

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
общей и неорганической химии



Семенов В.Н.

19.04.2024

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.06 Химия координационных соединений**

- 1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.01 по направлению «Химия»
- 2. Профиль подготовки/специализации:** без профиля
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма образования:** Очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Кафедра общей и неорганической химии
- 6. Составители программы** Семенов Виктор Николаевич , д.х.н., профессор
- 7. Рекомендована:** НМС химического факультета протокол № 4 от 11.04.2024
- 8. Учебный год:** 2027/28 **Семестр(ы):** 8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Цель дисциплины - формирование представлений о современном состоянии химии координационных соединений, о методах синтеза и исследования свойств, а также применении координационных соединений.

### Задачи дисциплины:

- использование термодинамического расчета определенных равновесий в растворах по известным константам и построение распределительных диаграмм комплексных частиц;
- проведение осознанного выбора комплексообразователей и лигандов и их комбинаций для достижения поставленных целей;
- оценка геометрии и устойчивости комплексов и предсказание реакционной способности получаемых соединений в процессах замены лигандов и окислительно-восстановительных реакциях.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** курс входит в блок Б1.О.24 - обязательная часть. Необходимо владеть целостным представлением о кристаллохимическом строении и природе химической связи неорганических соединений, знать механизмы образования химической связи, уметь применять методы валентных связей и молекулярных орбиталей для описания строения неорганических соединений.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикаторы	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать современные экспериментальные и расчетно-теоретические методы для установления структуры и	ПК-2.1	Знает и может применять на практике современные экспериментальные методы для установления структуры химических соединений	<p><u>знать:</u> основные понятия и определения химии координационных соединений;</p> <p><u>уметь:</u> использовать знания теоретических основ химии координационных</p>

	исследования реакционной способности химических соединений под руководством специалиста более высокой квалификации	ПК-2.2	Способен изучать реакционную способность химических соединений с применением типовых экспериментальных и расчетно-теоретических методов	<p><i>соединений для объяснения свойств веществ и реакций, в которых они участвуют; выполнять химический эксперимент по получению конкретных веществ, их распознаванию; объяснять наблюдаемые явления</i></p> <p><u>владеть:</u></p> <p><i>навыками исследования физико-химических свойств комплексных соединений</i></p>
ПК-3	Способен проектировать и осуществлять направленный синтез химических соединений с полезными свойствами под руководством специалиста более высокой квалификации	ПК-3.1	Способен проектировать направленный синтез химических соединений с заданным набором свойств в рамках поставленной задачи	<p><u>знать:</u></p> <p><i>основные закономерности протекания химических реакций с участием комплексов</i></p> <p><u>уметь:</u></p> <p><i>- синтезировать координационные соединения;</i></p> <p><u>владеть:</u></p> <p><i>методами безопасного обращения с химическими веществами (координационными соединениями) с учетом их физических и химических свойств</i></p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2 з.е. / 72 ч.**

**Форма промежуточной аттестации** Зачет с оценкой

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра	№ семестра	...
Контактная работа		36	8		
в том числе:	лекции	18	8		
	практические	18	8		
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36	8		
Промежуточная аттестация					
Итого:		72	8		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью он-лайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение	Основные понятия химии координационных соединений.	
1.2	Типы координационных соединений	Классификация координационных соединений. Лиганды: молекулы воды, гидроксильный ион, амины. Лиганды: органические лиганды. Ацидокомплексы. Карбонильные соединения. Изоцианиды.	
1.3	Химическая связь в координационных соединениях	Химическая связь с электростатической точки зрения. Теория валентных связей. Теория кристаллического поля. Метод молекулярных орбиталей	
1.4	Общая характеристика равновесных систем при комплексообразовании	Устойчивость комплексов. Равновесия в растворах координационных соединений. Распределительные диаграммы и диаграммы преобладания комплексных форм. Ступенчатый характер равновесий. Смешанные комплексы. Факторы, влияющие на устойчивость комплексной частицы. Теория Пирсона.	
1.5	Реакции и синтез координационных соединений	Механизмы реакций координационных соединений. Лабильные и инертные координационные соединения. Окислительно-восстановительные свойства координационных соединений. Синтез координационных соединений.	
1.6	Физические методы исследования координационных соединений	Дифракционные методы исследования координационных соединений. Общие положения спектроскопии и ее применение в исследовании координационных соединений. Потенциометрия, полярография. Магнитные свойства комплексов.	
<b>3. Практические занятия</b>			
3.1	Комплексообразование в растворах	Синтез координационных соединений осаждение катионных, анионных и смешанных комплексов в виде твердой фазы. Константы устойчивости : математическое моделирование. Термическая устойчивость комплексных соединений. Распределение молекулярных форм при комплексообразовании. Константа устойчивости, связь с произведением растворимости.	
3.2	Окислительно-восстановительные реакции при комплексообразовании	Классификация окислительно-восстановительных реакций. Реакции с изменением степени окисления комплексообразователя и лигандов.	
3.3	Влияние растворителя и рН среды на скорость процесса комплексообразования.	Классификация растворителей. Координационные свойства растворителей. Донорная сила растворителя. Механизм гетерогенных реакций.	
3.4	Кислотно-основные превращения координационных соединений	Кислотно-основные свойства комплексных соединений. Концепция кислот и оснований. Теория жестких и мягких кислот и оснований.	
3.5	Физико-химические методы исследования координационных соединений	Определение констант устойчивости комплексов в растворах. Оптические и рентгеновские исследования состава комплексных соединений. ИК-спектроскопия: выявление донорного атома лиганда; качественный анализ формирования водородных связей в комплексах; определение дентатности лиганда и координационного числа комплексообразователя.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.1	Типы координационных соединений	4		4	8	16
1.2	Химическая связь в координационных соединениях	4		2	4	10
1.3	Общая характеристика равновесных систем при комплексообразовании	4		4	12	20
1.4	Реакции и синтез координационных соединений	2		4	8	14
1.5	Физические методы исследования координационных соединений	4		4	4	12
	Итого:	18		18	36	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Организация изучения дисциплины предполагает:

- проведение лекций
- проведение лабораторных занятий
- внеаудиторная самостоятельная работа студентов

Организационная структура лекционного занятия:

1. Формулировка темы, постановка проблемного вопроса
2. Разъяснение теоретических и практических вопросов для решения поставленной проблемы
3. Конкретные примеры решения поставленных вопросов
4. Выводы
5. Формулировка задания для самостоятельной работы

Организационная структура лабораторного занятия.

1. Формулировка цели занятия
2. Обсуждение теоретических основ темы, опрос студентов
3. Выполнение работы
4. Проверка выполненных заданий
5. Выводы

Текущий контроль проводится путем устного опроса студентов, обсуждения материала для самостоятельной работы, выполнения контрольных работ.

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- работа с конспектами лекций;

- выполнение заданий текущей аттестации;
- текущий контроль успеваемости

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Гончаров Е.Г. Краткий курс теоретической неорганической химии/ Е.Г. Гончаров В.Ю. Кондрашин, А.М. Ховив – СПб: Лань, 2017. – 464 с.
2	Гончаров Е.Г. Теоретические основы неорганической химии / Е.Г.Гончаров, Ю.П.Афиногенов, В.Ю. Кондрашин, А.М.Ховив,. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 589 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Киселев Ю.М. <i>Химия координационных соединений / Ю.М. Киселев.</i> – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 657 с.
4	Кукушкин Ю.Н. <i>Химия координационных соединений / Ю.Н. Кукушкин.</i> – М.: Высш. шк., 1985. – 455с.
5	Скопенко В.В. <i>Координационная химия / В.В. Скопенко, А.Ю. Цивадзе, Л.И. Савранский, А.Д. Тарновский.</i> – М. : ИКЦ Академкнига, 2007. – 487 с.
6	Костромина Н.А. <i>Химия координационных соединений / Н.А. Костромина [и др.].</i> – М.: Высш.шк., 1990. – 431с.
7	Берсукер И.Б. <i>Электронное строение и свойства координационных соединений / И.Б. Берсукер.</i> – Л.: Химия, 1986. – 286с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> .-ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://www.nist.gov/srd/nist.46.htm">http://www.nist.gov/srd/nist.46.htm</a>
3.	<a href="http://www.hyperquad.co.uk">http://www.hyperquad.co.uk</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Семенов В.Н. <i>Химия координационных соединений/ В.Н. Семенов, С.Ю.Васильева, А.Ю. Завражнов// Учебное пособие</i> – Воронеж :Издательский дом ВГУ, 2016 – 38 с.
2	Спектральные методы анализа .Практическое руководство: Учебное пособие / Под ред. В.Ф. Селеменева и В.Н. Семенова. – СПб. : Издательство Лань, 2014. – 416 г.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины используются классические образовательные технологии без замены аудиторных занятий на ДОТ.. Основные типы лекций – вводные ( в начале изучения дисциплины) и информационные. Проведение текущих аттестаций и промежуточных аттестаций осуществляется в форме устного собеседования по КИМ.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Стандартное оборудование химической лаборатории (вытяжной шкаф, газовые горелки, мойка, сушильный шкаф, средства пожаротушения).

Химические реактивы, химическая посуда, лабораторное оборудование (весы электронные, рН-метр, штативы, асбестированные сетки, тигельные щипцы и т.д.).

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Типы координационных соединений	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
2.	Химическая связь в координационных соединениях	ОПК-1	ОПК-1.1 ОПК-1.2	<i>Устный опрос</i>
3	Общая характеристика равновесных систем при комплексообразовании	ОПК-1	ОПК-1.1	Контрольная работа
4	Реакции и синтез координационных соединений	ОПК-1	ОПК-1.3	Устный опрос
5	Физические методы исследования координационных соединений	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2	Практическое задание
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет с оценкой				<i>Перечень вопросов</i>

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольные работы

### Перечень заданий для контрольных работ

1. Используя электростатическую теорию, объясните, какой комплекс прочнее: 1)  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  или  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ ; 2)  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  или  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$ ; 3)  $[\text{BeF}_4]^{2-}$  или  $[\text{BeCl}_4]^{2+}$ ; 4)  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  или  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ; 5)  $[\text{TiF}_6]^{2-}$  или  $[\text{ZrF}_6]^{2-}$ .

2. Ион  $[\text{NiCl}_4]^{2-}$  парамагнитен, так как имеет два неспаренных электрона, а ион  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  – диамагнитен. Каков тип гибридизации комплексообразователя в каждом комплексе и каково их пространственно-геометрическое строение?
3. Изобразите диаграмму расщепления 3d-подуровня комплексообразователя в комплексе  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , укажите его магнитные свойства и окраску (окрашен или бесцветен).
4. На основе теории кристаллического поля объясните, почему комплексные соединения хрома (+3) окрашены, а цинка (+2) – бесцветны.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Тестирование      Собеседование по билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

### Тестирование

#### Открытые

1. Какой тип химической связи между комплексообразователем и лигандом?
- а) ионная;      б) ковалентная;      в) водородная.
2. Определить степень окисления комплексообразователя в соединении  $\text{Na}[\text{Co}(\text{CO})_4]$ .
- а) -2;      б) +2;      в) +3;      г) -1
3. Какой тип гибридизации орбиталей комплексообразователя и пространственная конфигурация характерна для комплексов с координационным числом 6?
- а)  $sp$  – линейная,      б)  $sp^3$  – тетраэдрическая
- в)  $dsp^2$  – квадратная      г)  $d^2sp^3$  – октаэдрическая
4. Какие из комплексообразователей способны к π-дативному взаимодействию?
- а)  $\text{Al}^{3+}$ ,      б)  $\text{Cu}^{2+}$ ,      в)  $\text{Be}^{2+}$ ,      г)  $\text{Na}^+$
5. Какая изомерия возможна для комплекса  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Fe}(\text{CNS})_3]$ ?
- а) сольватная      б) координационная      в) ионизационная      г) солевая
6. Определить степень окисления комплексообразователя в соединении  $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ .
- а) +2      б) 0      в) +3
7. Какое из координационных соединений в водных растворах будет иметь большую электропроводность?
- а)  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ;      б)  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4]$ ;      в)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

8. Для каких координационных соединений по знаку заряда характерна ионизационная изомерия?

- а) катионные                      б) нейтральные                      в) анионные

9. Как называются координационные соединения, состоящие из комплексных катионов и анионов?

- а) нейтральные                      б) бикомплексы                      в) ацидокомплексы

### Закрытые

10. Как называют число мест во внутренней сфере комплекса, которые могут быть заняты лигандами? \_\_\_\_\_. (Вставьте пропущенное слово)

11. Как называются лиганды с большой координационной емкостью? \_\_\_\_\_. (Вставьте пропущенное слово)

12. Написать константу нестойкости комплексного соединения  $\text{Na}_3[\text{CoCl}_6]$  \_\_\_\_\_. (вставьте выражение).

13. Возможна ли изомерия для комплекса  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CNS})_4]$ ? Если возможна, то указать тип изомерии. \_\_\_\_\_

14. Даны следующие комплексы:  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ ,  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ . Как можно классифицировать их по природе лиганда? \_\_\_\_\_ Ответы записать через запятую в указанной в задании последовательности.

15. Определить степень окисления комплексообразователя и емкость лиганда в комплексе  $\text{Cs}[\text{ClF}_4]$ .

Ответы записать через запятую в указанной в задании последовательности.

16. Написать правильно соединение  $\text{K}[\text{Al}(\text{SO}_4)_2]$ ? \_\_\_\_\_. (Вставьте формулу).

17. Определить координационное число комплексообразователя, емкость лигандов (воды, сульфат-иона) в комплексном соединении  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_2\text{SO}_4]$ . Ответы записать через запятую в указанной в задании последовательности. \_\_\_\_\_

18. Как называется лиганд, который имеет два донорных атома, но координируется только через один из них? \_\_\_\_\_. (Вставьте пропущенное слово)

19. Как называют число мест во внутренней сфере комплекса, занимаемых каждым лигандом? \_\_\_\_\_. (Вставьте пропущенное слово).

### Задачи

20. Чему равна численно константа сопропорционирования комплекса  $[\text{In}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}](\text{NO}_3)_2$ ?

21. По теории кристаллического поля рассчитать устойчивость комплексов  $\text{K}_2[\text{CoI}_4]$  (а) и  $\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]$  (б). Дать цифровые значения до десятых в отн.ед.

22. Чему равна численно константа сопропорционирования комплекса  $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ?

23. По теории кристаллического поля рассчитать устойчивость комплексов  $\text{K}_3[\text{HfBr}_6]$  (а) и  $\text{Li}_3[\text{Cr}(\text{NO}_3)_6]$  (б). Дать цифровые значения до десятых в отн.ед.

24. По теории кристаллического поля рассчитать устойчивость комплексов  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{NO}_2)_4]$  (а) и  $\text{K}_3[\text{Co}(\text{VO}_2)_6]$  (б). Дать цифровые значения до десятых в отн.ед.

Ключи

Вопросы	1	2	3	4	5	6
Ответы	б	-1	г	Б	б	0
Вопросы	7	8	9	10	11	12
Ответы	в	а	б	координационное число	полидентатные	$K_u = \frac{[\text{Co}^{3+}][\text{Cl}^-]^6}{[\text{CoCl}_6]^{3-}}$
Вопросы	13	14	15	16	17	18
Ответы	изомерия связи	аммиакат, ацидокомплекс (хлоридный), аквакомплекс	+3, 1	$\text{K}^+\text{Al}^{3+} \cdot 2\text{SO}_4^{2-}$	4, 1, 2	амбидентатный
Вопросы	19	20	21	22	23	24
Ответы	координационная емкость лиганда (дентатность)	6	а – 1,2 б – 1,2	6	а – 0,4 б – 1,2	а – 0,8 б – 2,4

### Перечень вопросов к зачету с оценкой :

1. Координационная теория Вернера.
2. Проявление лигандом новых химических свойств в результате координации
3. Типы координационных соединений
4. Роль растворителя в координационной химии
5. Изомерия комплексных соединений
6. Твердофазное термическое разложение
7. Химическая связь в координационных соединениях. Теория валентных связей.
8. Механизмы реакций координационных соединений
9. Теория кристаллического поля
10. Реакции тиокарбамидных комплексов
11. Метод молекулярных орбиталей
12. Лиганды – молекулы воды и ион гидроксила
13. Координационные соединения с необычными координационными числами
14. Учение о скоростях и механизмах химических реакций комплексов
15. Комплексообразование в растворах. Константа нестойкости и устойчивости
16. Основные принципы синтеза координационных соединений
17. Реакции комплексных частиц
18. Факторы, определяющие величины констант устойчивости
19. Распределительные диаграммы координационных соединений
20. Теория Пирсона
21. Концепция эффективного атомного номера. Правило «18 электронов».
22. Общая характеристика равновесных систем при комплексообразовании
23. Экспериментальные методы исследования координационных соединений
24. Расчет констант устойчивости неоднородных комплексов

25. Оптические методы исследования координационных соединений
26. Реакционная способность галогенидных лигандов
27. Инфракрасная спектроскопия в химии координационных соединений
28. Нитратные и карбонатные лиганды
29. Правило циклов Чугаева
30. Типы окислительно-восстановительных превращений координационных соединений

### Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие показатели:

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент хорошо владеет теоретическим материалом: понимает суть основных закономерностей, правильно записывает все основные формулы, применяет их к решению практических задач, приводит примеры. Правильно отвечает на все дополнительные вопросы. Ответ соответствует в полной мере всем перечисленным компетенциям.	Повышенный уровень	Отлично
То же, что для оценки «отлично», но студент допускает неточности в формулировках, несущественные ошибки в написании формул или уравнений реакций, отвечает не на все дополнительные вопросы. Ответ соответствует не полному освоению компетенций.	Базовый уровень	Хорошо
Студент не знает некоторые разделы курса; допускает многочисленные ошибки при написании формул и уравнений квазихимических реакций, но способен их исправить. Понимает основные закономерности, но с трудом применяет их к решению практических задач.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Студент не приобрел никаких новых знаний, либо эти знания фрагментарны. Компетенции не освоены.	–	Неудовлетворительно