

## Комплексоутворення в біологічних системах

За своїм складом хімічні сполуки поділяються на прості та складні. Наприклад,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $Na$ ,  $K$  — прості сполуки;  $H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaCl$ ,  $KOH$  — складні сполуки.

В кінці XIX століття були одержані ще більш складні за своєю структурою і складом молекулярні сполуки, так звані **комплексні**, або **координаційні**:  $K_3[Fe(CN)_6]$ ,  $K_4[Fe(CN)_6]$ ,  $[Zn(NH_3)_4](OH)_2$ .

До координаційних сполук належать також ферменти, більшість гормонів, хлорофіл, гемоглобін, деякі лікарські препарати та інші біологічно активні речовини. Є такі визначення комплексних сполук:

*Комплексними* називаються сполуки, в кутах кристалічної решітки яких розміщені комплексні іони, здатні до самостійного існування у розчинах.

Кординаційна теорія **Альфреда Вейнера** пояснює основні властивості комплексних сполук.

Згідно з цією теорією в кожній комплексній сполуці є **центральний атом** (іон), або **комплексоутворювач** (центральний атом або центральний іон). Навколо центрального атома, центрального іону розташовані (координовані) в певному порядку інші іони, атоми або молекули, що називаються **лігандами** (**адендами**).

Центральний атом (центральний іон), або комплексоутворювач, зв'язаний з лігандами полярним ковалентним зв'язком за донорно-акцепторним механізмом і утворює **внутрішню сферу комплексу**. При цьому центральний атом — акцептор електронної пари, ліганди — донори електронної пари. Внутрішня сфера в формулах комплексних сполук записується в квадратних дужках. Внутрішня сфера комплексу може бути нейтральною або нести позитивний чи негативний заряд. У більшості випадків навколо внутрішньої сфери утворюється ще і зовнішня — із іонів, що не зв'язані безпосередньо з центральним атомом чи центральним іоном. Між внутрішньою та зовнішньою сферами комплексу існує, як правило, іонний зв'язок.

Число лігандів, що координуються навколо центрального атома, або комплексоутворювача, визначає його **координаційне число** (к.ч.).

*Число зв'язків, за допомогою яких ліганди безпосередньо сполучені з центральним атомом, називається координаційним числом центрального атома.*

Період	Координаційне число
I	2
II	2, 3, 4
III	2, 3, 4, 5, 6
IV	2, 3, 4, 5, 6, 7
V	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
VI	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
VII	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Найкращі координаційні властивості мають d-елементи.

### Завдання

1. Складіть координаційну формулу для сполуки  $NH_3$ , беручи до уваги, що координаційне число  $KCl \cdot PtCl_2$  комплексоутворювача дорівнює 6.



2. Складіть координаційну формулу для сполуки  $\text{H}_2\text{O}$ , беручи до уваги, що координаційне число  $4\text{NH}_3 \cdot \text{CoCl}_3$  комплексоутворювача дорівнює 6.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}]\text{Cl}$
3. Складіть координаційну формулу для сполуки  $2\text{H}_2\text{O}$ , беручи до уваги, що координаційне число  $4\text{NH}_3 \cdot \text{CoBr}_3$  комплексоутворювача дорівнює 6.  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]\text{Br}_3$
4. Оберіть координаційну формулу для сполуки  $\text{PtCl}_4$  беручи до уваги, що координаційне число комплексоутворювача дорівнює 6:  
 а)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]\text{Cl}_3$ ; б)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]\text{Cl}$ ; в)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$ ; г)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_4]$ .
5. Виберіть правильно складену координаційну формулу комплексної сполуки:  
 а)  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  
 б)  $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{CN})_4]$ ;  
 в)  $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  
 г)  $\text{Na}_4[\text{Fe}(\text{CN})_4]$ .
6. Виберіть правильно складену координаційну формулу комплексної сполуки:  
 а)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{OH})_4$ ;  
 б)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3]$ ;  
 в)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})_5]\text{OH}$ ;  
 г)  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3](\text{OH})_2$ .

Найважливішим висновком координаційної теорії А. Вернера є положення про просторовий характер координації лігандів центральним атомом.

У координаційних сполуках з координаційним числом 4 може бути реалізовано три геометричні фігури: квадрат, тетраедр і тетрагональна піраміда.

Сполукам з координаційним числом 6 відповідає геометрична конфігурація октаедр.

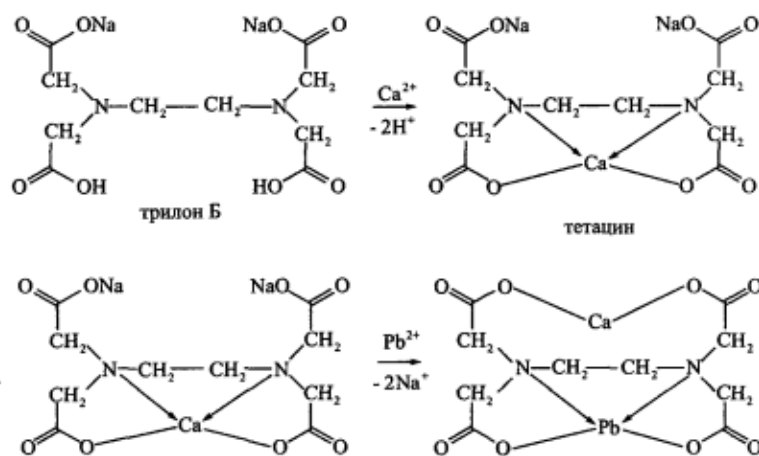
### ***Дентатність визначається числом місць, які ліганди займають у внутрішній координаційній сфері комплексу.***

Ліганди, які приєднуються до комплексоутворювача одним  $\sigma$ -зв'язком, є **монодентними** ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ). Якщо ліганд приєднаний до комплексоутворювача двома  $\sigma$ -зв'язками, то його називають **бідентатним** ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ), а якщо декількома  $\sigma$ -зв'язками – **полідентатним** ( $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_2\text{OOC})$ ). Полідентатні ліганди звичайно утворюють циклічні угруповання (хелати). Дентатність може бути змінною залежно від природи комплексного іона.

Комплексоутворювач з лігандами складають **внутрішню координаційну сферу**, при цьому число лігандів, що оточують комплексоутворювач, називають **координаційним числом**. Координаційне число є величиною змінною і залежить від електронної структури комплексоутворювача, а також заряду лігандів. Найбільш поширені координаційні числа 4 і 6 (однак відомі комплекси з координаційними числами від 2 до 8 і вище).

Підвищена міцність комплексних сполук з полідентатними лігандами називається **хелатним ефектом**. Вона зумовила велике поширення полідентатних лігандів (**комплексонів**) для підтримки метало-лігандного гомеостазу та виведення із організму іонів токсичних металів.

У медичній практиці як **антидоти** широко використовують солі етилендіамінотетраоцтової кислоти (ЕДТА), серед яких найбільш доступною є натрієва сіль, відома як **трилон Б**. Схематично дію трилону Б при отруєнні можна представити:



За знаком електричного заряду внутрішньої сфери всі відомі координаційні сполуки можна поділити на три класи:

1. Катіонні комплекси (внутрішня сфера має позитивний заряд). Наприклад,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  — дихлоридтетраамін цинку.
2. Аніонні комплекси (внутрішня сфера має негативний заряд). Наприклад,  $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$  — гексагідроксоалюмінат калію.
3. Нейтральні комплекси. Наприклад,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  — дихлордиаміноплатина (II).

За знаком заряду комплексного іона розрізняють:

**-аніонні комплекси**, наприклад

$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – гексаціаноферат(II) калію;

$\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  – тетрагідроксоалюмінат(III) натрію.

Назви утворюються так: спочатку вказують кількість лігандів (ди-, три-, тетра-, пента-, гекса- і т.д.), потім назви лігандів у алфавітному порядку ( $\text{NH}_3$  -амін;  $\text{H}_2\text{O}$ -аква; -Cl-хлоро). Далі називають комплексоутворювач з додаванням закінчення -ат і ступені його окиснення у дужках. Наприкінці окремим словом зазначають назву зовнішньої сфери у родовому відмінку:

**-катіонні комплекси**, наприклад:

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$  – хлорид діаміносрібла (I);

$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Br}$  – бромід гексааквахром (III).

Назви утворюються так: спочатку вказують назву аніонів зовнішньої координаційної сфери, а потім окремим словом координаційний іон як описано вище, тільки іон комплексоутворювач зазначається у називному відмінку;

**-нейтральні комплекси**, наприклад:

$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}_3]$  – триакватрихлороалюміній;

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{CN})_2]$  – діаміндиціаноплатина.

**Завдання**

1. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ :

- а) хлорид діакватриамінонікелю (III); б) хлорид діакватриамінонікелю (II);  
в) діакватетраамінікель (II) хлорид; г) дихлордіакватетраамінонікелят (III).

2. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $\text{K}[\text{VF}_6]$ :

- а) гексафлуорованадат (IV) калію; б) калій гексафлуорованадат (V);  
в) флуорид калію-ванадію (IV); г) калій гексафлуорованадат (III).

3. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}]\text{Cl}$ :
- а) дихлорид хлороаквадіамінопаладію (II); б) дихлородіаквадіамінопаладію (II);  
 в) хлорид аквадіамінхлоропаладій (II); г) дихлородіамінаквапаладій (II).
4. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $\text{K}_2[\text{HgI}_2(\text{CN})_2]$ :
- а) дейодотетраціаногідраргірумат (IV) калію; б) калій дейододиціаномеркурат (II);  
 в) тетраїододиціаногідраргірумат (IV) калію; г) дейододиціаномеркурат (II) калію.
5. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ :
- а) трихлоротетрааквахром (VI); б) трихлорид тетрааквахрому (IV);  
 в) тетрааквадихлорохрому (III) хлорид; г) гідрат хлориду хрому (II).
6. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $\text{K}[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]$ :
- а) комплексний гідроксид алюмінію-калію; б) діакватетрагідроксоалюмінат калію;  
 в) гідроксоакваалюмінієвий комплекс калію; г) калійний аквагідроксоалюмінат.
7. Відповідно до міжнародної номенклатури наведіть назву комплексної сполуки складу  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_2]\text{Cl}$ :
- а) хлорид дихлороакватриамінокобальту (III); б) хлорид акватриаміндихлорокобальту (III);  
 в) хлорид акватриамінокобальту (II); г) трихлороакватриамінокобальт (III).

*Класифікація комплексних сполук за природою лігандів:*

-аміакати і амінати мають у своєму складі молекули аміаку або амінів, як ліганди, наприклад  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{CN})_2]$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ ;

-аквакомплекси, де лігандами є молекули води, наприклад  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}_3]$ ;

-ацидосполуки - це сполуки, де лігандами є кислотні залишки, наприклад  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

-гідроксокомплекси, де як ліганди виступають іони  $\text{OH}^-$ , наприклад  $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_3]$ ;

-хелатні комплекси, де як ліганди є поліаміни, поліамінокислоти, полікислоти, тобто полідентатні та бідентатні ліганди. Наприклад, хелатні сполуки утворюють  $\alpha$ -амінокислоти з іонами  $\text{Cu}^{+2}$ .

**Завдання**

- Назвіть, які частинки можуть утворювати зовнішню сферу комплексного йона  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_2\text{Br}_4]^{2-}$ : а)  $\text{K}^+$ ; б)  $\text{NH}_3$ ; в)  $\text{Br}^-$ ; г)  $\text{SO}_4^{2-}$ .
- Назвіть, які частинки можуть утворювати зовнішню сферу комплексного йона  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})_4]^-$ : а)  $\text{Cr}^{3+}$ ; б)  $\text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{OH}^-$ ; г)  $\text{Na}^+$ .
- Зазначте, які частинки можуть утворювати зовнішню сферу комплексного йона  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]x$ : а)  $\text{OH}^-$ ; б)  $\text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{NH}_4^+$ ; г)  $\text{NH}_3$ .

***Зміна розміщення лігандів призводить до змін властивостей сполуки, тобто, до ізомерії.***

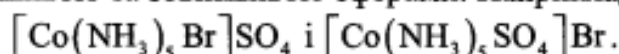
Для комплексних сполук відомі такі види ізомерії: геометрична (цис-, транс-ізомерія), координаційна, іонізаційна, сольватна (гідратна), оптична, ізомерія зв'язку тощо.

**Геометрична ізомерія** в комплексних сполуках спостерігається тоді, коли ліганди у внутрішній сфері розміщуються по-різному відносно один одного. Наприклад, у сполуці  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  — дихлордіамінплатина (II) — яка має плоску структуру квадратної форми і характеризується координаційним числом 4, два однакових ліганди можуть розміщуватися по ребру, тобто, з одного боку (цис-ізомер), або по діагоналі (транс-ізомер):

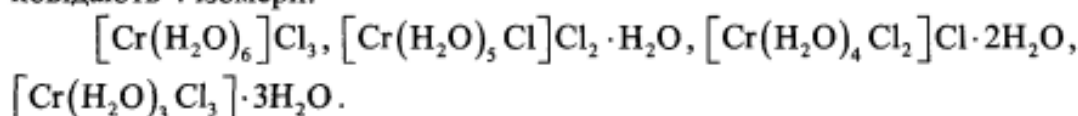


Якщо координаційна сполука складається з двох або більше комплексів, то різні центральні атоми можуть обмінюватися своїми лігандами без зміни загального складу. У цьому і полягає **координаційна ізомерія**. Наприклад,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} [\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$  і  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+} [\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ .

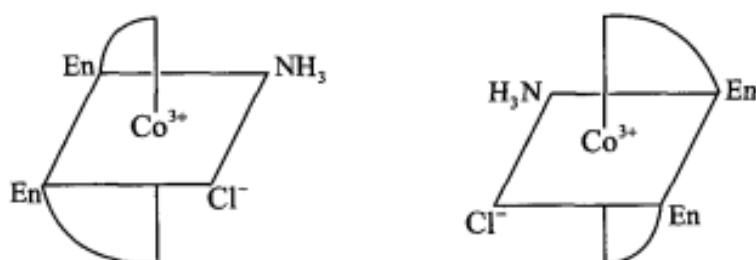
**Іонізаційна ізомерія** зумовлена різним розподілом кислотних залишків між внутрішньою та зовнішньою сферами. Наприклад:



Причиною **сольватної ізомерії** є неоднаковий розподіл молекул розчинника між внутрішньою та зовнішньою сферами координаційної сполуки. Для кристалогідратів таку ізомерію називають **гідратною**. Наприклад, кристалам гідрату хлориду хрому (III) складу  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  відповідають 4 ізомери:



**Оптичні ізомери** відносяться один до одного як предмет і його дзеркальне відображення. Два оптичні ізомери обертають площину поляризації світла на однаковий кут, але один — вправо, а другий — вліво. Наприклад, цис-ізомер катіона сполуки  $[\text{CoEn}_2\text{NH}_3\text{Cl}]\text{Cl}_2$  (En-етилендіамін) може бути у вигляді двох оптичних ізомерів:



За фізичними і хімічними властивостями оптичні ізомери практично не відрізняються один від одного.

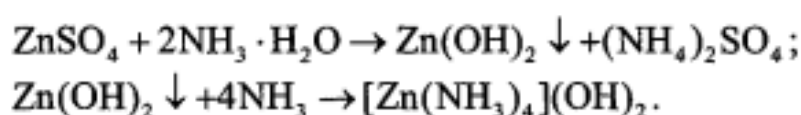
**Ізомерія зв'язку** може виявлятися тоді, коли ліганди містять два різних атоми, що здатні координуватися навколо центрального атома. Наприклад, у солях  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{ONO}]\text{X}_2$  і  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_2]\text{X}_2$  група  $\text{ONO}$  зв'язана з  $\text{Co}$  (III) через кисень, а група  $\text{NO}_2$  — через нітроген.

Координаційні сполуки можуть утворюватися в результаті трьох типів взаємодій:

1. Іон — молекула; наприклад, утворення сполуки  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})$ ;
2. Іон — іон; наприклад, утворення сполуки  $\text{K}_3[\text{CoCl}_6]$ ;
3. Молекула — молекула; наприклад, утворення сполуки  $\text{H}_3\text{N} \cdot \text{BF}_3$ .

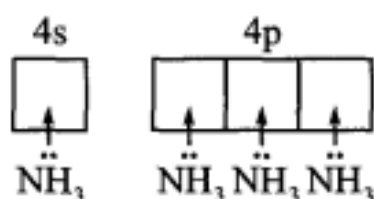
У всіх випадках механізм утворення ковалентного зв'язку між центральними атомами і лігандами — **донорно-акцепторний**, тобто, ковалентні зв'язки утворюються не внаслідок спарювання електронів різних атомів і виникнення спільних (однієї чи більше) електронних пар, а за рахунок електронної пари, яка переходить від одного атома до іншого. При цьому атом, який віддає свою неподілену електронну пару, називається **донором**; атом, який має вільну вакантну орбіталь і приймає електронну пару, називається **акцептором**. Акцептором електронів найчастіше виступають іони металів ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Au}^+$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  тощо) з вакантними орбіталями, а також неметали (бор в сполуці  $\text{H}[\text{BF}_4]$  або силіцій в сполуці  $\text{H}_2[\text{SiF}_6]$ ). Донорами електронів можуть бути нейтральні молекули ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , етилендіамін) або негативно заряджені іони ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  тощо).

Розглянемо, наприклад, утворення ковалентного зв'язку за донорно-акцепторним механізмом в іоні  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ :

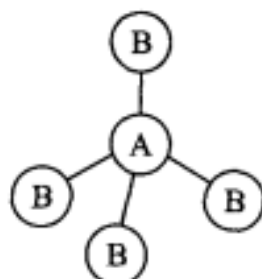


Електронні формули: атома цинку (№ 30):  $1s^2 2s^2 2p^6 3d^{10} 4s^2$ ; іона цинку:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^0 4p^0$ .

Іон цинку має чотири вакантні орбіталі (одну  $4s$  і три  $4p$ ), на які переходять чотири неподілені пари електронів нітрогену:



Комбінація з чотирьох орбіталей — однієї  $s$  і трьох  $p$ -орбіталей — призводить до  $sp^3$ -гібридації. Чотири гібридизовані орбіталі симетрично орієнтовані у просторі до чотирьох вершин тетраедра, тобто під кутом  $109^\circ 28'$ ; тетраедрична конфігурація:

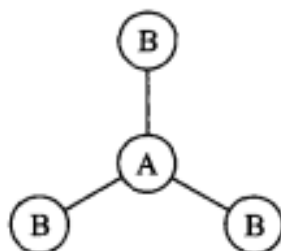


Із  $s$ - та  $p$ -орбіталей можливі ще такі типи гібридації як  $sp$  та  $sp^2$ :

**$sp$ -гібридація.** Одна  $s$ - і одна  $p$ -орбіталь утворюють дві  $sp$ -гібридні орбіталі, розміщені симетрично під кутом  $180^\circ$ ; лінійна конфігурація:



**$sp^2$ -гібридація.** Комбінація однієї  $s$ - і двох  $p$ -орбіталей призводить до утворення  $sp^2$ -гібридних зв'язків, розташованих під кутом  $120^\circ$ ; плоска трикутна конфігурація:



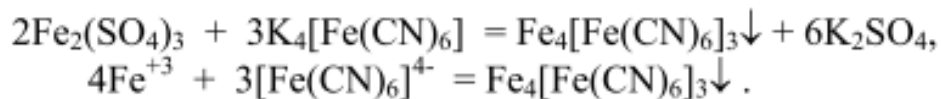
Крім розглянутих вище, можливі й інші типи гібридації за участю  $d$ - і  $f$ -орбіталей:  $sp^3d$ -,  $sp^3d^2$ -,  $sp^3d^3$ -,  $sp^3d^3f$ - тощо (див. табл. 1.6).

В живому організмі  $d$ -елементи в біохімічних процесах беруть участь у вигляді біокомплексів металів (див. табл. 1.8).

Лігандами в цих біокомплексах, як видно з таблиці, можуть виступати кислотні залишки, пептиди, білки, гормони, нуклеїнові кислоти та деякі інші біологічно активні речовини. Біокомплекси  $d$ -металів з білковими молекулами називаються **біокластерами**. Всередині біокластера знаходиться порожнина. До неї входить атом металу, який взаємодіє з донорними атомами груп: гідроксильних —  $\text{OH}^-$ , сульфгідрильних —  $\text{SH}^-$ , карбоксильних —  $\text{COO}^-$ , аміногруп —  $\text{NH}_3^+$  білків, амінокислот. В залежно-

сті від розмірів порожнини, а також від природи електродонорних атомів, що її утворюють, від їх розташування в просторі до порожнини можуть потрапити тільки "вибрані" метали. Для цього необхідно, щоб діаметр іонів металів відповідав діаметру порожнини.

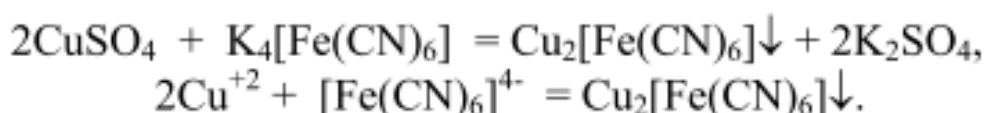
Комплексні сполуки утворюються при дії на іони заліза (III) гексаціаноферату(II) калію (жовтої кров'яної солі). Одержаний осад має синє забарвлення – “берлінська лазур”.



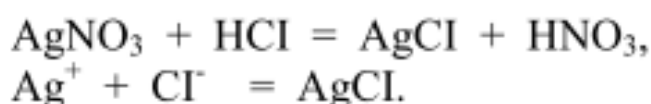
На цей час встановлено, що реакція відбувається з утворенням осаду такої будови:



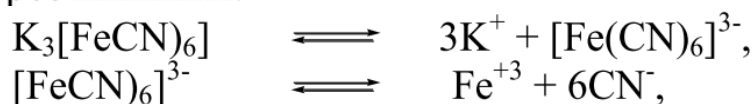
Утворення червоно-бурого осаду гексаціаноферату (II) міді відбувається при додаванні гексаціаноферату(II) калію до розчину, який вміщує іони міді(II)



Дія розчину хлороводневої кислоти на солі срібла(I) приводить до утворення білого осаду



Координаційні зв'язки в комплексних іонах полярні. Комплексні іони з високою полярністю зв'язку здатні дисоціювати при розчиненні у полярних розчинниках.



$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Fe}^{+3}][\text{CN}^-]^6}{[[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}]}.$$

Стала нестійкості є мірою стійкості комплексного іона, чим вона менша, тим більш стійкішим є комплексний іон. Величина зворотна сталій нестійкості комплексного іона називається *сталю стійкістю* комплексного іона  $K_{\text{ст}} = 1/K_{\text{нест}}$ .



## Завдання

Які частинки утворюються внаслідок первинної дисоціації комплексної сполуки

$\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NH}_3)]$ :

а)  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NH}_3$ ;

б)  $\text{NaCN}$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_3$ ,  $\text{NH}_3$ ;

в)  $\text{Na}^+$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NH}_3)]^{2-}$ ;

г)  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_2$ ,  $\text{NH}_3$ .

Внаслідок повної дисоціації?

комплексних сполук аргентуму (I), якщо відомий хімічний склад цих сполук: а)  $\text{AgCN} \cdot \text{KCN}$ ; б)  $\text{AgCl} \cdot 2\text{NH}_3$  (к. ч.  $\text{Ag}^+ = 2$ ).

45. Написати координаційні формули комплексних сполук, якщо відомий їх склад: а)  $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{NH}_3$ ; б)  $2\text{KOH} \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$ ; в)  $\text{HgI}_2 \cdot 2\text{KI}$ . Координаційне число комплексоутворювачів дорівнює 4. Класифікувати їх за зарядом комплексного іона.

46. Скласти формули ацидокомплексних сполук ванадію (III) з іонами:  $\text{F}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , що виступають як ліганди. Координаційне число ванадію дорівнює 6.

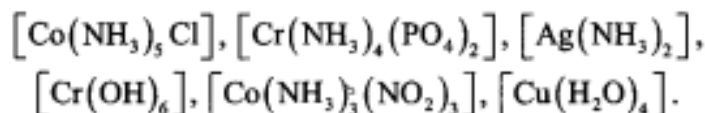
47. Визначити заряд комплексного іону, ступінь окиснення та координаційне число (к. ч.) комплексоутворювача у сполуках:  $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$ ;  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ ;  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ .

48. Визначити заряд комплексного іону, ступінь окиснення та координаційне число (к. ч.) комплексоутворювача у сполуках:  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ ;  $\text{Cu}[\text{PtCl}(\text{OH})_5]$ ;

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}]\text{NO}_3$ .

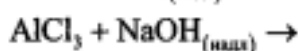
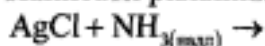
49. Написати рівняння реакцій (не менше двох) утворення катіонних та аніонних комплексів. Назвати складові частини комплексних сполук.

50. Знайти заряди комплексних іонів і вказати серед них катіони, аніони і неелектроліти:



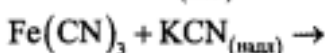
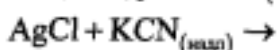
Дописати зовнішні сфери.

51. Написати рівняння утворення комплексних сполук:



Назвати їх складові частини.

52. Написати рівняння реакцій комплексоутворення:



Класифікувати утворені комплексні сполуки за природою ліганду та за зарядом комплексного іона.