

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Химия кластеров Б1.В.ДВ.3

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Нефтехимия и катализ

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Чевела В.В.

**Рецензент(ы):**

Соломонов Б.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Амиров Р. Р.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Химического института им. А.М. Бутлерова:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 72616

Казань  
2016

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, д.н. (профессор) Чевела В.В. Кафедра неорганической химии Химический институт им. А.М. Бутлерова, Vladimir.Chevela@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

получение знаний основ классификации и закономерностей строения и реакционной способности кластерных соединений металлов, рассмотрение типов молекулярных кластерных соединений, имеющих основы в виде металлоцепей, металлоциклов, металлокаркасов и металлополиэдров, а также принципов образования и основных реакций кластерных соединений

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.3 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 04.04.01 Химия и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

относится к циклу Б1 профессиональных дисциплин, его вариативной части Б1.В.ДВ.3 и опирается на основные разделы общенаучных дисциплин: физика, неорганическая химия, органическая химия, строение вещества, физическая химия, физика

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-2 (общекультурные компетенции)	способностью уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантность в восприятии социальных и культурных различий
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью демонстрации общенаучных базовых знаний естественных наук, математики и информатики, понимание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и языки баз данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

что химия кластеров представляет собой современную дисциплину на стыке неорганической, металлоорганической и координационной химии и развивающая представления о реакционной способности, химической связи и топологии неорганических соединений

2. должен уметь:

ориентироваться в учебной, монографической, справочной и журнальной литературе в области химии кластеров

3. должен владеть:

теоретическими знаниями об основных закономерностях строения и реакционной способности кластерных соединений

навыки применения теорий валентных связей, молекулярных орбиталей, концепции изолабальности для описания электронного строения кластеров

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Кластерное соединение	3		0	2	0	устный опрос
2.	Тема 2. Концепция плотной упаковки лигандов на поверхности металлического остова	3		0	4	4	тестирование
3.	Тема 3. Типы лигандов в кластерных соединениях	3		0	4	4	тестирование
4.	Тема 4. Электронное строение кластерных соединений	3		0	2	4	тестирование
5.	Тема 5. Кластеры-металлоцепи, металлоциклы	3		0	2	4	тестирование
6.	Тема 6. Металлополиэдры	3		0	2	4	тестирование
7.	Тема 7. Галогенидные и карбоксилатные кластеры	3		0	2	4	тестирование

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			0	18	24	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Кластерное соединение

#### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Содержание понятия кластерное соединение. Кластерные соединения и кластерные материалы? Кластерное соединение ? изолированная группа, содержащая связи металл-металл. Кластерные материалы ? полимеры с кластерными группами. Ультрадисперсные металлические частицы с диаметром  $\sim 300\text{Å}$  называют иногда ?безлигандные металлические кластеры?. Их получают преимущественно физическими методами. Безлигандные металлические кластеры являются метастабильными и самый очевидный путь их стабилизации ? покрытие поверхности лигандами. В результате в зависимости от типа лигандов образуются или молекулярные кластеры или кластерные материалы. Кластеры ? определенная ступень между молекулярными комплексами и ультрадисперсными частицами. Относительная устойчивость ультрадисперсных частиц. Ультрадисперсное состояние представляет достаточно большой интерес, поскольку процессы седиментации, образования пленок, роста кристаллов проходят через стадии образования этих частиц, а при растворении металлов проходят через эту область в обратном направлении. 1. Одноатомные частицы кластеризуются с  $T > 12\text{ K}$  (результата - частицы M2-M6) 2. Димерные частицы получаются для большинства d- металлов методом матричной изоляции. 3) Металлические частицы составов M3-M12. Получить матрицы, содержащие частицы одного сорта невозможно. 4. Частицы с числом атомов 13-150 ( $d \sim 8-20\text{Å}$ ) Появление внутренних атомов, возможность упаковок с осями симметрии 5 пор. 5). Частицы с размерами 20-100Å. Количество поверхностных и внутренних атомов сравнимо. 6) Частицы с размерами 100-300Å Это переходная область, где в центре кластера появляются слои с упаковкой компактного металла (КП, ГПУ). Сосуществуют две упаковки ? кристаллическая и внешняя икосаэдрическая. 7). Частицы с диаметром  $> 300\text{Å}$ . Доля поверхностных атомов  $\sim 0.01$  Внутренняя структура соответствует компактному металлу. Теория Киперта в описании структуры кластеров В основе данной теории лежит идея, что стереохимическое расположение лигандов вокруг центрального атома определяется взаимным отталкиванием всех химических связей. При этом считается, что центральный атом не играет никакой роли в определении пространственной конфигурации комплекса, не определяет предпочтительный выбор направления связи и не экранирует окружающие его связи. Расчеты основаны на минимизации полной энергии отталкивания, получаемой суммирования энергий отталкивания по всем парам связей центральный ион - лиганд. Каждая связь металл-лиганд считается эффективно действующей как точка. Все n связей отталкивают друг друга как точки на сфере (при одинаковых длинах связей).

### Тема 2. Концепция плотной упаковки лигандов на поверхности металлического остова

#### *практическое занятие (4 часа(ов)):*

Пространственные эффекты лигандов в кластерах. Понятие конического кластерного угла. Изучение закономерностей расположения различных лигандов на поверхности металлоостова привело к выводу о том, что кластерообразование состоит в создании на поверхности металлоостова плотноупакованной оболочки из лигандов. Лиганд экранирует часть пространства на поверхности металлоостова. Для оценки этого эффекта поступают следующим образом. Внешнюю часть остова задают идеализированными поверхностями: линейную цепь – цилиндром, плоский цикл – тором, правильный полиэдр – шаром. Радиусы цилиндра и тора равны ковалентным радиусам металла, радиус шара – сумме расстояний центр полиэдра – атом металла +  $r(\text{ков})$  металла. Для количественной оценки пространственного экранирования в одноядерных соединениях используются телесные углы  $\Omega$  с вершиной в атоме М. Для цепочечных молекул – проекции лигандов на цилиндр единичного радиуса. Было предположено, что в кластерах с остовом, вписывающимся в шар, общее число лигандов определяется коническим кластерным углом (ККУ). Если  $L$  – экранирование, то  $L(i) = \sin^2(\Omega/4)$ ;  $\sum L(i) = 1$  – условие полного экранирования поверхности. Величины ККУ уменьшаются при увеличении нуклеарности кластера, при увеличении числа граней в полиэдре и приближаются к определенному предельному значению (при фиксированном расстоянии металл-металл).

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Синтез бис-цитратного комплекса алюминия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии «Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами», часть 2, стр. 4)

**Тема 3. Типы лигандов в кластерных соединениях**

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

В химии кластерных соединений лиганды обычно классифицируются по числу донируемых электронов и дентатности, типа координации. Лиганды в кластерных соединениях могут иметь координацию вершинную, реберную ( $\square$ ), граневую ( $\square_3$ ,  $\square_4$ ) или внутривещную ( $\square_n$ (вн)). В кластерных соединениях водород чаще всего бывает мостиковым лигандом, соединяющим два металла при различных типах реберной координации или три металла при граневой. Для водорода всегда донируется 1 e<sup>-</sup>. Атом Cl при вершинной координации дает 1e<sup>-</sup>, при реберной ? 3e<sup>-</sup>, при граневой ( $\square_3$ ) ? 5e<sup>-</sup> с атомами кластерного остова. Сера при вершинной и реберной координации дает 2e<sup>-</sup>, при граневой ( $\square_3$ ) ? 4e<sup>-</sup>. С увеличением числа координируемых атомов остова происходит вовлечение все большего числа электронов серы, хотя и при  $\square_3$ - координации остается свободная НЭП, по которой возможна дополнительная координация. Ситуация осложняется, если лиганд имеет несколько донорных атомов. Например, при реберной координации группы S<sub>2</sub> связь S- S лежит перпендикулярно связи М-М, группа в этом случае является донором 6e<sup>-</sup>, оставшиеся 2 электронные пары также способны к дополнительной координации. Предельный случай донирования карбонильной группой - 6e<sup>-</sup>, в этом случае карбонильная группа расположена параллельно треугольной грани. Способы координирования олефиновых, ацетиленовых лигандов. Для олефиновых лигандов имеются возможности от моно- до пентадентатной координации, причем пи-система олефина может выступать в качестве моно- или бидентатного лиганда. Возможности замещения карбонильных групп молекулами олефинов в карбонильных кластерах. Донорные возможности олефинов. Возможны следующие варианты взаимодействия карбонильных кластеров с олефинами. Во-первых, возможно разрушение кластерного остова (случай Fe<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub>); при этом олефин, связанный с атомом железа через пи-связь, является донором 2-х электронов и замещает 1 CO ? лиганд. Во-вторых, возможно сохранение металоостова (случай Ru<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub>, Os<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub>) по схеме: M<sub>3</sub>(CO)<sub>12</sub> + RHC=CHR'  $\square$  H<sub>2</sub>M<sub>3</sub>(CO)<sub>9</sub>(RC<sub>2</sub>R') + 3CO

Ацетиленовые лиганды. Известно, что ацетилены редко входят в координационную сферу металла как таковые, не вступая в реакции друг с другом, с металлами, другими лигандами. Исследована и структурно, охарактеризована граневая координация двузамещенных ацетиленов. Симметричная и асимметричная координация грани. Внутривещные лиганды. Внутри полиэдра из атомов металла имеется полость, размеры которой зависят от типа полиэдра и радиуса атома металла. Данные полости способны занимать неметаллические элементы. Были получены соединения, содержащие в полостях H, C, N, S, P, As, Sb. Несмотря на малый ковалентный радиус, атом водорода надежно фиксируется внутри полости октаэдрических кластеров- Co<sub>6</sub>( $\square_6$ вн-Н)CO<sub>15</sub> Внутренний радиус полости (0.58А) намного больше ковал. радиуса Н(0.38А). Примеры внутривещных атомов углерода ? карбонильные кластеры железа Fe<sub>5</sub>( $\square_6$ вн-С)CO<sub>15</sub> Fe<sub>6</sub>( $\square_6$ вн-С)CO<sub>16</sub>. Восьми-, девяти- и двенадцатиядерные кластеры с внутривещными атомами С, Р, Sb.

#### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Синтез цитратного комплекса индия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии ?Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами?, часть 2, стр. 39)

#### **Тема 4. Электронное строение кластерных соединений**

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Понятие о кластерных валентных электронах (КВЭ) и кластерных скелетных электронах (КСЭ). В большинстве работ развиваемые теоретические представления о природе химической связи призваны были объяснить лишь один факт ? общее число так называемых кластерных валентных электронов (КВЭ) или некоторую его часть ? число кластерных скелетных электронов (КСЭ). Общее число КВЭ вычисляют по следующей схеме ? к суммарному числу электронов валентной оболочки атомов остова прибавляется число электронов, поставляемых всеми лигандами + заряд с обратным знаком. Первоначально было введено понятие ?магических? чисел КВЭ как устойчивых характеристик кластеров, имеющих в основе полиэдр определенного типа. Так, для треугольных КВЭ = 48, для тетраэдров ? 60, для октаэдров ? 86. В дальнейшем оказалось, что числосоединений с магическим числом КВЭ сравнимо с числом соединений, не имеющих его. Теория молекулярных орбиталей в приложении к кластерным соединениям. В квантовохимическом описании связи можно выделить 2 подхода, различающихся способом построения МО кластера. В первом случае молекулу  $M_nL_n$  псевдосферической симметрии разбивают на  $M_n$  -сферическое металлическое ядро и оболочку лигандов. Во втором молекулу кластера делят на одинаковые однометалльные фрагменты. МО в первом подходе получают, комбинируя внешние МО ядра с подходящими МО лигандной сферы, во втором ? строят из граничных орбиталей одноядерных фрагментов с учетом общей симметрии кластера. Первый подход более универсален и лучше применим к описанию крупных и средних кластеров, для кластеров низкой нуклеарности более пригоден второй подход. Рассмотрения граничных орбиталей фрагментов  $ML_5$ ,  $ML_4$ ,  $ML_3$ ,  $ML_2$ . Концепция изолабальности. Результаты применения обоих подходов. Правила 18-ти электронов, скелетных электронных пар.

#### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Синтез трехядерного депротонированного трис-цитратного гидроксокомплекса алюминия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии ?Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами?, часть 2, стр. 12)

#### **Тема 5. Кластеры-металлоцепи, металлоциклы**

##### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Металлоцепи ? гомо- и гетероэлементные, линейные и разветвленные. Получено значительное число соединений, содержащие коротки(обычно трехзвенные) цепи, которые могут быть гомо- и гетероэлементными. Линейные гомоэлементные металлоцепи, содержащие переходные металлы. Общая черта всех этих соединений ? наличие центрального атома, геометрия связей которого определяет структуру всей цепи. Как правило, внутренний атом имеет конфигурацию искаженного октаэдра с четырьмя линейными лигандами, концевые атомы могут иметь октаэдрическую или тригонально-бипирамидальную геометрию. Примеры данных кластеров ?  $Cp-Ru(CO)_4-Ru-Ru(CO)_4-Cp$ ,  $Os_3(CO)_{12}Br_2$ . Координация вокруг центрального атома может быть линейной, плоскоквадратной. Нелинейные цепи, содержащие переходные металлы. Характерная особенность данных соединений ? наличие мостиковых лигандов, стягивающих концевые атомы металла. Примеры данных кластеров ?  $Os_3(\mu-Br)_2(CO)_{10}$ ,  $Fe_3(\mu-S)_2(CO)_9$ . Изогнутость цепи, как правило, достигается тем, что металлсодержащие группировки занимают цис- положение в координационной сфере центрального атома. Металлоцепи, содержащие переходные и непереходные элементы. Первый случай центральный атом ? переходный металл. Строение металлоцепи определяется геометрией связи центрального атома, а концевые группировки  $\Delta L_n$  часто рассматривают как металлсодержащие лиганды. Примеры соединений ?  $\Delta L_n-M(CO)_4-\Delta L_n$ ,  $\Delta L_n - SnR_3$ ,  $-GeCl_3$ ,  $M ? Ru, Os$  Второй случай ? центральный атом ? непереходный металл. Металлоцепи, содержащие только непереходные металлы. Разветвленные гетероэлементные цепи. Олигомерные и полимерные металлоцепи. Методы синтеза металлоцепей.

##### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

синтез трехядерного бис-цитратного гидроксокомплекса алюминия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии ?Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами?, часть 2, стр. 31)

#### **Тема 6. Металлополиэдры**

##### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Октаэдрические и тригонально-призматические кластеры? Среди 6-ти ядерных соединений наиболее распространены октаэдрические. Примеры соединений с различным числом КВЭ.  $Pt_6(\mu-Cl)_2$  ? 96,  $Rh_6(\mu_3-CO)_4(CO)_2$  ? 86,  $Ni_6(\mu_5-C_5H_5)_6$  ? 90,  $Ni_6(\mu_5-C_5H_5)_6^+$  ? 89,  $Zr_6(\mu-I)_2$  ? 72,  $Os_6(CO)_{18}$  - 86. Наиболее многочисленны соединения с 86 КВЭ. Проявления стерических эффектов.  $Co_6(CO)_{16}$  и  $Rh_6(CO)_{16}$  построены аналогично. Однако меньший радиус Co делает октаэдр менее объемным. Отсюда - выраженное стремление заменить 1 или 2 CO на НЭП:  $Co_6(CO)_{16} \rightarrow Co_6(CO)_{15} \rightarrow Co_6(CO)_{14}$ . Иной путь устранения лигандного напряжения ? включение лиганда внутрь полиэдра  $Ru_6(\mu_3-H)_2(CO)_{18} \rightarrow Ru_6(\mu_6-H)(CO)_{18}$ . Данный процесс выгоден, так как исчезает асимметрия остова. Соединения, содержащие остов в виде тетрагональной пирамиды (нидо- октаэдра). Кластерные соединения с кубическим, икосаэдрическим остовом. Кластеры технеция с тригонально-призматическим ядром. Реакционная способность соединений, имеющих остов в виде металлополиэдра.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Синтез тетраядерного смешанного DL-малатного комплекса алюминия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии ?Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами?, часть 2, стр. 32)

**Тема 7. Галогенидные и карбоксилатные кластеры**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Часть данного материала включает кластеры с четверными связями металл-металл. Компоненты четверной связи включают основные элементы кратных связей, но встречается только в соединениях переходных металлов, так как для ее образования необходимы орбитали с  $l=2$  и более. Полуколичественно ее можно описать только с помощью d- орбиталей. Диаграммы перекрывания и МО. Типичный случай четверной связи ? ион  $Re_2Cl_8$ . Особенность его - заслоненное расположение лигандов. Четверную связь можно описать в рамках метода гибридизации. ?  $d^5sp^3$ -гибридизацией. На основе рассмотрения МО для четверной связи можно понять возможность дробных степеней окисления, дробных порядков связывания для комплексов технеция и молибдена. Типы лигандов, координирующих кратносвязанный фрагмент металл-металл. Требования к хелатирующим лигандам. Карбоксилатные и родственные им лиганды. Необходимость замещения аксиальных позиций в типичных структурах биядерных карбоксилатов. Методы синтеза карбоксилатных и галогенидных кластеров Mo(II),(III); W(II),(III); Re(III), Nb(II), Ta(II)./

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Синтез тетраядерного гидроксомалатного комплекса алюминия (III) (см. методику в учебно-методическом пособии ?Синтеза комплексных соединений металлов с оксикарбоновыми кислотами?, часть 2, стр. 35)

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Кластерное соединение	3		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
2.	Тема 2. Концепция плотной упаковки лигандов на поверхности металлического остова	3		подготовка к тестированию	10	тестирование
3.	Тема 3. Типы лигандов в кластерных соединениях	3		подготовка к тестированию	10	тестирование

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Электронное строение кластерных соединений	3		подготовка к тестированию	10	тестирование
5.	Тема 5. Кластеры-металлоцепи, металлоциклы	3		подготовка к тестированию	10	тестирование
6.	Тема 6. Металлополиэдр	3		подготовка к тестированию	12	тестирование
7.	Тема 7. Галогенидные и карбоксилатные кластеры	3		подготовка к тестированию	10	тестирование
	Итого				66	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

- демонстрацией слайдов с применением мультимедийной техники,
- использованием интернет-ресурсов различных поисковых систем, таких как [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.wail.ru](http://www.wail.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru); [www.rushim.ru](http://www.rushim.ru), [www.chem.msu.ru](http://www.chem.msu.ru), [www.Scirus.com](http://www.Scirus.com), а также сайтов государственных ВУЗов: МГУ, СПбГУ, НГУ, ИК СО РАН, Scientopica, ChemWeb, ResearchIndex, ScientificWorld

### 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

#### Тема 1. Кластерное соединение

устный опрос, примерные вопросы:

Типы лигандов в кластерных соединениях, зависимость числа донируемых электронов от типа координации.

#### Тема 2. Концепция плотной упаковки лигандов на поверхности металлического остова

тестирование, примерные вопросы:

Типы лигандов в кластерных соединениях, зависимость числа донируемых электронов от типа координации.

#### Тема 3. Типы лигандов в кластерных соединениях

тестирование, примерные вопросы:

Кратные связи в кластерах Cr(II), Mo(II), Re(III).

#### Тема 4. Электронное строение кластерных соединений

тестирование, примерные вопросы:

Пространственные эффекты лигандов в кластерах. Понятие конического кластерного угла.

#### Тема 5. Кластеры-металлоцепи, металлоциклы

тестирование, примерные вопросы:

Пространственные эффекты лигандов в кластерах. Понятие конического кластерного угла.

#### Тема 6. Металлополиэдр

тестирование, примерные вопросы:

Теория молекулярных орбиталей в приложении к кластерным соединениям. Концепция изолабальности. в приложении к кластерным соединениям.

#### Тема 7. Галогенидные и карбоксилатные кластеры

тестирование, примерные вопросы:

Теория молекулярных орбиталей в приложении к кластерным соединениям. Концепция изолабальности. в приложении к кластерным соединениям.

### Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Билеты к зачету

Билет ♦1

1. Типы лигандов в кластерных соединениях, зависимость числа донируемых электронов от типа координации.
2. Кратные связи в кластерах Cr(II), Mo(II), Re(III).

Билет ♦2

1. Пространственные эффекты лигандов в кластерах. Понятие конического кластерного угла.
2. Теория молекулярных орбиталей в приложении к кластерным соединениям. Концепция изолабальности. в приложении к кластерным соединениям

Билет ♦3

1. Концепция плотной упаковки лигандов на поверхности металлического остова
2. Октаэдрические и тригонально-призматические кластеры"

Билет♦4

1. Возникновение и формирование химии кластеров. Классификация и номенклатура кластеров.
2. Типы лигандов в кластерных соединениях

---

Билет ♦5

1. Концепция изолабальности. Правила 18-ти электронов, скелетных электронных пар
2. Методы синтеза металлоцепей.

Билет ♦6

1. Трехчленные металлоциклы, треугольные кластеры. Электронное строение трехчленных металлоциклов
2. Галогенидные кластеры Mo(II),(III); W(II),(III); "Nb(II)",. "Ta(II)"

Билет ♦7

1. Понятие о кластерных валентных электронах (КВЭ) и кластерных скелетных электронах (КСЭ).
2. Методы синтеза. Трехчленных металлоциклов.

Билет ♦8

1. Закономерности в строении безлигандных кластеров
- 2 троеение и методы синтеза четырехчленных и более крупных металлоциклов

Билет ♦9

1. Октаэдрические и тригонально-призматические кластеры
2. Карбоксилатные кластеры Mo(II),(III); W(II),(III).

Билет ♦ 10

1. Закономерности в строении безлигандных кластеров
2. Концепция изолабальности. Правила 18-ти электронов, скелетных электронных пар

### 7.1. Основная литература:

1. Мюллер, Ульрих. Структурная неорганическая химия / У. Мюллер; пер с англ. А. М. Самойлова, Е. С. Рембезы под ред. А. М. Ховива. ? Долгопрудный: Издательский Дом "Интеллект", 2010. ? 351 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2151](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2151)
2. Федотов М.А. Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии. Растворы и жидкости. - М.: Физматлит, 2010. - 384 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2151](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2151)

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Минько, Н. И. Методы получения и свойства нанобъектов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н. И. Минько, В. В. Строкова, И. В. Жерновский, В. М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М. : ФЛИНТА, 2013. - 165 с. <http://znaniyum.com/bookread.php?book=462886>
2. Тоуб М. Механизмы неорганических реакций. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 678 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=8697](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=8697)

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- Изучение кластеров и их свойств в области химии - <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=484258>  
кластеры - <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2008.html>  
Неорганическая химия - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4032](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4032)  
ядерная химия - <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/5457.html>  
Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии. Растворы и жидкости - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2151](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2151)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Химия кластеров" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

- слайды с применением мультимедийной техники;
- раздаточный материал с изображением конструкций различных реакционных устройств и принципиальных схем некоторых каталитических процессов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 04.04.01 "Химия" и магистерской программе Нефтехимия и катализ .

Автор(ы):

Чевела В.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Соломонов Б.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.