною кислотою (середовище весь час повинно бути слабокислим), і нагрівають на водяній бані. Потім розчин відфільтровують від вугілля, доливають до фільтрату 200 мл концентрованої нітратної кислоти і дають йому охолонути. При цьому випадає кристалічний осад оранжевого кольору. Його промивають на фільтрі водою і спиртом та висушують при 60-70°C.

Властивості: жовті тетрагональні призми. Розчинність у воді 0,0202 (0°C), 0,052 (20°C), 0,0704,42 (30°C) моль/л.

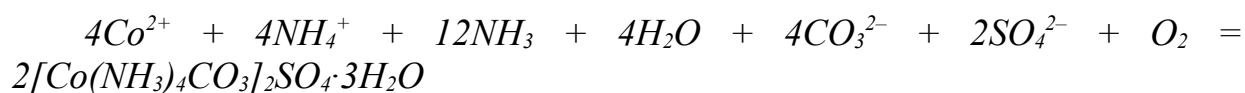
2. 15. Триетиленкобальт хлорид $[\text{CoEt}_3]\text{Cl}_3$



До розчину 24 г $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в 75 мл води додають 61 г 30%-ного етилендіаміну, частково нейтралізованого 17 мл 6н розчином хлоридної кислоти. Через розчин продувають повітря протягом 3 годин. Випаровують розчин до об'єму 15–20 мл, після чого додають 15 мл концентрованої хлоридної кислоти і 30 мл етилового спирту. Після охолодження відфільтровують кристали, добре промивають спиртом, етером і сушать в сушильній шафі. Вихід – 31 г.

Властивості: голчасті кристали помаранчово-жовтого кольору. Сіль стійка при нагріванні до 200°C. Добре розчинна у воді.

2.16. Карбонатотетраамінкобальт сульфат $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{CO}_3]_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

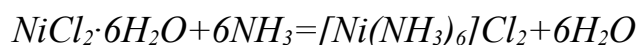


Розчиняють 47 г $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 100–150 мл води і доливають до розчину 100 г $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в 500 мл води і 250 мл концентрованого розчину аміаку. Одержаний темно-фіолетовий розчин окиснюють протягом 2–3 годин повітрям.

Криваво-червоний розчин, що утворився, випаровують на водяній бані до об'єму 300 мл, багаторазово додаючи при цьому шматочки $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, відфільтровують від незначної кількості чорного кобальт оксиду і ще раз випаровують до об'єму 200 мл. При повільному охолодженні виділяється значна кількість солі у вигляді гранатово-червоних призм. Маточний розчин зливають, відфільтровують і промивають осад один раз насиченим розчином, отриманим з невеликої кількості осаду. При цьому утворюється біля 16 г чистої солі, але при подальшому випаровуванні маточного розчину з додаванням $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ можна отримати ще таку ж кількість солі.

Властивості: гранатово-червоні кристали. Водний розчин розкладається при стоянні на світлі. над концентрованою сульфатною кислотою препарат виділяє всю воду.

2.17. Гексааміннікол (II) хлорид $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$



На концентрований розчин $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, що не містить кобальту, чи безводний нікол (II) хлорид діють надлишком концентрованого аміаку. Охолоджують суміш проточною водою і початкове випадання дрібнокристалічного $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ завершують додаванням аміачного розчину амоній хлориду. Осад відсмоктують і промивають концентрованим аміаком, спиртом і ефіром.

Властивості: синьо-фіолетовий дрібнокристалічний порошок. У теплій воді розкладається з відщепленням NH_3 . Розчиняється в розведеному водному розчині амоніаку, не розчиняється в концентрованому амоніаку і спирті.

2.18. Гексаміннікол бромід $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_2$

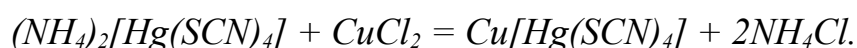
5-6 г нікол хлориду розчиняють у мінімальній кількості води і до розчину додають при збовтуванні концентрований розчин аміаку. Спочатку випадає нікол гідроксид, який потім розчиняється у надлишку аміаку. Розчин фільтрують для видалення слідів гідроксидів і до фільтрату додають приблизно рівний об'єм теплового насиченого розчину амоній броміду. Гексаміннікол бромід $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_2$ випадає в осад поступово. Через годину

дрібнокристалічний осад відфільтровують, промивають спиртом, ефіром і висушують на повітрі або в ексікаторі.

Властивості: темно-синій дрібнокристалічний осад, на повітрі стійкий. При нагріванні відщеплює аміак і переходить у безводний нікол бромід.

2.19. Тетрароданомеркуріат Цинку, Кадмію, Купруму, Кобальту і інших металів

На технічних терезах зважують амоній тетрароданомеркуріат і відповідну розчинну сіль Цинку, Кадмію, Купруму, Кобальту і т.д. Солі беруть відповідно до рівняння реакції:



Осад, який випадає, відфільтровують, промивають невеликою кількістю води і висушують на повітрі або у сушильній шафі. Колір солей в основному визначається за кольором катіону, який входить до складу солі. На повітрі вони стійкі.

2. 20. Амоній тетрароданодинамінхромат (III) $NH_4[Cr(NH_3)_2(CNS)_4] \cdot H_2O$ (сіль Рейнеке)

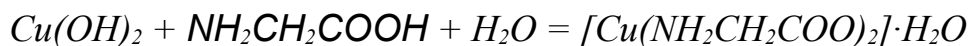
Препарат одержується шляхом сплавлення амоній роданіду з амоній біхроматом у співвідношенні 3 ваг. ч. NH_4CNS і 1 ваг. ч. $(NH_4)_2Cr_2O_7$. Відновлений хром утворює комплекс.

90 г амоній роданіду обережно нагрівають у порцеляновій чашці при неперервному перемішуванні. Коли сіль майже розплавиться, нагрівання припиняють і додають потрохи і при постійному перемішуванні 30 г дрібно розтертого амоній біхромату. реакція протікає бурхливо з утворенням червоної маси. Після додавання останньої порції $(NH_4)_2Cr_2O_7$ перемішування продовжують до загустіння всієї маси. Утворений сирий продукт, крім солі Рейнеке, містить непрореаговані амоній біхромат і роданід, а також побічний продукт реакції, важко розчинний у воді. Ще в теплому стані розтирають сирий продукт з невеликими порціями холодної води. Побічний продукт залишається в осаді, а сіль Рейнеке – в розчині. Після додавання до всієї маси 100–150 мл води повністю розтирають пестиком усі згустки, переносять кашку в лійку Бюхнера і відфільтровують. Потім осад переносять назад в чашку і повторюють вилуговування з тією ж кількістю води до тих пір, доки водна витяжка не перестане давати осад при доливанні насиченого розчину NH_4Cl (ця сіль висолює сіль Рейнеке). Комплекс, одержаний висолуванням розчином NH_4Cl , відфільтровують, сушать на повітрі і зберігають в банці з притертим корком. Вихід – 35–40 г.

Властивості: рубіново-червоні, блискучі світлочутливі лусочки. При нагріванні до $100^\circ C$ сіль втрачає кристалізаційну воду, при цьому утворюються яскраво червоні кубики і ромбічні додекаедри. При кімнатній температурі сіль знову притягує воду з повітря. Сполука легко розчиняється у воді, спирті, етері, ацетоні, нерозчинна в бензені. Сіль Рейнеке

розкладається киплячими водою та спиртом. Водні розчини солі поступово розкладаються, причому розчин синіє і виділяється гідроген ціанід (обережно!). При нагріванні з розчином лугу комплекс поступово розкладається, виділяючи аміак і утворюючи хром (III) гідроксид.

2.21. Купрум (II) глікоколят $\text{Cu}(\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—COO})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$



Голчаста модифікація. Метод одержання полягає у взаємодії розчину глікоколю (аміноацетатної кислоти) з надлишком свіжоосажденного купрум (II) гідроксиду. Його одержують змішуванням розчинів $\text{Ba}(\text{OH})_2$ і CuSO_4 в таких співвідношеннях, щоб отриманий розчин перестав показувати на лакмус лужну реакцію. Водну суспензію $\text{Cu}(\text{OH})_2$ з домішками BaSO_4 нагрівають декілька годин на водяній бані з розчином глікоколю, а потім кип'ятять 30 хвилин. Осад BaSO_4 і надлишку купрум оксиду відфільтровують, а темно-синій фільтрат випаровують до початку кристалізації. З охолодженого розчину випадають кристали у вигляді блідо-голубих голок.

Пластинчаста модифікація. Ця модифікація одержується при кип'ятінні голчастої модифікації в кількості води, недостатній для повного розчинення. Для цього готують кашку з 2–3 г солі і 7–10 мл води. При нагріванні цієї маси в колбі спостерігається перехід нерозчинених голок у пластинки темно-синього кольору. Спостереження переходу однієї модифікації в іншу здійснюють під мікроскопом. Якщо ще лишаються голки, продовжують нагрівати масу доти, поки взята проба не покаже повний перехід голок в пластинки. Переконавшись в повному переході однієї модифікації в іншу, швидко переносять всю масу на скляний фільтр, попередньо прогрітий гарячою водою, і відфільтровують розчин. Одержані на фільтрі пластинки промивають 1–2 рази холодною водою і кілька разів спиртом. Препарат висушують при температурі 40–50°C.

Властивості: розчинність при 25°C голчастої модифікації – 0,0393 моль/л, пластинчастої – 0,0246 моль/л. При 105°C пластинчаста модифікація легко зневоджується за 1–2 години, голчаста модифікація при цій температурі не зневоджується. Зневоднення голчастої модифікації відбувається при тривалому сушінні при температурі > 130°C. В результаті перекристалізації обох форм з розчину в першу чергу випадає голчаста модифікація. Дія на розчини глікоколяту хлоридної чи сульфатної кислоти викликає зміну синього кольору розчину на блідо-голубий, характерний для гідратованого іону Купруму. При дії водного розчину аміаку – навпаки, відбувається посилення синього забарвлення розчину внаслідок зміни комплексного іону.

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗИ ПОДВІЙНИХ СОЛЕЙ

3.1. Амоній-натрій гідрогенфосфат $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$

Змішують насичені гарячі розчини, у яких є 5 мас.ч. натрій гідрогенфосфату і 2 мас.ч. амоній гідрогенфосфату. При повільному охолодженні випадають безбарвні кристали амоній-натрій фосфату:



Їх відфільтровують, промивають невеликою кількістю холодної води і сушать між листками фільтрувального паперу.

Властивості: на повітрі сіль поступово вивітрюється, тому її потрібно зберігати у закритій склянці. При 79°C сіль плавиться у кристалізаційній воді і, втрачаючи воду та розкладаючись, перетворюється у безводну сіль NaH_2PO_4 . При 200°C вона переходить у пірофосфат $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, а вище 240°C у метафосфат $(\text{NaPO}_3)_x$ різного ступеня полімеризації.

3.2. Купрум (II) амоній сульфат гексагідрат $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Переносять 3 г амоній сульфату і 6 г купрум (II) сульфату пентагідрату у колбочку, доливають 10 мл води, нагрівають до повного розчинення солі, після чого повільно охолоджують. При охолодженні утворюються світло-голубі кристали подвійної солі купрум-амоній сульфату гексагідрату (2:1) $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Утворені кристали відфільтровують і сушать спочатку між аркушами фільтрувального паперу, а потім на повітрі.

3.3. Ванадій-амоній сульфат $\text{NH}_4\text{V}(\text{SO}_4)_2$

12 г амоній метаванадату розмішують в кашку з невеликою кількістю води і отриману суміш повільно вносять в 300 мл 2 н сульфатної кислоти. До отриманого розчину чисто жовтого кольору додають ~ 200 мл насиченого розчину сульфур диоксиду і 40 г амоній сульфату. Отриманий синій розчин випарюють на водяній бані, а потім на полум'ї пальника до осадження солі синього кольору. Доливають 30–50 мл концентрованої сульфатної кислоти, деякий час нагрівають до виділення парів сульфатної кислоти і після охолодження на наступний день обробляють водою. Залишок фільтрують, розтирають з водою, кип'ятять у воді, добре промивають і сушать у вакуум-ексикаторі над сульфатною кислотою. Вихід 4,7 г.

3.4. Ванадій-калій сульфат $\text{KV}(\text{SO}_4)_2$

Аналогічним шляхом отримують калієву сіль. Для отримання калієвої солі беруть 200 мл 2 н сульфатної кислоти, 10 г ванадій оксосульфату, 21,1 г калій сульфату і 10 мл сульфитної кислоти. Після випаровування на водяній бані додають 10 мл концентрованої сульфатної кислоти і протягом декількох годин нагрівають для видалення парів сульфатної кислоти. Після охолодження додають 400 мл води і деякий час кип'ятять. Речовину

зеленого кольору промивають водою, відсмоктують і сушать у вакуум-ексикаторі над сульфатною кислотою.

Властивості: зелений кристалічний порошок. Не розчиняється у воді і кислотах; розчинення в лугах супроводжується розкладом речовини.

3.5. Цинк-амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Еквімолярні кількості цинк сульфату і амоній сульфату розчиняють у мінімальній кількості гарячої води. Розчин, якщо необхідно, фільтрують через лійку для гарячого фільтрування і фільтрат охолоджують.

Осад, який виділяється, фільтрують і сушать між аркушами фільтрувального паперу.

Властивості: безбарвна, добре розчинна у воді кристалічна речовина. На повітрі сіль поступово вивітрюється, тому її потрібно зберігати у добре закритому посуді.

3.6. Ферум-амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Розчиняють у мінімальному об'ємі води 139 мас.ч. ферум (II) сульфату і 66 мас.ч. амоній сульфату. Розчини, якщо потрібно, фільтрують, а потім нагрівають їх до 60–70°C, зливають у фарфорову чашку, підкислюють розведеною сульфатною кислотою. Під час охолодження розчин рекомендується перемішувати. Кристалічний осад, який випав, промивають один раз холодною водою і сушать при 50–60°C.

Властивості: Подвійний сульфат ферум (II) і амонію $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ має світло-голубий колір, на повітрі стійкий.

3.7. Нікол-амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{NiSO}_4$

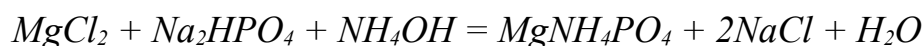
Зливають теплі, насичені розчини сульфатів ніколу і амонію, взяті у стехіометричному співвідношенні.

Розчини залишають для кристалізації у фарфоровій чашці на повітрі або в ексикаторі над сульфатною кислотою.

Кристалічний осад $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ фільтрують, промивають невеликою кількістю холодної води і сушать на повітрі. Сіль на повітрі стійка.

3.8. Магній-амоній фосфат MgNH_4PO_4

Розчиняють в 100 мл води 6–7 г магній хлориду або нітрату, додають 10–15 г амоній хлориду і 20–25 мл розчину амоніаку. Розчин трохи підігрівають; якщо потрібно, фільтрують і після охолодження додають до нього 20–25 мл насиченого розчину натрій гідрогенфосфату:



Осад магній-амоній фосфату MgNH_4PO_4 фільтрують, промивають водою, сушать при 40–50°C.

Властивості: білий кристалічний осад. Близько 100°C сіль частково втрачає амоніак. При сильному прожарюванні утворюється магній пірофосфат.

3.9. Алюмоамонійні галуни $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

25–30 г $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у 40–45 мл гарячої води. Еквівалентну масу амоній сульфату розчиняють у 15–20 мл гарячої води. Розчини фільтрують. Фільтрати змішують у фарфоровій чашці, підкислюють 2 мл сульфатної кислоти і випарюють на водяній бані при 80°C до появи кристалічної плівки. Потім розчин охолоджують до 15–20°C, помішуючи його скляною паличкою. При цьому утворюється дрібно-кристалічний осад алюмоамонійних галунів. Його промивають невеликою кількістю води.

Для отримання більш чистих кристалів отриману сіль розчиняють в 60 мл води, підкислюють сульфатною кислотою і випарюють приблизно наполовину, фільтрують і залишають кристалізуватися, кинувши у розчин “затравку” – кристалик $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Розчин з кристалів зливають. Кристали промивають 2–3 рази льодяною водою і просушують певний час при кімнатній температурі (при довготривалій сушці кристали вивітрюються).

3.10. Алюмокалієві галуни $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

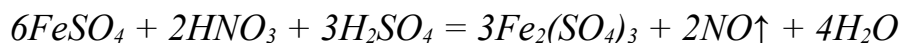
Розчиняють алюміній сульфат у воді і відфільтровують. Окремо готують розчин калій сульфату. Розчини зливають, випарюють на водяній бані до початку кристалізації і швидко охолоджують при перемішуванні. Кристали, що випали, відфільтровують на лійці Бюхнера, розчиняють у мінімальній кількості гарячої води і охолоджують. Розчин перекристалізують ще декілька разів.

Для очистки розчиняють галуни у гарячій воді, фільтрують і охолоджують. Кристали промивають холодною дистильованою водою і сушать.

3.11. Залізоамонійні галуни $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

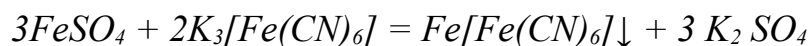
1-й спосіб.

3,930 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ розчиняють в 8,5 мл дистильованої води. До розчину додати 0,5 мл сульфатної кислоти для придушення гідролізу солей феруму. Розчин нагріти і відфільтрувати, якщо він мутний. Для окиснення іону Fe^{2+} у Fe^{3+} поступово при помішуванні додати розрахований об’єм нітратної кислоти невеликими порціями, не допускаючи бурхливого протікання реакції:



У кінці реакції розчин кип’ятять – він стає темно-бурим, а потім приймає червонувато-коричневе забарвлення. Повне окиснення іону Fe^{2+}

визначають по відсутності синього осаду від додавання $K_3[Fe(CN)_6]$ в окремій крапельній пробі:



Для видалення нітроген оксидів розчин впарюють при $80^\circ C$ на водяній бані до сиропоподібної маси. Отриманий клейкий залишок розчиняють у такій кількості дистильованої води, щоб розчин мав густину $1,137\text{--}1,319\text{ г/см}^3$ при кімнатній температурі. Якщо густина є меншою, то розчин вилити у фарфорову чашку чи стакан і обережно випарювати, потім охолодити і знову визначити густину. Якщо розчин непрозорий, то його потрібно відфільтрувати. При даній густині отримують приблизно 29–30%-ий розчин ферум (III) сульфату.

Окремо приготувати амоній сульфат, розчинивши 1,700 г солі у 6,07 мл води і підкислити 2–3 краплями сульфатної кислоти ($\rho = 1,84\text{ г/см}^3$). Якщо розчин каламутний, то його потрібно відфільтрувати.

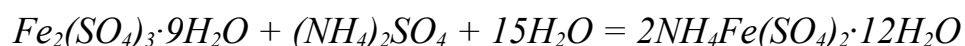
У фарфоровій чашці змішати ферум (III) сульфат ($\rho = 1,317\text{--}1,319\text{ г/см}^3$) і розчин амоній сульфату:



Якщо розчину ферум (III) сульфату вийшло менше 150 г, провести відповідний перерахунок необхідного об'єму $(NH_4)_2SO_4$. У розчин опустити кристал $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ як “затравку”, закрити чашку фільтрувальним папером і поставити на кристалізацію. Кристали, які випали, промити 2–3 рази льодяною водою і висушити між аркушами фільтрувального паперу.

2-й спосіб.

Зважити на терезах 28,00 г $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$, перенести у стакан місткістю 100 мл і долити 24 мл розчину сульфатної кислоти. Масу амоній сульфату вирахувати за рівнянням реакції:



Зважити, перенести в інший стакан, долити 8 мл води і 4 мл сульфатної кислоти. Перший і другий розчини нагріти до $60^\circ C$ і відфільтрувати їх, збираючи фільтрат у фарфорову чашку. Охолодити до кімнатної температури і опустити кристал $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ як “затравку”, закрити чашку фільтрувальним папером і поставити на кристалізацію. Кристали, які випали, промити 2–3 рази льодяною дистильованою водою і сушити між аркушами фільтрувального паперу.

3.12. Хромокалієві галуни $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

1-й спосіб.

Розчиняють 39,5 г калій дихромату у 120 мл води, обережно додають 9 г сульфатної кислоти ($\rho = 1,84\text{ г/см}^3$), розчин охолоджують і насичують сульфур (IV) оксидом. У результаті відновлення хрому розчин набуває темно-зеленого кольору і стає густим та в'язким. Його залишають кристалізуватися при кімнатній температурі на добу. Отримані кристали

$\text{KCr}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ відсмоктують на лійці й сушать між аркушами фільтрувального паперу. Зберігати сіль потрібно у щільно закритій банці.

2-й спосіб.

Відважити 10 г калій дихромату і розчинити у стакані в 100 мл дистильованої води. Додати невеликими порціями 15 мл концентрованої сульфатної кислоти (обережно!), весь час охолоджуючи розчин льодяною водою, а потім – по краплях 10 мл етилового спирту, весь час охолоджуючи розчин і перемішуючи його скляною паличкою. Спостерігати за зміною оранжевого забарвлення розчину на зелене. Розчин злегка випарувати і залишити кристалізуватися, накривши аркушем фільтрувального паперу. З утворених кристалів злити маточний розчин, перенести їх на лійку Бюхнера і після відсмоктування промити кілька разів холодною дистильованою водою, поки кристали і промивні води не набудуть фіолетового забарвлення. Після цього підсушити кристали між аркушами фільтрувального паперу і зважити.

Якщо утворені кристали хромокалієвих галунів дуже дрібні, потрібно їх перекристалізувати. Для цього розчинити кристали при 50°C у якомога меншій кількості дистильованої води і залишити розчин кристалізуватися до наступного дня.

Властивості: кристалічна речовина темно-фіолетового кольору. При $20\text{--}60^\circ\text{C}$ вони втрачають шість молекул води, при $110\text{--}120^\circ\text{C}$ ще чотири молекули, і при $200\text{--}450^\circ\text{C}$ сіль переходить у безводну форму. На повітрі продукт теж поступово вивірюється. Тому його потрібно зберігати у щільно закритій склянці.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Відповідно до номеру варіанту (таблиця 1) виконайте завдання:

1. Складіть координаційну формулу комплексної сполуки, вкажіть ступінь окиснення комплексоутворювача, його кч, дентатність лігандів; напишіть рівняння первинної та вторинної дисоціації, а також вираз для константи нестійкості.

2. Вкажіть тип гібридизації центрального атом в цьому комплексі. Яку геометричну конфігурацію має комплекс?

3. Визначте можливість самочинного проходження дисоціації комплексу за характером зміни вільної енергії Гіббса $\Delta G_{298}^0 = -2,303RT \lg K_{\text{н}}$.

4. Напишіть рівняння реакції обміну комплексної сполуки з речовиною А, обчисліть масу та молярну концентрацію комплексної сполуки, а також концентрацію комплексоутворювача (моль/л) у вихідному розчині.

5. Обчисліть зміну концентрації комплексоутворювача при додаванні речовини В до вихідного розчину комплексної сполуки.

6. Напишіть рівняння реакції руйнування комплексної сполуки під дією речовини С і визначте, чи справді відбувається руйнування внаслідок утворення стійкішої сполуки Д.

Таблиця 1

Варіант	Комплексна сполука			Речовина А			Речовина В			Речовина С			К _{дис} або ДР речовини Д
	Складові частинки	V, л	K _{несг}	Склад	V, л	С _м , моль/л	Склад	V, л	С _м , моль/л	Склад	V, л	С _м , моль/л	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	Ba ²⁺ , Ag ⁺ , NO ₂ ⁻	0,8	1·10 ⁻²³	Na ₂ SO ₄	0,2	0,1	NaNO ₂	0,4	0,2	NaI	0,7	0,1	8,3·10 ⁻¹⁷
2.	Cu ²⁺ , NH ₃ , I ⁻	0,6	2·10 ⁻¹³	HgCl ₂	0,4	0,7	NH ₃ ·H ₂ O	0,3	0,4	K ₂ CO ₃	0,3	0,25	1,7·10 ⁻³⁴
3.	Cd ²⁺ , NH ₃ , I ⁻	0,4	7,5·10 ⁻⁸	CH ₃ COOAg	0,6	1,2	NH ₃ ·H ₂ O	0,5	0,1	Na ₂ S	0,2	0,6	1,6·10 ⁻²⁸
4.	Ba ²⁺ , Fe ³⁺ , CN ⁻	0,7	1·10 ⁻²⁹	(NH ₄) ₂ SO ₄	0,3	2,1	KCN	0,5	0,2	NaOH	0,15	0,25	5·10 ⁻¹⁷
5.	Ni ²⁺ , NH ₃ , SO ₄ ²⁻	0,1	1,1·10 ⁻⁸	Sr(NO ₃) ₂	0,9	0,3	NH ₃ ·H ₂ O	0,8	0,6	KOH	0,35	1,0	2·10 ⁻¹⁵
6.	Pt ²⁺ , Cl ⁻ , K ⁺	1,0	7·10 ⁻³	NaClO ₄	1,2	1,5	NaCl	0,7	0,5	KI	1,0	0,3	1·10 ⁻⁹
7.	Ba ²⁺ , Be ²⁺ , OH ⁻	0,7	1,2·10 ⁻²⁰	K ₂ SO ₄	0,65	0,5	KOH	0,2	0,8	K ₂ CO ₃	0,8	0,35	1·10 ⁻³
8.	Pb ²⁺ , Hg ²⁺ , CNS ⁻	0,9	1·10 ⁻²²	LiCl	0,2	0,25	NaCNS	0,1	0,7	BaS	0,6	1,4	1,6·10 ⁻⁵²
9.	Co ²⁺ , Li ⁺ , CNS ⁻	0,15	5,5·10 ⁻³	NaF	0,85	0,6	NH ₄ CNS	0,25	1,0	NaOH	0,5	0,65	2·10 ⁻¹⁶
10.	Cd ²⁺ , Ba ²⁺ , CNS ⁻	0,25	1,2·10 ⁻³	K ₂ SO ₄	0,65	0,5	KCNS	0,45	0,35	K ₂ S	0,75	0,58	4,3·10 ⁻¹⁵
11.	Cr ³⁺ , Ba ²⁺ , OH ⁻	1,0	2,5·10 ⁻²⁹	Na ₂ SO ₄	1,0	0,15	NaOH	0,65	0,15	K ₃ PO ₄	0,25	1,0	1·10 ⁻¹⁷
12.	Al ³⁺ , Sr ²⁺ , OH ⁻	0,75	1·10 ⁻³³	BeSO ₄	0,25	0,8	KOH	0,35	0,45	Na ₃ PO ₄	0,65	0,85	5,7·10 ⁻¹⁹
13.	Fe ³⁺ , Ba ²⁺ , CN ⁻	0,3	1,26·10 ⁻⁴⁴	Na ₂ SO ₄	0,7	1,1	NaCN	0,85	0,25	CsOH	0,4	0,65	5·10 ⁻¹⁷
14.	Ni ²⁺ , CNS ⁻ , Mg ²⁺	1,5	1,5·10 ⁻²	KF	1,5	0,35	NaCNS	0,56	0,66	K ₂ S	1,5	1,0	1·10 ⁻²⁴
15.	Bi ³⁺ , Cl ⁻ , Ca ²⁺	0,5	2,6·10 ⁻⁶	MgSO ₄	0,5	0,46	HCl	0,15	0,75	NaI	1,25	0,25	8·10 ⁻¹⁹
16.	Pb ²⁺ , Ba ²⁺ , I ⁻	0,6	1,4·10 ⁻⁴	Cs ₂ SO ₄	0,4	0,65	KI	0,75	0,85	Na ₂ SO ₄	0,45	0,7	1,6·10 ⁻⁸
17.	Ba ²⁺ , Zn ²⁺ , OH ⁻	0,65	1,6·10 ⁻¹⁶	K ₂ SO ₃	0,35	1,3	NaOH	1,4	0,35	KCN	0,2	1,5	2,5·10 ⁻²⁰
18.	Co ²⁺ , NH ₃ , F ⁻	0,55	3,1·10 ⁻³³	CaCl ₂	0,45	0,55	NH ₃ ·H ₂ O	0,2	0,9	Rb ₂ CO ₃	0,8	0,5	1,4·10 ⁻¹³
19.	Ag ⁺ , CN ⁻ , Pb ²⁺	0,45	8·10 ⁻²²	NaF	0,55	2,0	KCN	0,3	1,5	KCl	0,1	0,4	2,5·10 ⁻¹⁰
20.	Cd ²⁺ , Cl ⁻ , Mg ²⁺	0,85	9·10 ⁻³	NiF ₂	0,15	0,85	HCl	0,15	0,75	Li ₂ S	0,35	0,35	1,6·10 ⁻²⁸

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	Co^{3+} , CN^- , Sr^{2+}	0,2	$1 \cdot 10^{-64}$	MnSO_4	0,8	0,4	KCN	1,0	0,2	CsOH	0,75	0,45	$4 \cdot 10^{-45}$
22	Ba^{2+} , Fe^{3+} , CNS^-	0,8	$5,9 \cdot 10^{-4}$	Na_2SO_4	1,2	1,3	NaCNS	0,15	0,85	Cs_3PO_4	1,8	1,2	$1,3 \cdot 10^{-22}$
23	Cu^{2+} , OH^- , Ba^{2+}	0,75	$7,6 \cdot 10^{-17}$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,25	1,4	KOH	0,9	0,15	NaI	1,25	0,55	$1,1 \cdot 10^{-12}$
24	Cd^{2+} , NH_3 , CrO_4^{2-}	1,2	$3 \cdot 10^{-6}$	CaBr_2	0,8	1,25	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,2	0,8	K_2S	0,2	0,8	$2,5 \cdot 10^{-48}$
25	Hg^{2+} , Cl^- , H^+	0,4	$6 \cdot 10^{-17}$	CH_3COONa	0,6	1,15	NaCl	0,7	1,3	Li_2S	0,85	0,15	$14 \cdot 10^{-52}$
26	Cu^+ , CN^- , Sr^{2+}	0,4	$5 \cdot 10^{-28}$	Na_2SO_4	0,4	0,5	NaCN	0,85	0,3	K_2S	0,6	0,4	$6,3 \cdot 10^{-38}$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голуб А.М. Основи координаційної хімії / А.М. Голуб, В.В. Скопенко – К.: Вища школа, 1977. – 303 с.
2. Каличак Я.М., Кінжибало В.В., Котур Б.Я., Миськів М.Г., Сколоздра Р.В. Хімія: Задачі, вправи, тести. – Л., 2001. – С. 79. Скопенко В.В., Савранський Л.І. Координаційна хімія. – К., 2004.
3. Романова Н.В. Загальна та неорганічна хімія. – К., 1998. – С. 335. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. – М., 1981. – С. 504.
4. Скопенко В.В. Координаційна хімія / В.В. Скопенко, Л.І. Савранський – К.: Либідь, 1997. – 336 с.
5. Скопенко В.В. Практикум з координаційної хімії / В.В. Скопенко, В.Я. Зуб – К.: Вид. КНУ, 2003. – 300 с.
6. Телегус В.С., Бодак О.І., Зарегнюк О.С., Кінжибало В.В. Основи загальної хімії. – Л., 2000. – С. 389.
7. Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений / И.Б. Берсукер – Л.: Химия, 1986. – 351 с.
8. Гринберг А.А. Введение в химию координационных соединений / А. А. Гринберг – Л.: Химия, 1971. – 632 с.
9. Желиговская Н.И. Химия координационных соединений / Н.И. Желиговская, И.И. Черняев – М.: Высшая школа, 1966. – 388 с.
10. Инцеди Я. Применение комплексов в аналитической химии / Я. Инцеди – М.: Мир, 1979. – 376 с.
11. Кендлин Дж. Реакции координационных соединений переходных металлов / Дж. Кендлин, К. Тейлор, Д. Томпсон – М.: Мир, 1970. – 392 с.
12. Комплексные соединения в аналитической химии / Ф. Умланд, А. Янсен, Д. Тириг, Г. Вюнш – М.: Мир, 1975. – 531 с.
13. Костромина Н.А. Химия координационных соединений / Н.А. Костромина, В.Н. Кумок, Н.А. Скорик – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
14. Кукушкин Ю.Н. Реакционная способность координационных соединений / Ю.Н. Кукушкин – Л.: Химия, 1987. – 390 с.
15. Кукушкин Ю.Н. Химия координационных соединений / Ю.Н. Кукушкин – М.: Высшая школа, 1985. – 455 с.
16. Сапрыкова З.А. Физико-химические методы исследования координационных соединений / З.А. Сапрыкова – Казань: Изд. Казанск. Ун-та, 1988. – 192 с.
17. Скопенко В.В. Координационная химия / В.В. Скопенко, В.В. Григорьева. – К.: Вища школа, 1984. – 152 с.

**ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ТА
ЗАХОДИ ДЛЯ НАДАННЯ ПЕРШОЇ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ**

1. Хімічні досліди необхідно проводити в тих умовах і порядку, з такими кількостями й концентраціями речовин і приладами, які зазначені в інструкції до проведення експерименту.

2. Хімічні реактиви для дослідів видає лаборант у кількостях, необхідних для даного експерименту.

3. Доступ студентів до місця зберігання хімічних реактивів повинен бути виключений.

4. Під час виконання дослідів залишати робоче місце не дозволяється.

5. Працювати з високотоксичними речовинами (бром, хлор, карбон монооксид, галогенопохідні фосфору, синильна кислота та ін.), а також проводити досліди, які супроводжуються виділенням шкідливих газів і пари, треба лише у витяжній шафі зі справною діючою вентиляцією.

6. Визначаючи речовину за запахом, необхідно легким рухом долоні над горлом посудини спрямувати пару або газ до носа і вдихати обережно, не нахилиючись до посудини.

7. Не дозволяється брати реактиви незахищеними руками. Для цього слід використовувати ложки, шпателі або совочки.

8. Насипати або наливати реактиви необхідно на столі: сухі – над аркушем паперу, рідкі – над склянкою посудиною. Розсипаний або розлитий реактив не дозволяється зсипати або зливати назад у основну тару.

9. Закріплювати хімічний посуд (колби, стакани тощо) у тримачах штатива слід обережно, обертаючи його навколо осі, поки не відчується невелике утруднення в обертанні.

10. Нагрівати хімічні реактиви для дослідів необхідно тільки у тонкостінному скляному або порцеляновому посуді. Під час нагрівання рідин не можна заглядати згори в посудину для запобігання травм внаслідок розбризкування нагрітої речовини. Всі досліди, пов'язані з використанням отруйних речовин, а також отруйних парів і газів, слід проводити тільки у витяжній шафі, дверцята якої повинні бути опущені на $\frac{1}{3}$. У випадку зупинки вентилятора досліди у витяжній шафі повинні бути негайно припинені. При нагріванні і кип'ятінні розчинів у пробірці необхідно користуватися тримачами і слідкувати за тим, щоб отвір пробірки не був направлений у бік інших студентів.

11. Не можна нагрівати закоркованими ніякі посудини чи апарати, крім спеціально для цього призначених.

12. Нагрівання летких та горючих рідин (ефір, петролейний ефір, бензин, ацетон, бензен, спирт та ін.) слід проводити тільки на водяній бані, а не на відкритому полум'ї. Категорично забороняється ставити склянки з горючими та легкозаймистими рідинами поблизу відкритого полум'я.

13. Категорично забороняється виливати в раковину залишки концентрованих кислот, лугів, вогнебезпечні рідини та речовини з різким

неприємним запахом, кидати в раковину папір, вату, сірники, осадки та інші тверді речовини. Для цього потрібно використовувати спеціально призначені склянки.

14. Заборонено пробувати речовини на смак.

Заборонено проводити досліди в брудному посуді. Не дозволяється залишати речовини у посуді без етикеток або підписів. Заборонено використовувати реактиви з банок, які не мають етикеток. При невпевненості в підписі на етикетці слід звернутися до лаборанта або викладача.

При запалюванні пальника спочатку потрібно обмежити до мінімуму доступ повітря, потім запалити сірник, відкрити газовий кран і піднести сірник збоку до отвору пальника. Поступово збільшуючи надходження повітря, одержати окисне полум'я (яке має блакитний колір); відрегулювати висоту полум'я до необхідної шляхом обмеження або збільшення подачі газу. При цьому потрібно враховувати, що значний надлишок повітря при запалюванні пальника і під час користування ним може привести до відриву полум'я від пальника.

ПРАВИЛА РОБОТИ З КИСЛОТАМИ ТА ЛУГАМИ

1. Концентровані кислоти, а також амоніак необхідно обережно наливати під витяжкою, щоб запобігти травмам.

2. Переносити або, навіть, підіймати склянки з агресивними реактивами за шийку посудини не дозволяється.

3. Для одержання розчинів із концентрованих кислот необхідно лити *кислоту у воду*, а не навпаки, постійно перемішуючи. Розчинення концентрованої кислоти у воді (особливо сульфатної) супроводжується сильним нагріванням і розбризкуванням рідини, що може призвести до опіків.

4. Для розбавлення концентрованих кислот, їх змішування, а також для змішування речовин, яке супроводжується виділенням теплоти, потрібно користуватися хімічним тонкостінним скляним або порцеляновим посудом.

5. Щоб уникнути опіків порожнини рота, а також отруєння, забороняється набирати розчини кислот, лугів та інших агресивних рідин у піпетку ротом. Для засмокування цих речовин потрібно користуватися піпетками з різними пастками та гумовою грушею.

6. Розчиняти луги слід у порцеляновому посуді, повільно додаючи до води невеликі порції лугу при безперервному перемішуванні. Шматочки лугу можна брати тільки пінцетом або щипцями.

7. Під час проведення всіх операцій з концентрованими розчинами кислот і лугів треба обов'язково застосовувати засоби індивідуального захисту: халат та гумовий фартух, гумові рукавиці, захисні окуляри тощо.

8. Відпрацьовані кислоти і луги слід збирати в спеціально призначений посуд окремо і зливати в каналізацію тільки після нейтралізації.

9. Розлиті кислоти або луги необхідно негайно засипати піском, нейтралізувати і після цього прибрати.

ПРАВИЛА РОБОТИ ЗІ СКЛЯНИМ ЛАБОРАТОРНИМ ПОСУДОМ

1. Під час роботи на установці, виготовленій зі скла або з елементами зі скла, в умовах, коли є хоч невелика ймовірність аварії, необхідно обгородити всю установку захисним екраном із оргскла, а найнебезпечніші ділянки установки – металевою сіткою або металевим кожухом.

2. Під час монтажу скляних приладів застосовувати надмірні зусилля не дозволяється. При з'єднанні окремих частин зі скла необхідно захищати руки тканиною.

3. Щоб полегшити складання приладів, кінці скляних трубочок змочують водою, вазеліном або гліцерином.

4. Усі види механічної і термічної обробки скла потрібно виконувати з використанням захисних окулярів.

5. Щоб обрізати скляну трубку або паличку, необхідно зробити на ній надріз напилком або іншим інструментом, який ріже скло, після чого взяти трубку обома руками і легким натиском у напрямі, протилежному надрізу, зламати її. Після розлому гострі кінці слід оплавити або обробити шліф шкіркою. Якщо хімічні реактиви знаходяться в ампулах, то для їх відкривання необхідно обережно зробити надріз, як у випадку зі скляною паличкою, відламати шийку ампули, тримаючи ампулу над лотком або іншою посудиною. Потім обережно пересипати або перелити вміст ампули у заздалегідь заготовлену склянку (наприклад, бром чи йод необхідно тримати в посудині, виготовленій із темного скла).

6. Для змішування або розбавлення речовин, що супроводжується виділенням теплоти, а також для нагрівання хімічних речовин слід використовувати порцеляновий або тонкостінний скляний посуд.

7. Пробірки, круглодонні колби, порцелянові чашки можна нагрівати на відкритому вогні, плоскодонні колби і склянки слід нагрівати тільки на металевому розсікачеві полум'я, азбестовій сітці.

8. Посудину з гарячою рідиною не можна закривати притертим корком доти, поки вона не охолоне.

9. Щоб відкрити корок, який заклинив, необхідно спочатку обережно постукати по обводу пробки знизу догори дерев'яним молоточком або брусом. Якщо це не допомагає, потрібно обережно підігріти шийку посудини так, щоб не нагрілася вся посудина. Нагрівати можна рушником, змоченим гарячою водою, обгорнувши ним шийку посудини або над полум'ям спиртового пальника, обертаючи посудину навколо осі, не торкаючи її до полум'я. Не можна нагрівати посудину над відкритим полум'ям, якщо в посудині містяться легкозаймисті, вибухонебезпечні або отруйні речовини.

10. Великі хімічні склянки слід піднімати обома руками так, щоб відігнуті краї (бортики) спиралися на вказівний та великий пальці.

11. Установку або окремі частини її, які перебувають під вакуумом, слід захищати дротяним екраном (сіткою); під час роботи з ними користуватися захисними окулярами.

12. Скляні посудини, призначені для роботи під вакуумом, заздалегідь випробовують на максимальне розрідження. Перед випробуванням посудину

потрібно обгорнути рушником або натягнути на неї металеву сітку. Такі ж заходи безпеки застосовують під час проведення фільтрування під розрідженням. Застосовувати плоскодонний посуд (перегонну колбу, приймач) у вакуумних установках і приладах не дозволяється.

13. Тонкостінну посудину під час закривання гумовим корком (наприклад при виготовленні промивалки) тримають за верхню частину шийки, корок злегка повертають, руки при цьому захищають рушником.

14. Роботу з отруйними, вогне- і вибухонебезпечними речовинами, а також роботи, які проводяться під тиском або вакуумом, слід виконувати в приладах і посуді з високоякісного, термостійкого скла.

15. Нагріваючи рідину в пробірці або колбі, необхідно закріплювати їх так, щоб отвір пробірки або шийка колби були спрямовані в напрямі від себе і сусідів по роботі; при цьому посуд наповнюють рідиною не більше, ніж на третину об'єму. Протягом усього процесу нагрівання не дозволяється нахилитися над посудиною і заглянути в неї.

16. При нагріванні хімічних речовин у пробірці або колбі не дозволяється тримати їх руками, треба закріплювати в тримачі для пробірок або в лапці штатива (затискач повинен бути біля отвору пробірки).

17. Під час миття скляного посуду треба пам'ятати, що скло крихке, легко ламається і тріскається від ударів, різкої зміни температури. Для миття посуду щітками ("йоржами") дозволяється спрямовувати дно посудини тільки від себе або донизу.

НАДАННЯ ПЕРШОЇ (ДОЛІКАРСЬКОЇ) МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ПОТЕРПІЛИМ

Під час проведення лабораторних занять у хімічній лабораторії можливі нещасні випадки (отруєння, хімічні й термічні опіки, травмування осколками скла тощо). Слід пам'ятати, що чим швидше буде надано допомогу потерпілому, тим менше буде негативних наслідків. Кожен працюючий повинен знати, де в лабораторії знаходиться аптечка з медикаментами, уміти надати першу допомогу при різних травмах. У випадку необхідності потрібно негайно викликати швидку допомогу.

Перша допомога у випадку отруєнь

1. Отруєння карбон (II) оксидом

Ознаки отруєння: запаморочення, головний біль, слабкість, блювання, шум у вухах, судоми і втрата свідомості.

Перша допомога: негайно вивести потерпілого на свіже повітря, звільнити від одягу, який заважає диханню, давати вдихати кисень (чистий або з добавкою вуглекислоти (CO₂) з масовою часткою 5 %). Потерпілого потрібно тримати в теплі, зігрівати грілками або теплими компресами до рук і ніг. При потребі – робити штучне дихання до прибуття лікаря.

2. Отруєння сірководнем

Ознаки отруєння: запаморочення, головний біль, нудота, загальна слабкість. У деяких випадках може настати раптова смерть внаслідок ураження дихальних шляхів.

Перша допомога: треба забезпечити потерпілому доступ свіжого повітря, дати вдихати кисень із добавкою вуглекислоти з масовою часткою 5–7 %.

3. Отруєння оксидами нітрогену

Ознаки отруєння: оксиди нітрогену насамперед діють на слизову оболонку і дихальні шляхи, потім зумовлюють подразнення очей, сухість у горлі, кашель, іноді нудоту і блювання. Отруєння оксидами нітрогену особливо небезпечне для осіб, які страждають захворюваннями серця.

Перша допомога: потерпілому дати дихати чистим киснем. У зв'язку з можливим набряканням легень і порушенням кровообігу слід уникати навантажень, потрібен повний спокій. Не допускати охолодження тіла.

4. Отруєння хлором

Ознаки отруєння: подразнювання верхніх дихальних шляхів, за тривалої дії кашель посилюється і може завершитися спазмом окремих ділянок дихальних шляхів, може зупинитися дихання. Навіть за короткочасної дії хлору треба остерігатися гострого набрякання легень.

Перша допомога: негайно вивести потерпілого на свіже повітря, звільнити від одягу, що заважає диханню. Дати дихати киснем або вдихати з ватки нашатирний спирт з етанолом, можна дати випити суспензію магній оксиду (10 г на склянку води). Покласти до рук і ніг потерпілого теплі компреси.

5. Отруєння сірчистим газом

Ознаки отруєння: подразнення слизових оболонок, кашель і чхання.

Перша допомога: потерпілого вивести на свіже повітря, вдихати нашатирний спирт з етанолом, застосувати інгаляцію розчином питної соди з масовою часткою натрій гідрогенкарбонату 2 %.

6. Отруєння амоніаком

Ознаки отруєння: подразнення слизових оболонок, сльозотеча і запалення очей, сильний кашель, жар у горлі. Крім того, у потерпілого з'являються нудота і приступи задухи.

Перша допомога: при отруєнні через вживання рідини з амоніаком дати випити велику кількість води з добавлянням до неї оцтової кислоти, викликати блювання, дати молока, ячний білок. При отруєнні внаслідок вдихання амоніаку вивести потерпілого на свіже повітря, вдихати пари розведеної оцтової кислоти.

7. Отруєння органічними рідинами

У разі потрапляння в організм через рот отруйних органічних рідин: ацетон, формалін, метанол, анілін тощо – необхідно викликати блювання, а потім дати молока і ячний білок.

В інших випадках необхідно:

– при отруєнні сірковуглецем – потерпілого вивести на свіже повітря, давати вдихати нашатирний спирт, дати валідол, напоїти міцним солодким чаєм;

– при отруєнні натрій флуоридом – створити потерпілому повний спокій, поїти молоком з ячним білком або дати вапняну воду;

– при отруєнні сульфатною кислотою – дати проковтнути шматочок льоду і покласти лід на живіт, прополоскати рот розчином калій перманганату з масовою часткою 2 %. Давати молоко, яєчний білок, розчин крохмалю.

Перша допомога при опіках

Під час роботи в хімічній лабораторії найбільш імовірними є термічні та хімічні опіки.

1. При термічних опіках I-го і II-го ступенів уражене місце обробляють етиловим спиртом, після чого накладають суху стерильну пов'язку або чисту тканину і звертаються до дерматолога. У жодному разі не можна проколувати пухирі, змочувати місця опіків водою, припікати їх розчином калій перманганату, брильянтової зелені, розчином йоду, застосовувати “народні засоби”, різні олії, вазелін, бо вони тільки підсилюють опіки, сповільнюють загоєння ран. При важких опіках необхідно негайно відправити потерпілого до лікувального закладу.

2. У випадку хімічних опіків уражену ділянку шкіри промивають великою кількістю прохолодної води протягом 15–20 хв. (забороняється обробляти обпечені місця ватним тампоном), потім промивають розчином питної соди з масовою часткою натрій гідрогенкарбонату 2 % (при потраплянні кислоти) або розчином оцтової чи лимонної кислоти з масовими частками 1–2 % (при потраплянні лугу), промивають водою і накладають марлеву пов'язку з фурациліном.

3. При опіках під час роботи з металічним натрієм, а також фосфором необхідно ватним тампоном зняти з поверхні шкіри ці речовини, а потім промити великою кількістю води.

4. При опіках фенолом уражене місце від країв до центру обробляють етиловим спиртом.

5. При опіках бромом слід швидко змити бром за допомогою етанолу. Після цього ушкоджене місце змазують маззю від опіків. У випадку вдихання парів бромоводню слід змочити вату етиловим спиртом і глибоко вдихати пари спирту, а потім випити молоко і вийти на свіже повітря.

**Загальні константи нестійкості (K_n) та
константи стійкості (β) деяких комплексних іонів**

Комплексний іон	K_n	β	Комплексний іон	K_n	β
<i>Амоніачні комплекси</i>					
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	$6,8 \cdot 10^{-8}$	$1,74 \cdot 10^7$	$[\text{Au}(\text{NH}_3)_2]^+$	$1,0 \cdot 10^{-27}$	$1,0 \cdot 10^{27}$
$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$	$3,63 \cdot 10^6$	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$3,63 \cdot 10^4$
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$1,28 \cdot 10^5$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	$3,1 \cdot 10^{-33}$	$3,22 \cdot 10^{32}$
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$7,25 \cdot 10^{10}$	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$2 \cdot 10^{-13}$	$1,07 \cdot 10^{12}$
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^8$	$[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	$1,2 \cdot 10^{-30}$	$8,33 \cdot 10^{29}$
$[\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$5,2 \cdot 10^{-20}$	$1,99 \cdot 10^{19}$	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^9$
<i>Бромідні</i>					
$[\text{AgBr}_2]^-$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$2,19 \cdot 10^7$	$[\text{AgBr}_4]^{3-}$	$7,9 \cdot 10^{-14}$	$1,27 \cdot 10^{13}$
$[\text{CdBr}_4]^{2-}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5,01 \cdot 10^3$	$[\text{HgBr}_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-21}$	$1,0 \cdot 10^{21}$
$[\text{CuBr}_2]^-$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^5$	$[\text{PbBr}_4]^{2-}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^2$
<i>Іодидні</i>					
$[\text{AgI}_2]^-$	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$5,5 \cdot 10^{11}$	$[\text{AgI}_4]^{3-}$	$7,9 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^8$
$[\text{CdI}_4]^{2-}$	$4,46 \cdot 10^{-6}$	$2,24 \cdot 10^5$	$[\text{CuI}_2]^-$	$1,72 \cdot 10^{-9}$	$5,8 \cdot 10^8$
$[\text{HgI}_4]^{2-}$	$5,0 \cdot 10^{-31}$	$6,76 \cdot 10^{29}$	$[\text{PbI}_4]^{2-}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$7,01 \cdot 10^3$
<i>Хлоридні</i>					
$[\text{AgCl}_2]^-$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^5$	$[\text{AgCl}_4]^{3-}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^5$
$[\text{AuCl}_2]^-$	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$2,63 \cdot 10^9$	$[\text{AuCl}_4]^-$	$5,0 \cdot 10^{-22}$	$2,0 \cdot 10^{21}$
$[\text{CuCl}_2]^-$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$2,24 \cdot 10^5$	$[\text{CdCl}_4]^{2-}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^2$
$[\text{HgCl}_4]^{2-}$	$6,0 \cdot 10^{-17}$	$1,67 \cdot 10^{16}$	$[\text{PbCl}_4]^{2-}$	$7,08 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^2$
$[\text{SnCl}_4]^{2-}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$6,67 \cdot 10^6$	$[\text{SnCl}_6]^{2-}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$6,61 \cdot 10^6$
$[\text{BiCl}_6]^{3-}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$3,85 \cdot 10^5$	$[\text{PtCl}_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{16}$
<i>Флуоридні</i>					
$[\text{AlF}_6]^{3-}$	$2,1 \cdot 10^{-21}$	$4,76 \cdot 10^{20}$	$[\text{FeF}_6]^{3-}$	$7,94 \cdot 10^{-17}$	$1,26 \cdot 10^{16}$
$[\text{BeF}_4]^-$	$4,17 \cdot 10^{-17}$	$2,4 \cdot 10^{16}$			
<i>Нітрокомплекси</i>					
$[\text{Cd}(\text{NO}_2)_4]^{2-}$	$7,69 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^3$	$[\text{Hg}(\text{NO}_2)_4]^{2-}$	$2,86 \cdot 10^{-14}$	$3,5 \cdot 10^{13}$
<i>Гідроксокомплекси</i>					
$[\text{Ag}(\text{OH})_2]^-$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^4$	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$	$1,0 \cdot 10^{-33}$	$1,0 \cdot 10^{33}$
$[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$	$7,6 \cdot 10^{-17}$	$3,63 \cdot 10^{14}$	$[\text{Cd}(\text{OH})_4]^{2-}$	$5,5 \cdot 10^{-16}$	$1,8 \cdot 10^{15}$
$[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$	$2,5 \cdot 10^{-29}$	$4,0 \cdot 10^{28}$	$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	$1,6 \cdot 10^{-16}$	$6,25 \cdot 10^{15}$
$[\text{Fe}(\text{OH})_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$	$4,0 \cdot 10^{-35}$	$2,5 \cdot 10^{34}$
<i>Ціанідні</i>					
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	$7,94 \cdot 10^{-22}$	$1,26 \cdot 10^{21}$	$[\text{Ag}(\text{CN})_4]^{2-}$	$2,09 \cdot 10^{-21}$	$4,8 \cdot 10^{20}$
$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	$5,0 \cdot 10^{-39}$	$2 \cdot 10^{38}$	$[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	$1,0 \cdot 10^{-56}$	$1 \cdot 10^{56}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-17}$	$1,0 \cdot 10^{17}$	$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$	$1,0 \cdot 10^{-24}$	$1,0 \cdot 10^{24}$

$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$	$8,1 \cdot 10^{-20}$	$1,2 \cdot 10^{19}$	$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$	$1,0 \cdot 10^{-64}$	$1,0 \cdot 10^{64}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	$1,26 \cdot 10^{-37}$	$7,94 \cdot 10^{36}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	$1,26 \cdot 10^{-44}$	$7,94 \cdot 10^{43}$
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$	$4,0 \cdot 10^{-42}$	$2,5 \cdot 10^{41}$	$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-31}$	$1,0 \cdot 10^{31}$
$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$	$2,4 \cdot 10^{-20}$	$2,2 \cdot 10^{19}$			
Тіоціанатні					
$[\text{Ag}(\text{NCS})_2]^-$	$2,14 \cdot 10^{-10}$	$4,67 \cdot 10^9$	$[\text{Au}(\text{NCS})_2]^-$	$1,0 \cdot 10^{-23}$	$1,0 \cdot 10^{23}$
$[\text{Au}(\text{NCS})_4]^-$	$1,0 \cdot 10^{-42}$	$1,0 \cdot 10^{42}$	$[\text{Cd}(\text{NCS})_4]^{2-}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^2$
$[\text{Cu}(\text{NCS})_4]^{2-}$	$3,03 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^6$	$[\text{Cu}(\text{NCS})_2]^-$	$7,69 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{12}$
$[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^3$	$[\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}$	$5,88 \cdot 10^{-22}$	$1,7 \cdot 10^{21}$
$[\text{Fe}(\text{NCS})_6]^{3-}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^3$	$[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^3$
Тіосульфатні					
$[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$	$5,4 \cdot 10^{-13}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$	$5,88 \cdot 10^{-13}$	$1,7 \cdot 10^{12}$
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$	$3,5 \cdot 10^{-14}$	$2,88 \cdot 10^{13}$	$[\text{Zn}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$	$2,56 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^4$
$[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$	$2,44 \cdot 10^{-34}$	$4,1 \cdot 10^{33}$	$[\text{Cd}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$	$3,45 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^6$
Оксалатні					
$[\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$	$5,0 \cdot 10^{-17}$	$2,0 \cdot 10^{16}$	$[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$5,0 \cdot 10^9$
$[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	$2,8 \cdot 10^{15}$	$[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$2,0 \cdot 10^{10}$
$[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$1,67 \cdot 10^5$	$[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$	$6,3 \cdot 10^{-21}$	$1,59 \cdot 10^{20}$
$[\text{Ni}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-}$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^8$	$[\text{Zn}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$3,57 \cdot 10^7$
Комплекси з етилендіаміном					
$[\text{Ag}(\text{en})_2]^{2+}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^4$	$[\text{Cd}(\text{en})_3]^{2+}$	$5,0 \cdot 10^{-13}$	$2,0 \cdot 10^{12}$
$[\text{Cu}(\text{en})_2]^{2+}$	$7,4 \cdot 10^{-21}$	$1,35 \cdot 10^{20}$	$[\text{Co}(\text{en})_3]^{2+}$	$7,9 \cdot 10^{-15}$	$1,27 \cdot 10^{14}$
$[\text{Fe}(\text{en})_3]^{2+}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$5,26 \cdot 10^9$	$[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$	$7,4 \cdot 10^{-19}$	$1,35 \cdot 10^{18}$

ДОДАТОК 3

Добутки розчинності (ДР) важкорозчинних речовин

Формула речовини	ДР	Формула речовини	ДР
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	FeCO ₃	$3,47 \cdot 10^{-11}$
AgCN	$1,4 \cdot 10^{-16}$	Fe(OH) ₂	$1,0 \cdot 10^{-15}$
Ag ₂ CO ₃	$8,2 \cdot 10^{-12}$	Fe(OH) ₃	$3,2 \cdot 10^{-38}$
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	FePO ₄	$1,3 \cdot 10^{-22}$
Ag ₂ CrO ₄	$1,1 \cdot 10^{-12}$	FeS	$5,0 \cdot 10^{-18}$
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	$1 \cdot 10^{-10}$	HgO	$3,0 \cdot 10^{-26}$
AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	Hg ₂ O	$1,6 \cdot 10^{-23}$
Ag ₃ PO ₄	$1,3 \cdot 10^{-20}$	HgS	$1,6 \cdot 10^{-52}$
Ag ₂ SO ₃	$1,5 \cdot 10^{-14}$	Hg ₂ S	$1,0 \cdot 10^{-47}$
Ag ₂ S	$6,3 \cdot 10^{-50}$	MgCO ₃	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Al(OH) ₃	$1 \cdot 10^{-32}$	MgF ₂	$6,5 \cdot 10^{-9}$
AlPO ₄	$5,75 \cdot 10^{-19}$	Mg(OH) ₂	$1,8 \cdot 10^{-11}$
BaCO ₃	$5,1 \cdot 10^{-9}$	Mg ₃ (PO ₄) ₂	$1,0 \cdot 10^{-13}$
BaCrO ₄	$1,2 \cdot 10^{-10}$	MnS	$2,5 \cdot 10^{-13}$

Ba ₃ (PO ₄) ₂	6,03·10 ⁻³⁹	Ni ₂ [Fe(CN) ₆]	1,3·10 ⁻¹⁵
BaSO ₃	8,0·10 ⁻⁷	Ni(CN) ₂	3,0·10 ⁻²³
BaSO ₄	1,1·10 ⁻¹⁰	NiCO ₃	1,3·10 ⁻⁷
BeCO ₃	1,0·10 ⁻³	Ni(OH) ₂	2,0·10 ⁻¹⁵
Be(OH) ₂	6,3·10 ⁻²²	NiS	1,0·10 ⁻²⁴
BiI ₃	8,1·10 ⁻¹⁹	PbBr ₂	1,0·10 ⁻²⁴
Bi ₂ S ₃	1,0·10 ⁻⁹⁷	PbCO ₃	7,5·10 ⁻¹⁴
CaCO ₃	4,8·10 ⁻⁹	PbCl ₂	1,6·10 ⁻⁵
CaCrO ₄	7,1·10 ⁻⁴	PbF ₂	2,7·10 ⁻⁸
CaF ₂	4,0·10 ⁻¹¹	PbI ₂	1,1·10 ⁻⁹
Ca ₃ (PO ₄) ₂	2,0·10 ⁻²⁹	PbCrO ₄	1,8·10 ⁻¹⁴
CaSO ₄	9,1·10 ⁻⁶	Pb(OH) ₂	1,1·10 ⁻²⁰
CdCO ₃	5,2·10 ⁻¹²	PbS	2,5·10 ⁻²⁷
Cd(OH) ₂	5,9·10 ⁻¹⁵	PbSO ₄	1,6·10 ⁻⁸
CdS	7,9·10 ⁻²⁷	Sb ₂ S ₃	1,6·10 ⁻⁹³
CoCO ₃	1,4·10 ⁻¹³	Sn(OH) ₂	6,3·10 ⁻²⁷
Co(OH) ₂	2,0·10 ⁻¹⁵	Sn(OH) ₄	1,0·10 ⁻⁵⁷
Co(OH) ₃	4,0·10 ⁻⁴⁵	SnS	1,0·10 ⁻²⁵
CoS	4,0·10 ⁻²¹	SrCO ₃	1,0·10 ⁻¹⁰
Cr(OH) ₃	6,3·10 ⁻³¹	SrCrO ₄	3,6·10 ⁻⁵
CrPO ₄	2,4·10 ⁻²³	SrF ₂	2,5·10 ⁻⁹
CuBr	5,25·10 ⁻⁹	Sr(OH) ₂	3,2·10 ⁻⁴
CuCN	3,2·10 ⁻²⁰	TlBr	3,9·10 ⁻⁶
CuI	1,1·10 ⁻¹²	TlI	6,5·10 ⁻⁸
CuCl	1,2·10 ⁻⁶	TlCl	1,7·10 ⁻⁴
Cu ₂ S	2,5·10 ⁻⁴⁸	Tl(OH) ₃	6,3·10 ⁻⁴⁶
CuS	6,3·10 ⁻³⁶	Tl ₂ CrO ₄	9,8·10 ⁻¹³
Cu ₂ S	2,5·10 ⁻⁴⁸	Tl ₃ PO ₄	6,8·10 ⁻⁸
Cu(OH) ₂	2,2·10 ⁻²⁰	Zn(OH) ₂	7,1·10 ⁻¹⁸
(CuOH) ₂ CO ₃	1,7·10 ⁻³⁴	Zn ₃ (PO ₄) ₂	9,1·10 ⁻³³
CuCO ₃	2,5·10 ⁻¹⁰	ZnS	1,6·10 ⁻²³

Навчально-методичне видання

**Оксана Мар'янівна Строк,
Ірина Іванівна Мазурець**

КООРДИНАЦІЙНА ХІМІЯ

Методичні вказівки до лабораторних занять

Друкується в авторській редакції