

## Занятие № 9

**Тема: Комплексные соединения в организме человека и их применение в медицине**

**Цель:** Сформировать представление о единстве состава, структуры и свойств комплексных соединений как основы для понимания связи пространственного строения жизненно важных комплексов с их биологической активностью.

**Значимость темы:** Теория лигандообменных равновесий формирует предпосылки для изучения метаболических реакций с участием металлоферментов и других соединений, содержащих в своем составе ионы металлов. Она даёт понимание причин нарушения металло-лигандного гомеостаза и подсказывает пути коррекции этого вида патологии. Реакции образования комплексных соединений лежат в основе хелатотерапии.

### Исходный уровень

1. Строение электронных оболочек атомов и ионов.
2. Типы химических связей: ковалентная (полярная, неполярная), ионная.
3. Донорно-акцепторный механизм образования ковалентной связи.
4. Основные классы неорганических соединений: кислоты, основания, соли.
5. Формулы и заряды анионов:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ .
6. Константа диссоциации (ионизации) слабого электролита как частный случай константы химического равновесия.
7. Конкуренция за катион или анион в протолитических и гетерогенных равновесиях.
8. Основные принципы номенклатуры неорганических соединений.
9. Общие понятия о комплексных соединениях.

### Содержание занятия

#### Вопросы для рассмотрения:

1. Комплексные соединения и комплексные частицы.
2. Координационная теория Вернера (с учетом современных представлений о строении атомов и молекул): основные положения, примеры. Комплексные соединения в организме человека (примеры).
3. Пространственное строение комплексных частиц.
4. Внутрикислотные соединения: определение, примеры. Роль процессов хелатирования в организме человека и их значение в медицине.
5. Константы нестойкости и устойчивости комплексных частиц: определение, примеры, использование для установления возможности протекания реакций (в том числе при нарушении металло-лигандного гомеостаза и в хелатотерапии).
6. Биокислотные соединения: гемоглобин и его производные, карбоангидраза, витамин  $\text{B}_{12}$  (пространственное строение, функции, электронное строение, тип гибридизации и координационное число комплексообразователя). Связь конфигурации биокислотных соединений с их биологической функцией.
7. Термодинамические принципы хелатотерапии.
8. Металло-лигандный гомеостаз и причины его нарушения.

#### Задачи

1. При взаимодействии хлорида железа (II) с цианидом калия образуется комплексное соединение с координационным числом комплексообразователя равным шести.  
Составьте соответствующее уравнение реакции.  
Напишите уравнения реакций первичной и вторичной диссоциации полученного комплексного продукта.

Напишите выражение константы нестойкости.

Рассчитайте координационное число комплексообразователя.

Приведите примеры комплексных соединений железа организма человека.

2. Составьте формулу комплексной частицы состоящей из трехзарядного кобальта, четырех молекул воды и двух хлорид-анионов.

Рассчитайте её заряд.

Укажите комплексообразователь и лиганды.

Напишите уравнение реакции диссоциации предложенного Вами комплекса.

Напишите выражение константы нестойкости.

Назовите ионы, которые могут входить во внешнюю сферу соединения с данным комплексом.

Предложите примеры возможных комплексных соединений с указанными Вами ионами.

Приведите пример комплексного соединения кобальта в организме человека.

3. Напишите структурную формулу комплексного соединения, имеющего название диглицинатомедь.

Объясните причину отсутствия у него внешней сферы.

Классифицируйте лиганд, входящий в состав данного комплекса, по числу образуемых им связей и его свойствам.

4. Напишите структурную формулу трилона Б.

Объясните причину проявления им дентатности равной 4 и 6.

Приведите примеры ионов, с которыми реализуется каждый вид дентатности.

Напишите уравнение реакции взаимодействия трилона Б с катионом кальция.

Изобразите графически пространственное строение полученного продукта.

Укажите медицинское значение данного процесса.

5. Определите заряд комплексообразователя и его координационное число в комплексном ионе  $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2(\text{OH})_2]^{3-}$ .

Изобразите пространственное строение комплекса.

Составьте уравнение реакции его диссоциации.

Напишите выражение константы нестойкости.

Приведите примеры комплексных соединений железа организма человека.

**Примечание:** Задача, отмеченная звездочкой, необязательна для решения (бонусная).

## Тестовые задания для входного контроля

1. Установите соответствие:

Вид лигандов	Примеры лигандов	
А. Монодентатные	1. $\text{NH}_3$	5. $\text{CH}_3\text{COO}^-$
Б. Дидентатные	2. $\text{H}_2\text{O}$	6. $\text{OH}^-$
	3. $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$	7. $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
	4. $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COO}^-$	8. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

2. Координационное число равно шести в соединении:

а) $\text{K}_3[\text{Co}(\text{C}_2\text{O}_4)_2(\text{OH})_2]$	г) $[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}_2$
б) $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_2(\text{SO}_3)_2]$	д) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$
в) $\text{K}_2[\text{CuCl}_4]$	

3. Константа нестойкости – мера устойчивости:

а) нейтрального комплекса	в) комплексной частицы
б) комплексного иона	г) комплексного соединения

4. Комплексообразователем в гемоглобине и его производных является:

а)  $\text{Fe}^{2+} (\text{sp}^3)$  б)  $\text{Fe}^{2+} (\text{dsp}^2)$  в)  $\text{Fe}^{2+} (\text{d}^2\text{sp}^3)$  г)  $\text{Fe}^{3+} (\text{dsp}^2)$  д)  $\text{Fe}^{3+} (\text{d}^2\text{sp}^3)$

5. Комплексообразователем в витамине  $\text{B}_{12}$  является:

а)  $\text{Co}^{2+} (\text{sp}^3)$  б)  $\text{Co}^{2+} (\text{dsp}^2)$  в)  $\text{Co}^{2+} (\text{d}^2\text{sp}^3)$  г)  $\text{Co}^{3+} (\text{dsp}^2)$  д)  $\text{Co}^{3+} (\text{d}^2\text{sp}^3)$

6. Причинами нарушения металло-лигандного гомеостаза являются:

- а) дефицит эссенциальных микроэлементов
- б) дефицит микроэлементов, являющихся комплексообразователями
- в) избыток эссенциальных микроэлементов
- г) избыток токсических микроэлементов
- д) избыток лигандов, конкурирующих с биолигандами

7. Связывание токсических металлов (детоксикация) протекает по уравнению:

а) $\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Б} + \text{M}_\text{Т} = \text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б} + \text{M}_\text{Б}$	г) $\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б} + \text{L}_\text{Д} = \text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Д} + \text{L}_\text{Б}$
б) $\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б} + \text{M}_\text{Б} = \text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Б} + \text{M}_\text{Т}$	д) $\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Д} + \text{L}_\text{Б} = \text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б} + \text{L}_\text{Д}$
в) $\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Д} + \text{L}_\text{Б} = \text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б} + \text{L}_\text{Д}$	

8. Основные принципы хелатотерапии выражаются соотношениями:

а) $K_\text{Н}(\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Д}) < K_\text{Н}(\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б})$	г) $K_\text{Н}(\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Д}) < K_\text{Н}(\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б})$
б) $K_\text{Н}(\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Б}) < K_\text{Н}(\text{M}_\text{Т}\text{L}_\text{Д})$	д) $K_\text{Н}(\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Б}) < K_\text{Н}(\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Д})$
в) $K_\text{Н}(\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Д}) < K_\text{Н}(\text{M}_\text{Б}\text{L}_\text{Б})$	

9. Для соединения  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$  верным является выражение

- а)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}$
- б)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}$
- в)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] + [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}$
- г)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+] + 2[\text{NH}_3]^2}$
- д)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2 \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}]}$

10. Для соединения  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$  верным является выражение

- а)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}$
- б)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}$
- в)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}^+] + [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}$
- г)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+] + 2[\text{NH}_3]^2}$
- д)  $K_{\text{н}} = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}]}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2 \cdot [\text{Cl}^-]}$

## Лабораторные работы

### Опыт №1. Получение сульфата тетраамминмеди (II)

К 3 каплям раствора сульфата меди (II) прибавьте 2 капли раствора аммиака. Выпадает осадок основной соли  $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$ .

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

К полученному осадку добавьте по каплям избыток раствора аммиака.

Отметьте происходящие изменения.

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

Напишите выражение константы нестойкости комплексного иона.

### Опыт №2. Получение хлорида диаминсеребра (I)

К 1 капле раствора нитрата серебра прибавьте 2 капли раствора хлорида натрия. Выпадает осадок.

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

К полученному осадку прибавьте концентрированный раствор аммиака до полного его растворения.

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

Напишите выражение константы нестойкости комплексного иона.

### Опыт №3. Получение тетраiodоплюмбата (II) калия

К 2-3 каплям раствора нитрата свинца (II) прибавьте 2 капли раствора йодида калия. Выпадает осадок.

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

Осадок разделите на 2 пробирки.

В первую добавьте избыток KI до полного растворения осадка.

Напишите уравнение реакции. Укажите её эффект.

Напишите выражение  $K_n$  и  $K_y$ .

Во вторую пробирку прибавьте 5-6 капель воды.

Смесь нагрейте до полного растворения осадка, затем охладите водой под краном.

Осадок  $\text{PbI}_2$  выпадает в виде золотисто-желтых чешуек.

### Рекомендуемая литература:

1. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов / Ю.А. Ершов, В.А. Попков, А.С. Берлянд; Под. ред. Ю.А. Ершова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 560 с. – Серия: Бакалавр. Базовый курс.

2. Ершов Ю.А., Попков А.А., Берлянд А.С. и др. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. Под. ред. Ю.А. Ершова – М.: Высшая школа, 1993. С. 191-203.

3. Глинка Н.Л. Общая химия. Л.: Химия. 1979 и далее, глава XVIII.

4. Ленский А.С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию. М.: Высшая школа, 1989, с. 219-227.