

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Комплексные соединения»

---

для студентов направления подготовки

**04.03.01 «Химия»**

---

Форма обучения: очная

---

**г. Обнинск 2023 г.**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели изучения дисциплины:

- сформировать представления о комплексных соединениях как веществах, в которых координация приводит к новому состоянию молекулы;
- дать представления о многообразии комплексных соединений, их систематике, строении, способах получения и их применении;
- понимать природу химической связи комплексных соединений на основе метода валентных связей, теории кристаллического поля, метода молекулярных орбиталей;
- рассмотреть проблему реакционной способности комплексных соединений и взаимного влияния лигандов.

### Задачи изучения дисциплины:

В результате освоения дисциплины студент должен получить базовые знания необходимые для изучения специальных дисциплин, а также для использования приобретенных химических знаний в дальнейшей практической деятельности.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) БАКАЛАВРИАТА

Дисциплина «Комплексные соединения» реализуется в рамках вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений, и относится к профессиональному модулю.

Дисциплина отражает связь между изучаемыми неорганическими объектами (их строением, химическими свойствами, равновесием в их растворах, реакционной способностью, механизмом реакций) с основополагающими разделами дисциплины неорганической химии, разделами термодинамики и кинетики курса физической химии, разделами аналитической химии, курсов строения вещества, физико- и физико-химических методов исследования веществ.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: неорганическая, аналитическая, органическая, физическая химия, элементы строения вещества и физические методы исследования.

Дисциплина «Комплексные соединения» является основой дальнейшего освоения дисциплин: «Основы методов разделения и концентрирования», «Химическая технология», «Анализ реальных объектов» и других дисциплин.

Дисциплина изучается на III курсе в V семестре.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2	Готовность использовать современную инструментальную базу для проведения качественного и количественного химического анализа исследуемых	З-ПК-2 – Знать: - основные принципы, законы, методологию химии комплексных соединений, теоретические основы физических и физико-химических методов исследования. У-ПК-2 – Уметь:

	объектов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать и использовать современную инструментальную базу и методы испытаний для решения определенных задач химии комплексных соединений;</li> <li>- использовать фундаментальные химические понятия в своей профессиональной деятельности;</li> <li>- планировать отдельные стадии исследования в химии комплексных соединений.</li> </ul> <p><b>В-ПК-2 – Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыком подготовки элементов документации, проектов, планов и программ отдельных работ по химии комплексных соединений;</li> <li>- навыком выбора технических средств и методов анализа (из набора имеющихся) для решения поставленных задач на лабораторных занятиях.</li> </ul>
--	----------	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих формирование культуры работы с опасными веществами и при требованиях к нормам высокого класса чистоты (В33)	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплины, для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ;</li> <li>- формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.</li> </ul>
	Создание условий,	Использование воспитательного

	<p>обеспечивающих формирование культуры работ, связанных с проведением химического анализа с использованием современной инструментальной исследовательской базы (В34)</p>	<p>потенциала дисциплины, для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования навыков соблюдения мер безопасности при работе с реагентами разных классов опасности на современном научно-исследовательском оборудовании, позволяющем проводить высокоточный качественный и количественный химический анализ;</li> <li>- формирования навыков ответственной работы с использованием современной инструментальной аналитической базы;</li> <li>- формирования мотиваций в освоении разнообразной современной инструментальной базы химического анализа;</li> <li>- формирования мотиваций к научно-исследовательской работе в области химических наук.</li> </ul>
--	---	--

## 5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц (з.е.), 108 академических часов.

Объем дисциплины	Всего часов
	Очная форма обучения
Контактная работа обучающихся с преподавателем	96
Аудиторная работа (всего):	96
<i>в том числе:</i>	
лекции	32
семинары, практические занятия	
лабораторные работы	64
Промежуточная аттестация	
<i>в том числе:</i>	
зачет	
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	12
<b>Всего (часы):</b>	108
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	3

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

### 6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и
--------	---------------------------------------	--

		трудоемкость (в часах)				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-2	Введение в химию комплексных соединений	3				0,5
2-3	Классификация и номенклатура комплексных соединений	3		4		1
4-5	Реакции и методы синтеза комплексных соединений	3		10		1
5	Изомерия комплексных соединений	1				0,5
6-9	Химическая связь в комплексных соединениях	8				3
10-12	Реакционная способность комплексных соединений	7		8		2
12	Устойчивость комплексных соединений	1		18		0,5
13	Особенности исследования комплексных соединений	2		24		2
14-16	Применение комплексных соединений	4				1,5
	<b>Итого за семестр VI</b>	<b>32</b>		<b>64</b>		<b>12</b>
	<b>Всего:</b>	<b>32</b>		<b>64</b>		<b>12</b>

## 6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекции

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
1-2	Введение в химию комплексных соединений	<p>Понятие о комплексных соединениях. Терминология химии комплексных соединений.</p> <p>Создание учения о комплексных соединениях. Краткий исторический обзор основных этапов развития химии комплексных соединений. Ранние гипотезы и теории развития учения о комплексных соединениях. Довернеровские учения (Т.Грей, А.В.Гофман, С.М.Йоргенсен, К.В.Бломстранд).</p> <p>Координационная теория Вернера: понятие о главных и побочных валентностях, внешней и внутренней сфере, центральном атоме и лигандах, координационное число, дентатность лигандов. Формулировка понятия комплексного соединения.</p> <p>Ученые, внесшие наибольший вклад в развитие координационной химии.</p>
2-3	Классификация и номенклатура комплексных соединений	<p>Способность элементов к комплексообразованию в связи с их положением в Периодической системе Д.И. Менделеева.</p> <p>Классификация комплексных соединений: по типу комплексообразователя, по заряду КС, по</p>

		<p>принадлежности к определенному классу соединений, по числу ионов металлов, по устойчивости, по характеру координируемых лигандов, по числу координируемых лигандов, по донорным атомам (галогенид-ионы, кислородосодержащие, серосодержащие, азотосодержащие, фосфоросодержащие, углеродосодержащие) и др.</p> <p>Вернеровские комплексы. Карбонилы. Правило Сиджевика. Пи-комплексы. Ферроцен, дибензолхром. Моно-и полиядерные комплексы: мостиковые комплексы и кластеры, изо-и гетерополисоединения. Хелаты, и внутрикомплексные соединения. Устойчивость циклов. Макроциклические лиганды и их комплексы. Комплексы с переносом заряда. Номенклатура Вернера и ИЮПАК.</p>
4-5	Реакции и методы синтеза комплексных соединений	<p>Прямое взаимодействие. Обмен лигандов. Реакции двойного обмена. Окислительно-восстановительные методы. Реакции координированного лиганда. Взаимодействие лигандов и солей металлов. Реакции обмена.</p>
5	Изомерия комплексных соединений	<p>Понятие о геометрии комплексных соединений. Изомерия комплексных соединений в зависимости от строения и координации лигандов, строения внутренней и внешней сфер, распределений частиц между координационной и внешней сферами.</p>
6-9	Химическая связь в комплексных соединениях	<p>Развитие взглядов на природу химической связи в комплексных соединениях. Доквантовые представления о природе химической связи в комплексных соединениях: электростатические, поляризационные, ковалентные. Значение данных представлений в понимании причин образования комплексных соединений и их свойств.</p> <p>Квантово-механические представления о природе химической связи.</p> <p><b>Метод валентных связей</b></p> <p>Теория валентных связей. Основные положения теории. Объяснение пространственного строения и магнитных свойств комплексов. Низкоспиновые и высокоспиновые комплексы.</p> <p><b>Теория кристаллического поля</b></p> <p>Теория кристаллического поля. Область применения теории. Основные положения. Термодинамическое объяснение устойчивости комплексов. Объяснение спектральных и магнитных свойств. Спектрохимический ряд лигандов. Энергия расщепления и энергия стабилизации кристаллическим полем. Эффект Яна-Теллера.</p> <p><b>Метод молекулярных орбиталей. Теория поля лигандов</b></p>

		Теория поля лигандов как развитие теории кристаллического поля. Октаэдрическое поле. Применение методов для описания химической связи.
10-12	Реакционная способность комплексных соединений	<p>Понятие о реакционной способности КС.</p> <p><b>Теория взаимного влияния</b></p> <p>Взаимное влияние лигандов. Закономерность трансвлияния. Эффект цис-влияния лигандов на реакционную способность. Теоретическое объяснение трансвлияния. Поляризационные представления. Трансвлияние и <math>\pi</math>-дативное взаимодействие.</p> <p><b>Кислотно-основные свойства комплексных соединений</b></p> <p>Акво-гидроксопревращения. Амидо-реакции. Факторы, от которых зависят кислотные свойства комплекса. Теория жестких и мягких кислот и оснований.</p> <p><b>Окислительно-восстановительные реакции.</b></p> <p>Классификация окислительно-восстановительных реакций. Внешнесферный и внутрисферный механизмы окислительно-восстановительных реакций.</p> <p><b>Влияние растворителей на скорость химических реакций.</b></p> <p>Классификация растворителей. Координационные свойства растворителей. Образование комплексов в растворе.</p>
12	Устойчивость комплексных соединений	Понятие и критерии стабильности комплексных соединений. Координационные соединения в растворах. Константы в случае полиядерных и смешанных комплексов. Закономерности устойчивости комплексных соединений. Хелатный эффект.
13	Особенности исследования комплексных соединений	Общие замечания. Установление химической индивидуальности комплексов. Исследование комплексов в растворах и твердых комплексов.
14-16	Применение комплексных соединений	Роль комплексных соединений в аналитической химии: в гравиметрии, спектрофотометрии, экстракции, сорбции. Металлокомплексный катализ. Бионеорганическая химия и медицина. Фотографическая химия, красители и пигменты. Применение комплексных соединений в биологии, медицине, сельском хозяйстве, экологии и др. Химическая технология, гидрометаллургия и другие технологические области.

### 6.3 Лабораторные занятия

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание

1-4	Классификация и номенклатура комплексных соединений	Получение комплексных соединений
	Реакции и методы синтеза комплексных соединений	
1-8	Реакционная способность комплексных соединений	Определение константы нестойкости комплексного иона методами экстракции
		Определение константы устойчивости комплексного иона потенциометрическим методом
		Определение координационного числа комплексного соединения титриметрическим методом
		Определение координационного числа и константы устойчивости комплексного соединения спектрометрическим методом
8-11	Устойчивость комплексных соединений	Исследование первичной диссоциации комплексных соединений
11-16	Особенности исследования комплексных соединений	Определение концентрации методами визуальной колориметрии
		Определение концентрации спектрофотометрическим методом
		Определение концентрации методом комплексометрического титрования

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Комплексные соединения», утвержденные отделением биотехнологий.

2. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, утвержденные отделением биотехнологий.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
Текущая аттестация			
1	Классификация и номенклатура комплексных соединений	З-ПК-2, У-ПК-2, В – ПК-2 - Готовность использовать	

2	Реакции и методы синтеза комплексных соединений	современную инструментальную базу для проведения качественного и количественного химического анализа исследуемых объектов	Оценочное средство №2 – контрольная работа 1
3	Изомерия комплексных соединений		
4	Химическая связь в комплексных соединениях		Оценочное средство №3 – контрольная работа 2
5	Реакционная способность комплексных соединений		Оценочное средство № 4 - защита лабораторных работ
6	Устойчивость комплексных соединений		
7	Особенности исследования комплексных соединений		
10	Применение комплексных соединений		Оценочное средство № 5 - реферат
Промежуточная аттестация			
1	Весь курс	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2	Оценочное средство № 1

## 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

### Оценочное средство №1

#### а) типовые вопросы к зачет по курсу «Комплексные соединения»:

1. Основные понятия координационной химии (комплексное соединение, аддукт, центральная частица, лиганд, донорный атом, координационная сфера, координационное число, дентатность). Примеры.
2. Классификация комплексных соединений. Приведите примеры.
3. Номенклатура Вернера и ИЮПАК.
4. Типы реакций комплексообразования в растворах. Примеры.
5. Изомерия комплексных соединений. Примеры.
6. В чем состоит сущность трансвлияния? Примеры.
7. В чем состоит сущность цис-влияния? Примеры.
8. Теоретическое объяснение трансвлияния.
9. Термодинамические характеристики комплексообразования. Равновесия в растворах координационных соединений.
10. Развитие взглядов на природу химической связи в координационных соединениях. Координационная теория Вернера.
11. Теория валентных связей. Примеры.
12. Теория кристаллического поля. Примеры.
13. Что называется параметром расщепления? Как его можно определить экспериментально? От чего зависит величина  $\Delta$ ? Как с позиций теории кристаллического поля объясняется цветность соединений?
14. Объяснение спектральных и магнитных свойств. Спектрохимический ряд лигандов. Эффект Яна-Теллера. Объяснение искажения октаэдрической структуры комплексов.
15. Теория поля лигандов как развитие теории кристаллического поля. Октаэдрическое поле. Применение методов для описания химической связи.
16. Методы исследования строения комплексных соединений (химический и кондуктометрический).

17. Методы определения состава комплексов.
18. Кислотные и основные свойства комплексных соединений.
19. Факторы, от которых зависят кислотные свойства комплексов.
20. В чем заключается концепция жестких и мягких кислот и оснований?

**б) критерии оценивания компетенций (результатов) и описание шкалы оценивания:**

Показатели оценивания	Результаты обучения	Критерии оценивания
<p>Высокий уровень (отлично)</p> <p>(36-40 баллов)</p>	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы химии комплексных соединений;</li> <li>- положения теорий, описывающих строение и реакционную способность комплексных соединений;</li> <li>- основные принципы, лежащие в основе исследования комплексных соединений;</li> <li>- современное состояние теории химической связи;</li> </ul>	<p>Ответ полный и правильный на основании изученных теорий; материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.</p> <p>Ответ самостоятельный.</p>
<p>Базовый уровень (хорошо)</p> <p>(30-35 баллов)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- закономерности устойчивости комплексных соединений в зависимости от природы металла и лиганда;</li> <li>- типах изомерии координационных соединений,</li> <li>- методы синтеза</li> <li>- применение КС.</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- на основе фундаментальных теоретических знаний описать строение и охарактеризовать свойства, устойчивость, обоснованно предложить схему синтеза заданного комплексного соединения и методы для исследования его состава.</li> <li>- ориентироваться в современной координационной химии, понимать основные проблемы, решаемые этой наукой; критически оценивать возможность использования полученных результатов в науке и технике.</li> </ul>	<p>Ответ полный и правильный на основании изученных теорий; материал изложен в определенной логической последовательности, при этом допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.</p>
<p>Пороговый уровень (удовлетворительно)</p> <p>(24 - 28 баллов)</p>	<p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современными представлениями о химической связи, стереохимии, устойчивости, реакционной способности координационных соединений, теоретическими основами физико-химического исследования комплексных соединений.</li> </ul>	<p>Ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка, или неполный, несвязный ответ.</p>
<p>Неудовлетворительно</p> <p>&lt; 24 баллов</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приемами синтеза;</li> <li>- основными методами исследования строения и свойств комплексных соединений,</li> <li>- навыками работы с научной и справочной литературой.</li> </ul>	<p>При ответе обнаружено непонимание учащимся основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые учащийся не смог исправить при наводящих вопросах преподавателя.</p>

Оценочное средство № 2

**а) типовой вариант для контрольной работы 1 (пример)**

1. Назовите комплексные соединения



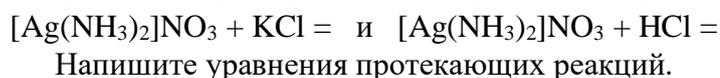
2. Определите тип КС  $[(\text{NH}_3)_5\text{Co} - \text{NO}_2](\text{NO}_3)_2$ :

- ① по заряду координационной сферы,
- ② по принадлежности к опред. классу соединений,
- ③ по числу комплексообразователей,
- ④ по заряду комплексообразователя,
- ⑤ по составу лигандов,
- ⑥ по природе лигандов,
- ⑦ по типу комплексообразователя.

3. Определите тип изомерии комплексных соединений:



4. Объясните, почему не протекает первая реакция, но протекает вторая:



5. Для осаждения хлорид-ионов, составляющих внешнюю сферу комплексного соединения состава  $\text{CrCl}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , из 100 мл 0,02М его раствора, потребовалось 20 мл 0,2М раствора  $\text{AgNO}_3$ . По результатам этого опыта составьте координационную формулу исходного соединения.

6. На основании правила Сиджвика определите число лигандов (x):



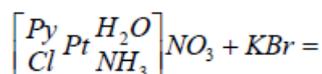
Оценочное средство № 3

**а) типовой вариант для контрольной работы 2 (пример)**

Для комплексных ионов  $[\text{Co}(\text{F})_6]^{3-}$  и  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , используя квантово-механические теории образования КС, определите:

- 1) Число неспаренных электронов центральных атомов?
- 2) Постройте диаграммы расщепления d-орбиталей и распределите на них электроны комплекса?
- 3) Тип гибридизации?
- 4) К какому типу (внешнеорбитальных или внутриорбитальных) относятся эти комплексы?
- 5) Вычислите эффективный магнитный момент в м.Б. и ЭСКП?
- 6) Пространственную конфигурацию комплексных ионов.
- 7) На основании магнитных свойств комплексных соединений установите, к каким типам комплексов относятся: а) высокоспиновым или низкоспиновым; б) парамагнитным или диамагнитным?
- 8) В каком из комплексных ионов параметр расщепления будет больше и почему?
- 9) Объясните причину различной окраски соединений, содержащих эти ионы?

2. Напишите реакцию замещения лигандов с учетом трансвлияния лигандов:



б) критерии оценивания компетенций (результатов) и описание шкалы оценивания:

Показатели оценивания	Результаты обучения	Критерии оценивания
Высокий уровень (отлично) (14-15 баллов)	<b>знать:</b> - классификацию комплексных соединений; - номенклатуру комплексных соединений; - закономерности устойчивости комплексных соединений в зависимости от природы металла и лиганда;	- работа выполнена полностью и правильно; сделаны правильные выводы; - работа выполнена по плану с учетом ее особенностей.
Базовый уровень (хорошо) (12-13 баллов)	- типы изомерии комплексных соединений, - теорию химической связи комплексных соединений; - основные положения МВС, ТКП, ММО;	работа выполнена правильно с учетом 2–3 несущественных ошибок исправленных самостоятельно по требованию преподавателя.
Пороговый уровень (удовлетворительно) (9 - 11 баллов)	<b>уметь:</b> - на основе теоретических знаний дать название, классификацию и описать свойства комплексных соединений. <b>владеть:</b> - современными представлениями о химической связи, стереохимии, устойчивости, реакционной способности координационных соединений,	работа выполнена правильно не менее чем на половину или допущена существенная ошибка.
Неудовлетворительно < 9 баллов	- основными методами исследования строения и свойств комплексных соединений.	допущены две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые обучаемый не может исправить даже по требованию преподавателя.

*Оценочное средство № 4*

а) типовые задания – выполнение и защита лабораторных работ.

б) критерии оценивания компетенций (результатов) и описание шкалы оценивания:

Показатели оценивания	Результаты обучения	Критерии оценивания
Высокий уровень (отлично) (18-20 баллов)	<b>Знать:</b> фактическое и теоретическое знание в пределах области исследования комплексных соединений с пониманием границ применимости; <b>Уметь:</b> диапазон практических умений, требуемых для развития творческих решений; <b>Владеть:</b> контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы.	- выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; - самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью; - в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы; - правильно рассчитал и выполнил анализ погрешностей;

<p>Базовый уровень (хорошо) (15-17 баллов)</p>	<p>Знать: факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах области исследования комплексных соединений; Уметь: диапазон практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования; Владеть: берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспособливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем</p>	<p>- опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерения; - было допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.</p>
<p>Пороговый уровень (удовлетворительно) (12- 14 баллов)</p>	<p>Знать: базовые общие знания; Уметь: основные умения, требуемые для выполнения простых задач исследования комплексных соединений; Владеть: работает при прямом наблюдении</p>	<p>- работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, - если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки: а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью; б) в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т. д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения; в) не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей; г) работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы.</p>
<p>Неудовлетворительно &lt; 12 баллов</p>		<p>- работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов; - опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно; - в ходе работы и в отчете обнаружилось в совокупности все недостатки.</p>

*Оценочное средство № 5*

- а) типовые задания – реферат на тему: «Применение комплексных соединений в различных областях науки и техники»  
б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Показатели оценки	Критерии оценки	Баллы (max)
1. Новизна реферированного текста	- актуальность проблемы и темы; - новизна и самостоятельность в постановке проблемы, в формулировании нового аспекта выбранной для анализа проблемы; - наличие авторской позиции, самостоятельность суждений.	2
2. Степень раскрытия темы	- соответствие содержания теме и плану реферата; - полнота и глубина раскрытия основных понятий проблемы; - обоснованность способов и методов работы с материалом; - умение работать с литературой, систематизировать и структурировать материал; - умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения по рассматриваемому вопросу, аргументировать основные положения и выводы.	2
3. Обоснованность выбора источников	- круг, полнота использования литературных источников по проблеме; - привлечение новейших работ по проблеме (журнальные публикации, материалы сборников научных трудов и т.д.).	2
4. Соблюдение требований к оформлению реферата	- правильное оформление ссылок на используемую литературу; - грамотность и культура изложения; - владение терминологией и понятийным аппаратом проблемы; - соблюдение требований к объему реферата; - культура оформления: выделение абзацев.	2
5. Выступление с презентациями	- целесообразность распределения содержания творческой работы по слайдам; - оригинальность презентации; - обоснованное использование дизайна и эффектов мультимедиа: графики, анимации, видео, звука.	2

#### 8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации.

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоения учебной дисциплины
<b>90-100</b>	5- «отлично»/ «зачтено»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
<b>85-89</b>	4 - «хорошо»/ «зачтено»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
<b>75-84</b>		C	

70-74			
65-69		D	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64	3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»	E	
0-59	2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная учебная литература:

1. Кисилев Ю.М. Химия координационных соединений: в 2 ч. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 668 с.

2. Неудачина Л.К., Лакиза Н.В. Химия координационных соединений. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 123 с.

3. Березин Б. Д. Реакции диссоциации комплексных соединений: науч. издание/ Б. Д. Березин, Т. Н. Ломова; РАН, Ин-т химии растворов. - М.: Наука, 2007.-278 с.

4. Мюллер У. Структурная неорганическая химия. Монография. Пер. с англ. Под редакцией Ховина А.М.: Научное издание – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 352 с.

5. Стив Дж. В. Супрамолекулярная химия: науч. издание: в 2 т.: пер. с англ. / Дж. В. Стив, Дж. Л. Этвуд; ред.: А. Ю. Цивадзе, В. В. Арсланов, А. Д. Гарновский. – М.: Академкнига. Т 1. – 2007. – 496 с.

6. Матвеев, Е. Ю. Химия комплексных соединений : учебно-методическое пособие / Е. Ю. Матвеев, К. Ю. Жижин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 121 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/311090>.

### б) дополнительная учебная литература:

1. Кисилев Ю.М., Добрынина Н.А. Химия координационных соединений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.

2. Скопенко В.В., Цивадзе А.Ю., Савранский Л.И., Гарновский А.Д. Координационная химия. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 487 с.

3. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений, – Л.: Химия, 1971.

4. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия : Учебник / Н.С. Ахметов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк.: Академия, 2001. – 743 с.

5. Гельфман М.И., Юстратов В.П. Химия координационных соединений. – Кемерово: издательство "Кузбассвузиздат", 2004.

6. Скорик Н.А., Кумок В.Н. Химия координационных соединений. – М.: Высшая школа, 1975.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. А.Н. Морозов «Теория строения координационных соединений». Курс лекций для студентов химфака ЮФУ(РГУ). – URL: <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru>
2. Онлайн учебник. (Глава 9. Координационные соединения). — URL: <http://chemistry.ru>
3. Портал фундаментального химического образования России. — URL: <http://www.chemnet.ru>

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение программы дисциплины «Комплексные соединения» предусматривает: лекции (32 часа), лабораторные работы (64 часа), текущий контроль в виде выполнения индивидуальных заданий, защиту лабораторных работ, выполнение реферата; промежуточный контроль сдачи зачета.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на занятии или консультации.
Контрольная работа	Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы
Лабораторная работа	Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы, методических указаний по выполнению лабораторных работ, подготовка ответов к контрольным вопросам для допуска к выполнению лабораторной работы, подготовка к защите лабораторных работ.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, отчеты по лабораторным работам.

## 12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,

- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### **12.1. Перечень информационных технологий**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций с использованием слайд-презентаций;
- использование обучающих видеофильмов;
- использование текстового редактора Microsoft Word;
- использование табличного редактора Microsoft Excel;
- использование текстового редактора NoteBook (Блокнот);
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и ЭИОС.

### **12.2. Перечень программного обеспечения**

1. Текстовый редактор Microsoft Word;
2. Табличный редактор Microsoft Excel;
3. Редактор презентаций Microsoft PowerPoint;
4. Текстовый редактор NoteBook (Блокнот);
5. Браузеры: Google Chrome, Internet Explorer, Yandex, Mozilla Firefox, Opera.

### **12.3. Перечень информационных справочных систем**

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

- 1) Информационные ресурсы Сети Консультант Плюс, [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (информация нормативно-правового характера на основе современных компьютерных и телекоммуникационных технологий);
- 2) Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK);
- 3) ЭБС «Издательства Лань», <https://e.lanbook.com/>;
- 4) Электронно-библиотечная система BOOK.ru, [www.book.ru](http://www.book.ru);
- 5) Базы данных «Электронно-библиотечная система elibrary» (ЭБС elibrary);
- 6) Базовая версия ЭБС IPRbooks, [www.iprbooks.ru](http://www.iprbooks.ru);
- 7) Базы данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru);
- 8) Электронно-библиотечная система «Айбукс.py/ibooks.ru»;
- 9) <http://ibooks.ru/home.php?routine=bookshelf>
- 10) Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ», <http://urait.ru/>.

### 13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Лекции по дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проектором.
2. Лабораторные занятия проводятся в учебной лаборатории, оснащенной приборами и оборудованием.
3. Библиотечный фонд института используется при работе с литературой.

### 14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

#### 14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид занятия	Образовательная технология	Цель	Формы и методы обучения
Лекции	Технология проблемного обучения	Усвоение теоретических знаний, развитие мышления, формирование профессионального интереса к будущей деятельности.	Лекция-объяснение, лекция-визуализация. Лекция с разбором конкретных ситуаций.
Лабораторные работы	Технология проблемного и активного обучения	Организация активности студентов в условиях, близких к будущей профессиональной деятельности, обеспечение личностно-деятельного характера усвоения знаний и коллективной творческой деятельности приобретения умений и навыков.	Репродуктивные, творчески репродуктивные методы активного обучения, проблемные и исследовательские методы.
Самостоятельная работа	Технологии концентрированного, модульного, дифференцированного обучения	Развитие познавательной самостоятельности, обеспечение гибкости обучения, развитие навыков работы с различными источниками информации, развитие умений, творческих способностей.	Индивидуальные, групповые при контроле преподавателя.

Текущий и промежуточный контроль	Технология использования разноуровневых задач	Индивидуально-личностный подход, учитывающий различие в степени подготовки и мышления студента. Выявление уровня подготовки студента и уровня освоения материала раздела/темы.	Различают задачи и задания трех основных уровней: а) репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины; б) реконструктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей; в) творческого уровня, позволяющие оценивать и диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.
----------------------------------	---	--	---

**14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- оформление и подготовку к лабораторным работам;
- подготовку к текущему и промежуточному контролю;
- работу с литературой и интернет-источниками.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях,

необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе дисциплины. Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы.

На самостоятельное изучение студентам выносятся следующая тема:

1. Особенности исследования комплексных соединений (защита лабораторных работ).
2. Применение комплексных соединений (реферат + доклад с презентацией).

### ***14.3. Краткий терминологический словарь***

Адденд – устаревшее название лиганда.

Аквакатионы – комплексные катионы, в которых лигандами служат молекулы воды, например,  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .

Аквакомплексы – очень неустойчивые комплексы, содержащие аквакатионы и простые анионы (т.е. где лигандом служит вода  $\text{H}_2\text{O}$ ), иначе - катионы, гидратированные определенным числом молекул воды:  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ . Вода связана с центральным атомом металла через атом кислорода.

Акцептор электронов - центральный атом-комплексобразователь, имеющий свободные орбитали (лиганды выступают донорами электронов; между донорами и акцепторами образуется донорно-акцепторная или координационная связь).

Амбидентатный лиганд – лиганд, который может быть связан с комплексобразователем через разные атомы, входящие в его состав. Например, тиоцианатный лиганд NCS- может присоединяться к центральному атому комплекса через атом азота и через атом серы.

Аммиокомплексы (аммиакаты, амминаты) – координационные соединения металлов (d-элементов) с нейтральными лигандами (обычно это комплексы катионного типа), где лигандом служит аммиак  $\text{NH}_3$  или его производные (например,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{ClO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2[\text{CuBr}_3]$ ).

Анионы комплексные – сложные (состоящие из нескольких частиц) анионы, имеющие отрицательный заряд (например,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  или  $[\text{Co}^{\text{II}}\text{Cl}_4]^{2-}$ ).

Анионгалогенаты – комплексы, в которых комплексобразователем выступают галогенид-ионы, например:  $\text{Cs}[\text{I}(\text{BrCl})]$ ,  $[\text{I}(\text{I}_2)_2]$ ,  $\text{K}[\text{I}(\text{I}_2)_2]$ ,  $\text{NO}_2[\text{BrF}_4]$ ,  $\text{Rb}[\text{ICl}_4]$  и др., причем внутрисферными лигандами выступают не более двух разных галогенов. Они получили широкое распространение в качестве твердых электролитов.

Атом донорный – атом лиганда, имеющий свободную (неподеленную) пару электронов, определяющий его координационные свойства.

Аутокомплексы – комплексы, содержащие один и тот же металл как во внутренней, так и во внешней сферах:  $\text{Cd}[\text{CdI}_3]_2$ ,  $\text{Hg}[\text{HgCl}_4]$  и др. Они обычно образуются в водных растворах и полностью диссоциируют в таких растворах.

Ацидоаммиокомплексы – координационные комплексы металлов, содержащие во внутренней сфере как нейтральные лиганды, так и ацидогруппы (например,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{NO}_3]^{2-}$ ).

Ацидогруппы – отрицательно заряженные анионы.

Ацидокомплексы (комплексы с ионными лигандами) – обычно комплексы-электролиты анионного типа с лигандами - анионами кислот или смешанными лигандами, например  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ,  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ ,  $\text{Na}_5[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{SO}_3]$ .

Бикомплексы – комплексные соединения типа  $[\dots][\dots]$ , т.е. содержащие одновременно

комплексный анион и комплексный катион:  
[Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Cl][Pd(NH<sub>3</sub>)Cl<sub>3</sub>], [Fe(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>][Co(CN)<sub>6</sub>], [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>][Fe(CN)<sub>6</sub>] и др.

Валентность координационная (число координационное) – общее количество лигандов, входящих во внутреннюю сферу комплекса.

Валентность побочная – дополнительная (остаточная) валентность, проявляемая атомами после насыщения главной (первичной) валентности при образовании ионов.

Внешняя сфера комплексного соединения – ионы и (или) молекулы, не находящиеся в непосредственной химической связи с комплексообразователем, но нейтрализующие заряд комплексного иона (внутренней сферы).

Внутренняя (координационная) сфера комплексного соединения – совокупность комплексообразователя и непосредственно с ним связанных лигандов.

Внутрикомплексные соединения – циклические соединения, содержащие внутрисферные поликоординационные заместители, присоединенные к центральному атому металла как за счет главной валентности (замещение водорода), так и за счет побочной (через N, O, S и др.).

Высокоспиновая электронная конфигурация – электронная конфигурация с максимально возможным числом неспаренных электронов на атомных или молекулярных орбиталях.

Гидраты – соединения, содержащие аквакомплексы, например, Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O или кристаллогидрат CrCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O (в действительности он является комплексом [Cr(OH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub>, у которого около комплексообразователя Cr<sup>3+</sup> удерживаются 6 молекул воды во внутренней сфере).

Гидридные комплексы – комплексные соединения, в которых лигандами служат гидридные анионы, например, Li[AlH<sub>4</sub>].

Гидроксокомплексы – комплексные соединения, в которых лигандами служат гидроксид-ионы, например, Na[Al(OH)<sub>4</sub>].

Гидроксиды / основания комплексные – комплексы, отщепляющие при растворении в воде ионы гидроксидов, например, [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]OH, [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>2</sub>(OH), [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>](OH)<sub>2</sub> и др.

Группа мостиковая – атом лиганда, присоединенный к двум или трем ионам металла (образуемый ей комплекс называется мостиковым).

Дентатность (емкость координационная) – количество донорных центров лиганда, участвующих в координации (иначе – число координационных мест, занимаемых каждым лигандом во внутренней сфере комплекса, т.е. около центрального иона). Количество донорных центров и дентатность не всегда совпадают.

#### Диссоциация комплексов

Комплексы обычно диссоциируют в два этапа:  
- первичная (диссоциация соединения на ионы внешней координационной сферы и комплексные ионы; она идет практически полностью с образованием комплексных ионов и противоположно заряженных простых ионов)  
- вторичная (обратимый распад внутренней сферы на комплексный ион этой сферы и ионы внешней сферы) – незначительная ступенчатая диссоциация.  
У комплексов - неэлектролитов первичная диссоциация отсутствует.

Донор электронов – лиганд с неподеленными электронными парами. Например, молекула аммиака, имея пару неподеленных электронов, является одним из активнейших

комплексообразователей, выступая донором в соединении  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ .

Изомерия – существование соединений, одинаковых по составу и молярной массе, но различающихся строением, а следовательно, и свойствами.

Изомерия геометрическая – вид внутрисферной изомерии, связанный с различным (например, цис- или транс-) расположением лигандов во внутренней сфере комплекса.

Изомерия ионная – вид изомерии, связанный с различным распределением лигандов между внешней и внутренней сферой.

Изомерия оптическая – вид внутрисферной изомерии, связанный с различным расположением лигандов во внутренней сфере комплекса, приводящим к появлению оптических изомеров (энантиомеров).

Ион внешнесферный – анион или катион комплекса, имеющего внешнюю ионную сферу, образующийся при диссоциации его в растворе.

Ионы комплексные – ионы, образованные за счет побочных валентностей атомов комплексов. Комплексные ионы образуются при присоединении к данному иону нейтральной молекулы или иона противоположного знака донорно-акцепторной связью, например, катион  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ .

Карбонильные комплексы – соединения металлов с группами оксида углерода CO (т.е. присутствует хотя бы одна связь металл-углерод, например,  $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ ,  $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ ,  $[\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}]$ ,  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  и др.).

Катионгалогены – соединения, содержащие катионы, в которых и комплексообразователь, и лиганды - галогены (например:  $[\text{ICl}_2][\text{SbCl}_6]$ ;  $[\text{BrF}_2][\text{AsF}_6]$  и др.). Их анионы - типа  $[\text{SbF}_6]^-$ ,  $[\text{SbCl}_6]^-$ ,  $[\text{AsF}_6]^-$ ,  $[\text{BF}_4]^-$  и т.п.

Катионы комплексные – сложные (состоящие из нескольких частиц) катионы, имеющие положительный заряд (например, комплексный катион  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,  $[\text{FeS}_2\text{O}_3]^+$ ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  или  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{H}_2\text{O}]^{3+}$ ). При взаимодействии с какими-либо анионами комплексные катионы могут образовывать комплексные соли.

Кислоты комплексные – называют солями водорода, например:  $\text{H}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ ,  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ ,  $\text{H}_2[\text{HgBr}_4]$ ,  $\text{H}_2[\text{CoCl}_4]$ ,  $\text{H}[\text{Co}(\text{CO})_4]$ ,  $\text{H}_2[\text{IrCl}_6]$  и др. Они более сильные, чем подобные им (например, кислота  $\text{H}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  сильнее кислоты HCN).

Кластеры – многоядерные комплексные соединения, в которых атомы комплексообразователя связаны друг с другом непосредственно (т.е. химические соединения, содержащие ковалентную связь между атомами или молекулами), например, в комплексном анионе  $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ .

Комплекс (комплексное соединение) – химическое соединение (вещество или раствор высокой симметрии), состоящее из центрального ядра (атома - комплексообразователя - акцептора электронов), окруженного лигандами (донорами электронов), связанных донорно-акцепторной или координационной связью (между внешней и внутренней сферой существует ионная связь). При образовании комплексов из более простых молекул не возникают новые электронные пары (нет перехода электронов, так как в процессе участвуют 'готовые' ионы или полярные молекулы), т.е. образование комплексов происходит без изменения степени окисления реагентов. У кристаллических комплексов узлы решетки содержат комплексные ионы, способные существовать самостоятельно в растворе и расплаве.

Комплексообразователь (центральный атом) – атом, условный ион или молекула, координирующие лиганды и непосредственно с ними связанный.

Комплекс амфотерный - комплекс, проявляющий свойства как кислоты, так и основания. Если в комплексе одновременно содержатся протонодонорная молекула лиганда (например,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  и др.) и молекула того же лиганда, отщепившая протон (способная к его присоединению, например,  $\text{NH}_2$  и др.), то такой комплекс будет амфотерным. Например, комплекс  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_5\text{NH}_2]^{3+}$ .

Комплекс внешнеорбитальный (высокоспиновый) – ионный комплекс, связи в котором образованы с участием внешних  $\{ns-, np- \text{ и } nd-\}$  - орбиталей комплексообразователя.

Комплекс внутриорбитальный (низкоспиновый) – ионный комплекс, связи в котором образуются при участии  $\{ns-, np- \text{ и } (n-1)d-\}$  - орбиталей комплексообразователя (т.е. внешних и внутренних орбиталей центрального атома).

Комплексообразование – взаимная координация взаимодействующих частиц. Свойства исходных веществ при комплексообразовании сильно изменяются.

Комплексообразование ступенчатое – образование комплексов (обычно в растворах) путем последовательного присоединения лигандов. Например, никель (II) с аммиаком ступенчато может образовать 6 очень похожих соединений:  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ ,  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ , ...,  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ .

Комплексообразователь – центральный атом или комплексный ион, имеющий вакантные орбитали, который выступает акцептором электронов.

Комплексы анионные – комплексы, у которых внутренняя сфера имеет отрицательный заряд, например, тетрахлооропалладат калия  $\text{K}_2[\text{PdCl}_4]$  с анионом  $(\text{PdCl}_4)^{2-}$ .

Комплексы биядерные – комплексы, содержащие два атома элемента-комплексообразователя, например, комплекс платины (II)  $[\text{Pt}_2(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  содержит два атома платины.

Комплексы гетерополиядерные – много/полиядерные комплексы, содержащие разные комплексообразователи {например:  $[(\text{CO})_5\text{Re}-\text{Mn}(\text{CO})_5]$ }.

Комплексы гидратные – ионы в водных растворах; в других типах растворителей - сольватные комплексы. В обоих типах комплексов полярные молекулы жидкости электростатически взаимодействуют с заряженными ионами. Пример комплекса -  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$ .

Комплексы гидридные – комплексы, в которых лигандами являются гидридные анионы  $\text{H}^-$  (донором является гидридный ион). Комплексообразователем в них обычно являются бор, алюминий, галлий, индий и таллий:  $\text{Al}[\text{BH}_4]_3$ ,  $\text{Li}[\text{AlH}_4]$  и др.. Степень окисления атомов водорода в этих комплексах равна (-1).

Комплексы гомополиядерные – много/полиядерные комплексы, содержащие одинаковые комплексообразователи.

Комплексы катионные – образуются в результате координации вокруг положительного иона полярных молекул ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ). У них отрицательный заряд лигандов меньше положительного заряда комплексообразователя (внутренняя сфера несет положительный заряд).

Комплексы нейтральные (комплексы-неэлектролиты) – водные растворы которых не проводят электрический ток (внутренняя сфера комплексов-неэлектролитов не несет никакого электрического заряда). В таких комплексах заряд лигандов компенсирует заряд комплексообразователя:  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ .

Комплексы неоднородные – комплексы, у которых во внутренней сфере имеется два и более различных лигандов, например,  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}_3]^0$ ,  $\text{K}_4[\text{Ni}_2(\text{CN})_6(\text{CO})_2]$ ,  $\text{Na}[\text{Fe}(\text{NO})_2\text{S}_2\text{O}_2]$ ,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{OH}_2)]\text{Cl}_2$  и др.

Комплексы однородные – соединения, содержащие один вид лиганда:  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$ ,  $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ ,  $\text{K}[\text{I}(\text{CN})_2]$ ,  $[\text{AuBr}_4]$  и др.

Комплексы одноядерные – комплексные соединения, содержащие во внутренней сфере один комплексообразователь и несколько лигандов:  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{ClO}_4)_2$ ;  $\text{Rb}_2[\text{Al}(\text{NO}_3)_5]$ ;  $(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{SO}_3)_3]$ ;  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ .

Комплексы полиядерные – комплексы, в которых лиганды связывают между собой посредством мостиковых групп два или более центральных атомов:  $[\text{Pt}_2(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ,  $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$ ,  $[\text{Pt}_2(\text{CO})_2\text{Cl}_4]$ ,  $[\text{Bi}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ . К таким комплексам иногда также относят соединения, содержащие кластеры.

Комплексы простые – комплексы, содержащие в составе внутренней координационной сферы одинаковые лиганды, занимающие одно координационное место. В своем составе они не содержат циклы.

Комплексы разно(лигандные/родные) или смешанолигандные – соединения, содержащие во внутренней сфере два и более видов лигандов.

Комплексы сольватные (сольватоконплексы) – комплексы вида  $[\text{ЭL}_6]^{n+}$  {где Э - ион элемента,  $\text{L}_6$  - лиганд}, образованные ионами d-элементов III-го периода, прочно связанными с 6-ю молекулами растворителя. В ряде случаев молекулы растворителей могут выступать как лиганды сольватоконплексов.

Комплексы хелатные (внутрикомплексные) – комплексы, в которых оба донорных атома полидентатного лиганда связаны с одним и тем же центральным атомом, образуя цикл (замкнутую систему), т.е. комплексы, содержащие полидентатные лиганды, связывающиеся с одним и тем же центральным атомом металла несколькими связями. Атом-комплексообразователь может замещать протон лиганда в соединении.

Константа нестойкости  $K_{\text{н}}$  – характеризует устойчивость комплекса: чем устойчивее комплекс, тем меньше его константа нестойкости {т.е. чем меньше эта константа, тем меньше концентрация в растворе ионов, на которые диссоциирует комплекс}.

Константа образования (устойчивости) ступенчатая  $K_i$  – константа равновесия реакции образования комплекса на какой-либо i-ой ступени комплексообразования, с присоединением одного очередного иона (молекулы) лиганда.

Константа образования (устойчивости) общая  $\beta_i$  – константа равновесия реакции образования комплекса в случае присоединения данного числа лигандов к комплексообразователю.

Константа экранирования – величина, характеризующая прочность образованного комплекса, представляющая собой отношение сил притяжения и отталкивания в комплексе.

Координация – удерживание лигандов около центрального атома за счет образования координационных связей. При переходе молекулы из свободного состояния в координированное происходит перераспределение ее электронной плотности: реакционная способность координированной молекулы обязательно меняется (она может как ослабляться, так и усиливаться). При координации изменяется электронная конфигурация и кислотно - основные свойства как лигандов, так и центрального атома.

Координационное число – число химических связей комплексообразователя с лигандами; определяет число ближайших соседей комплексообразователя в комплексных соединениях (иначе - количество лигандов, которое центральный атом координирует в данном комплексе; число атомов лигандов, непосредственно присоединенных к центральному атому; число сигма-

связей, образуемых центральным атомом с лигандами).

Лиганды – ионы и молекулы, имеющие неподеленные электронные пары и непосредственно связанные с комплексообразователем во внутренней сфере комплекса.

Лиганд (амбидентный / амбидентатный) – лиганд, содержащий несколько электронодонорных центров, из которых только один участвует в координации, т.е. который может быть связан с комплексообразователем через разные атомы, входящие в состав лиганда.

Лиганд бидентатный (или лиганд двойной) – лиганд, занимающий два координационных места. Обычно он содержит по два донорных атома, способных соединиться с центральным ионом с образованием координационной связи. В качестве бидентатных лигандов могут выступать как двухзарядные анионы (например,  $C_2O_4^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $S_2O_3^{2-}$ ), так и нейтральные молекулы (например, этилен-диамин).

Лиганды полидентатные ('многозубые') – донорные лиганды, занимающие более двух координационных мест и содержащие несколько донорных атомов {т.е. быть би-, три-, тетра-, пента- и гексадентатными}.

Лиганд монодентатный – лиганд, использующий в качестве донора только один атом и занимающий в комплексе одно координационное место (образующий только одну координационную связь).

Лиганды мостиковые – лиганды, связывающие между собой одновременно два или три иона металла-комплексобразователя во внутренней сфере многоядерных комплексов (т.е. координированные двумя или тремя атомами металла).

Лиганды сильного поля – группы атомов, связывающие орбитали которых (сконцентрированные между парами атомов) удалены от иона металла, а пустые разрыхляющие орбитали расположены ближе к иону металла. В комплексах с такими лигандами электронам энергетически невыгодно занимать орбитали с высокой энергией. Они вызывают сильное расщепление d-уровней (образующие прочные внутрисферные комплексы не только за счет величины заряда, но и за счет возникающего дипольного момента взаимодействия). К ним относят  $CN^-$ ,  $NH_3$  - лиганды сильного поля, создающие большое расщепление.

Лиганды слабого поля – лиганды, вызывающие малое расщепление d-уровней (образующие нестойкие внешнесферные комплексы и не влияющие на спаривание d-электронов комплексобразователя). Обычно ими выступают одноатомные ионы с неподеленными электронными парами, которые могут служить донорами электронов:  $Br^-$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $H_2O$ ,  $I^-$ ,  $OH^-$ ,  $SCN^-$  и др. Электронам легче расположиться в орбитали с высокой энергией, чем иметь два электрона в одной орбитали с низкой энергией (два электрона в одной орбитали отталкивают друг друга, т.е. затраты энергии на размещение второго электрона в орбитали выше). Прежде чем появятся парные электроны, в соответствии с правилом Хунда в каждую из пяти d-орбиталей должно быть размещено по одному электрону.

Металлоцены – комплексы металлов, в которых лигандами служат циклопентадиенильные ионы, например,  $[M(C_5H_5)_2]$ .

Многоядерные комплексы – комплексы, содержащие во внутренней сфере два и более комплексобразователей.

Низкоспиновая электронная конфигурация – электронная конфигурация с максимально возможным числом спаренных электронов на атомных или молекулярных орбиталях.

Параметр расщепления – разность энергии подуровней, получаемых при расщеплении d-

подуровня в поле лигандов.

Полиэдры координационные – образуются при размещении анионов вокруг катионов. Тип расположения частиц зависит от относительных размеров анионов и катионов. Они представляют собой молекулярные многогранники, вершинами которых являются все атомы молекулы (лиганды), непосредственно связанные с центральным атомом, а также имеющиеся неподеленные электронные пары. Число вершин полиэдра равно координационному числу центрального атома.

Правило Сиджвика Н.-В. (1950): Центральный атом металла в комплексах окружен таким числом лигандов, чтобы число электронов во внешней электронной оболочке соединения было равно 18 (т.е. чтобы электронная оболочка состояла из s-, p- и d-электронов и электронных пар лигандов).

Соединения сэндвичевы – комплексы с органической молекулой циклопентадиена (C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>).

Транс-влияние – взаимовлияние лигандов, находящихся в транс-положении относительно друг друга.

Спектрохимический ряд лигандов – последовательность лигандов, расположенных по росту их влияния на параметр расщепления.

Хелаты (циклические соединения) – комплексные соединения с полидентатными лигандами, образующими в структуре циклы – замкнутые группировки атомов, включающие комплексообразователь.

Хелат-эффект – повышение устойчивости комплексов при образовании в их структуре циклических фрагментов, включающих комплексообразователь.

Цис-влияние – взаимовлияние лигандов, находящихся в цис-положении относительно друг друга.

Энергия расщепления – различие в энергии расщепленных подуровней под действием электростатического поля лигандов. Энергия расщепления зависит от размеров центрального иона, его заряда, электронной конфигурации и от природы лиганда.

## **15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а так же, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний студентов на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий. Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие

требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.)

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае студент предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время подготовки на зачете может быть увеличено.

Для **лиц с нарушением зрения** допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а так же использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний студентов на семинарских занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

**Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата** не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия студент может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия студент должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем студент в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

Программу составили:

О.Ф. Пасевич – доцент отделения биотехнологий, кандидат химических наук

Рецензент:

О.А. Ананьева – доцент отделения биотехнологий, кандидат химических наук





## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассмотрена на заседании отделения  
биотехнологий и рекомендована к одобрению  
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ

(протокол № 9/1 от «21» 04 2023г.)

Начальник отделения биотехнологий ИАТЭ  
НИЯУ МИФИ

А.А. Котляров

