

Приложение 12

УТВЕРЖДЕНО

приказом ФИЦ КазНЦ РАН

01.03.2019 № 7-А

Разработано и рекомендовано к утверждению
Ученым советом ИОФХ им. А.Е. Арбузова -
обособленного структурного подразделения
ФИЦ КазНЦ РАН

«27» февраля 2019 г., протокол № 3

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ФАКУЛЬТАТИВНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Основные типы органических реакций и их механизмы»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки

04.06.01 ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Направленность подготовки:

Физическая химия (02.00.04)

Высокомолекулярные соединения (02.00.06)

Нефтехимия (02.00.13)

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий
6. Формы текущего и итогового контроля, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия - 1 зачетная единицы труда (36 часов), самостоятельная работа – 4 зачетных единиц труда (144 часа), всего – 5 зачетных единиц труда (180 часов).

Форма проведения аудиторных занятий – лекции и консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В результате освоения дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

2.1 Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2).

2.2 Обще-профессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовностью организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2).

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Основные типы органических реакций и их механизмы» является факультативной дисциплиной основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, направленность (профиль) Физическая химия (02.00.03),

Высокомолекулярные соединения (02.00.06) и Нефтехимия (02.00.13). Обучение проводится на втором курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общего профессионального курса «Органическая химия», в рамках магистерской программы образования или специалитета.

Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

В результате освоения дисциплины аспирант должен получить дополнительные знания, умения и навыки. Аспирант должен:

Знать:

- основные типы механизмов органических реакций и методы их исследования;
- виды реакционноспособных интермедиатов органических реакций;
- теорию молекулярных орбиталей;
- теорию перициклических и коарктатных реакций.

Владеть:

- глубокими, специализированными знаниями, на основе которых осуществляется критический анализ, оценка и синтез инновационных идей.

Уметь:

- критически анализировать научную литературу с целью самостоятельного выбора направления исследования, самостоятельно составлять план исследования; участвовать в научных дискуссиях.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Методы исследования механизма органических реакций

Основные типы реакций органических соединений: перегруппировки, рекомбинация и диссоциация, бимолекулярное замещение, перенос электрона. Деление реакций на нуклеофильные, электрофильные и гомолитические. Общая классификация механизмов. Понятие о переходном состоянии. Стадии изучения механизма реакций: материальный баланс, кинетика, стереохимические корреляции, изотопные и структурные метки, влияние заместителей, растворителя, катализаторов, поиск нестабильных интермедиатов. Термодинамические параметры реакций. Величина энтропии активации для реакций разных типов. Понятие о кинетическом и термодинамическом контроле реакций. Уравнение Гаммета. Константы заместителей и константы реакций, их знак и абсолютная величина. Константы σ^+ , σ^- , σ^* , σ^I . Стерические эффекты. Уравнение Тафта. Соотношение линейности свободных энергий в исследовании переходного состояния.

4.2. Реакционноспособные интермедиаты органических реакций

4.2.1. Свободные радикалы. Алкильные радикалы; строение и основные способы генерирования. Обнаружение и установление строения свободных радикалов.

Спектры ЭПР. Спин-ловушки. Радикальные пары и эффекты ХПЯ в спектрах ЯМР. σ - и π -Радикалы. Основные радикал-радикальные реакции: рекомбинация, диспропорционирование. Окисление и восстановление свободных радикалов. Стабильные радикалы.

4.2.2. Карбены и нитрены. Конфигурационные взаимодействия в карбенах. Синглетные и триплетные карбены, их геометрия, различимость по тесту Скелла. Строение метилена и диформетилена. Спектроскопия матричной изоляции. Способы генерации карбенов. Нитрены и ионы нитрения. Примеры реакций с их участием. Гермилены, силилены, станнилены.

4.2.3. Карбокатионы. Карбониевые и карбениевые ионы. Строение катионов CH_3^+ и CH_5^+ . Генерация *трет*-бутильного катиона в суперкислых средах. Факторы, влияющие на стабильность карбениевых ионов. Аллильные, бензильные и полиарилметильные катионы. Катион тропилия и его свойства. Шкала стабильности карбониевых ионов. Объяснение стабилизирующего эффекта метильной, фенильной и циклопропильной групп, галогенов, кислород-, азот- и серосодержащих заместителей. Неклассические карбокатионы.

4.2.4. Карбанионы. Свободные карбанионы в газовой фазе. Их исследование методами ион-циклотронного резонанса и масс-спектрометрии высокого давления. Получение карбанионов в растворах в суперосновных средах. σ - и π -Карбанионы. Факторы, влияющие на стабильность карбанионов. Роль среды и противоиона. Контактные и сольватноразделенные ионные пары. $\text{C}\equiv\text{N}$ -Кислоты. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Амбидентные анионы и форма их МО.

4.2.5. Ароматические ион-радикалы. Генерирование катион-радикалов (КР) и анион-радикалов (АР): химическое, фотохимическое, электрохимическое. Реакции КР: диспропорционирование, присоединение нуклеофилов, отщепление протона. Реакции АР: с донорами протонов, диспропорционирование, отщепление нуклеофугной группы. Ион-радикальные соли. Теория КПЗ. SET-Механизм в органических реакциях и его обнаружение методом ХПЯ. Примеры таких реакций. Одноэлектронный сдвиг. Механизм электрофильных перегруппировок к электроноизбыточному центру как одноэлектронный сдвиг. Стабильные ион-радикалы (голубой Вюрстера, кетилы и др.)

4.2.6. Примеры редких интермедиатов. Напряженные углеводороды. Тетраэдран, (1,1,1)пропеллан, циклопропен и его реакция с атомарным углеродом. Циклические аллены; примеры реакций с их участием. Циклические ацетилены. Аценафтин. Арины и гетарины, доказательства их существования с помощью меченых атомов.

4.3. Построение молекулярных орбиталей

4.3.1. π -Системы. π -Связи в этилене, ацетилене, карбонильной группе. Теория возмущений молекулярных орбиталей. Возмущения первого и второго порядка. Двухорбитальные взаимодействия. Трёхорбитальные взаимодействия. π -Орбитали линейных и циклических сопряжённых полиенов, их построение на основе метода возмущений, симметрия и узловые свойства. Зависимость энергии от числа узлов.

Особенности строения нечётных линейных полиенов. Аллильный радикал, анион и катион. Циклические π -системы. Парность орбиталей. Вырожденные орбитали. Ароматичность и антиароматичность. Энергии делокализации и ароматичность. Бензол и его молекулярные орбитали. Граничные орбитали по Фукуи (ВЗМО, НСМО, ОЗМО). Многоструктурное описание строения молекулы бензола. Теория резонанса и её применение к бензольной, аллильной и бензильной системам, 1,3-диполям (диазометан, азиды, нитрилоксиды, нитрилиды и др.). Гиперконъюгация и её рассмотрение в рамках теории молекулярных орбиталей.

4.3.2. s -Системы. Канонические молекулярные орбитали тетраэдрической молекулы метана; их построение из групповых орбиталей ансамбля H_4 и атомных орбиталей углерода. Канонические МО плоской квадратной молекулы CH_4 . Сравнение свойств тетраэдрического и плоского метана. Причины конфигурационной устойчивости тетраэдра. Концепция гибридных орбиталей; ее применение к описанию строения метана. Недостатки простой теории гибридизации; их устранение путем симметризации гибридных орбиталей. Фотоэлектронные спектры метана. Молекулярные орбитали этана и их построение из "строительных блоков" CH_3 . Скелетные орбитали циклопропана и их построение из трех строительных блоков CH_2 с помощью метода возмущений. Плоскостные π -орбитали циклопропана. π -Свойства циклопропана: "банановость" σ -связей, протонирование "по ребру", предпочтительная конформация циклопропилалкильных катионов, устойчивость катионов, содержащих циклопропильные заместители. Скелетные орбитали циклобутана. Утрата π -свойств при переходе от циклопропана к циклам с большим числом атомов углерода.

4.3.3. Орбитальное строение металлокомплексов. Типы лигандов, понятия дентатности, гаптности, подсчет числа электронов в комплексе, правило 18 электронов, обратное связывание и его роль в стабилизации комплексов. Аналогия изолобальности. Построение молекулярных орбиталей октаэдрических комплексов. Построение молекулярных орбиталей плоско-квадратных комплексов. Построение молекулярных орбиталей тетраэдрических комплексов. Молекулярные орбитали фрагментов ML_5 , ML_4 , ML_3 , ML_2 , CrM , Cr_2M , построение комплексов из фрагментов.

4.4. Теория перициклических реакций

4.4.1. Классификация перициклических реакций по Вудворду-Хоффману. Характерные особенности: высокая стерео- и региоселективность, изменение селективности при переходе от термической к фотохимической активации. Молекулярно-орбитальная теория перициклических реакций. Перициклические орбитали; супраповерхностные и антароповерхностные взаимодействия. Критерии ароматичности по Хюккелю и Мёбиусу. Хюккелевская и мёбиусовская топология переходного состояния. Разрешённые и запрещённые реакции; относительность такого разграничения. Объяснение разрешённых и запрещённых путей реакций методами возмущения МО, корреляционных диаграмм и ароматического и

антиароматического переходного состояния. Примеры реакций, идущих по "запрещённому" пути. Сохранение орбитальной симметрии. Правила Вудворда-Хоффмана.

4.4.2. Электроциклические реакции. Их механизм. Конротаторные и дисротаторные процессы. Правила Вудворда-Хоффмана для электроциклических реакций. Применение метода корреляционных диаграмм и метода ароматического переходного состояния к этим реакциям. Примеры синтетического использования термических и фотохимических электроциклических реакций. Образование четырёхчленных циклов. Образование средних циклов путём раскрытия малого цикла в бициклических системах. Стереохимия.

4.4.3. Циклоприсоединение. Применение метода ВМО к анализу этих реакций. Метод корреляционных диаграмм и ароматического переходного состояния. Классификация реакций циклоприсоединения по числу электронов, типу орбиталей и геометрии перекрывания. Термические (4+2) реакции. Реакция Дильса-Альдера и ретродиеновый распад. Вторичные орбитальные взаимодействия как причина предпочтительного эндо-присоединения. Региоселективность реакции и величина коэффициентов на концевых атомах в граничных орбиталях диена и диенофила. Механизм присоединения карбенов по двойной связи. 1,3-Диполярное циклоприсоединение как (4+2)-процесс. 1,3-Диполи и их строение. Фотохимическое (2+2) циклоприсоединение. Правила Вудворда-Хоффмана для циклоприсоединения.

4.5. Типы органических реакций с точки зрения теории орбитальных взаимодействий

4.5.1. Алифатическое нуклеофильное замещение. Механизмы SN_1 и SN_2 . Орбитальный контроль и стереохимия реакции. Возможна ли ультимативная граница между механизмами? Влияние структуры и растворителя на механизм. Взаимодействие неподеленных пар. Строение гидразина и перекиси водорода. α -Эффект. Аномерный эффект и его объяснение как взаимодействие неподеленных пар гетероатома с разрыхляющими σ^* -орбиталями. Взаимодействие неподеленных пар "через пространство" и "через связи". Анхимерное содействие.

4.5.2. Алифатическое электрофильное замещение. Уходящая группа. Реакции $SE1$, $SE2$, SEi , $SE1(N)$ ртути- и оловоорганических соединений. Орбитальные взаимодействия и стереохимия. Нуклеофильное содействие в электрофильном замещении. Кинетические закономерности, определяющая роль электрофильной атаки или нуклеофильного содействия. *SET*-Механизм

4.5.3. Ароматическое электрофильное и нуклеофильное замещение. Построение молекулярных орбиталей бензола и монозамещенных бензолов. Ориентация и реакционная способность производных бензола в реакциях электрофильного замещения с точки зрения орбитальной теории. Орбитальный и зарядовый контроль. Факторы парциальных скоростей. Селективность и её связь со структурой переходного состояния. Индексы "суперделокализуемости" Фукуи и "числа реактивности" Дьюара. Энергия и симметрия граничных орбиталей дизамещенных

бензолов. Орбитальные коэффициенты и ориентация нуклеофильного замещения $SN_2(Ar)$.

4.5.4. Присоединение по двойным углерод-углеродным связям. Влияние заместителей различной природы на энергию граничных орбиталей алкенов. Орбитальные коэффициенты и региоселективность. Многостадийные и согласованные процессы присоединения. Гидроборирование как пример псевдоперициклической реакции.

4.5.5. Донорно-акцепторные взаимодействия в органической химии. Донорно-акцепторные взаимодействия как элементарный акт многих органических и природных процессов. Комплексы с переносом заряда (КПЗ), их роль в химии. Кислоты Льюиса. Жёсткие и мягкие кислоты и основания. Орбитальный и зарядовый контроль. Применение принципа ЖМКО к органическим реакциям. Кислоты Брэнстеда. Связь между протонной и льюисовской основностью, уравнение Эдвардса. Разбавленные растворы. Сила кислот и оснований. Эффекты сольватации. Кислотный и основной катализ. Специфический и общий кислотный и основной катализ. Уравнение Брэнстеда. Концентрированные растворы. Кислотные функции H_0 , H_A , H_R . Соотношение между ними. Кислотные функции и скорости реакций. Суперкислые среды. Превращения органических молекул в суперкислых средах. Суперосновные среды. Система ДМСО-ОН как суперосновная среда.

4.5.6. Сигматропные перегруппировки (сигматропные сдвиги). Определение. Классификация. Порядок сигматропного сдвига. Примеры [1,2], [3,3] и других сигматропных сдвигов. Ароматическое и антиароматическое переходное состояние. [1,2]-Сдвиги. Перегруппировка Вагнера-Меервейна и пинаколиновая перегруппировка. Миграция водорода и алкильных групп. Неклассические карбокатионы. Строение 2-норборнильного катиона по данным спектроскопии ЯМР при разных температурах. Стереохимия перегруппировки Вагнера-Меервейна. Миграция арила. Фенолиевые ионы. Карбеновая перегруппировка Вольфа. Перегруппировки к электронодефицитному азоту (Бекмана, Гофмана, Курциуса) как [1,2]-сигматропные сдвиги. Стереохимия перегруппировки Бекмана. [3,3]-Сдвиги. Перегруппировки Коупа и Кляйзена. Синтез индола по Фишеру. Бензидиновая перегруппировка как [5,5]-сигматропный сдвиг. Бульвален. Валентная таутомерия.

4.5.7. Неперициклические перегруппировки. 1,2-Перегруппировки к электроноизбыточному центру. Перегруппировки Виттига, Стивенса, Мейзенгеймера. Их стереохимия и радикал-согласованный механизм. Одноэлектронный сдвиг, радикальные пары и эффекты ХПЯ. Перегруппировка Фаворского. Перегруппировки в свободных радикалах. 1,5-Миграция атома водорода.

4.5.8. Органические соединения переходных металлов и металлокомплексный катализ. Рассмотрение различных стадий каталитического процесса на примере реакции гидрирования. Влияние различных факторов на каждую стадию каталитического цикла. Транс-эффект. Близкое взаимодействие. Электронное и пространственное влияние лигандов на динамические свойства металлокомплексов.

Основные принципы, определяющие выбор катализатора. Основные каталитические процессы: рассмотрение механизма реакции изомеризации алкенов, кросс-сочетания, метатезиса алкенов, карбонилирования и карбоксилирования.

4.6. Коарктатные реакции

Определение. Топология электронных сдвигов. Организующие принципы сложных реакций и теория коарктатного переходного состояния. Расширение топологического метода, ранее примененного к перициклическим реакциям на коарктатное переходное состояние. Линейные подсистемы и терминаторы. Неподделенные пары и трехчленные циклы как терминаторы: фрагментация циклопропилкарбена и циклопропилнитрена. Присоединение карбенов к бициклобутанам. Неподделенные пары и пятичленные циклы как терминаторы: перегруппировки фурфурилиденов и их гетероциклических аналогов. Трех- и пятичленные циклы как терминаторы: фрагментации оксиранов, циклоприсоединение ацетиленов к 1,4-циклогексадиенам. Реакции «сдвига связи». Фрагментация спироозонидов. Гомологический принцип коарктатных реакций. Сравнительный анализ коарктатных и псевдоперициклических реакций. Сравнение топологического и альтернативных методов. Дизайн новых переходных состояний и предсказание новых реакций.

5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудиторные занятия	Самост. работа	Всего часов
4.1	Методы исследования механизма органических реакций	2	8	10
4.2.1.	Свободные радикалы		6	6
4.2.2.	Карбены и нитрены		6	6
4.2.3.	Карбокатионы		6	6
4.2.4.	Карбанионы		6	6
4.2.5.	Ароматические ион-радикалы		6	6
4.2.6.	Примеры редких интермедиатов	2	4	6
4.3.1.	π -Системы	2	8	10
4.3.2.	s -Системы	4	8	12
4.3.3.	Орбитальное строение металлокомплексов	2	8	10
4.4.1.	Классификация перициклических реакций по Вудворду-Хоффману	4	8	12
4.4.2.	Электроциклические реакции	2	8	10
4.4.3.	Циклоприсоединение	4	6	10
4.5.1.	Алифатическое нуклеофильное замещение		6	6

4.5.2.	Алифатическое электрофильное замещение		6	6
4.5.3.	Ароматическое электрофильное и нуклеофильное замещение	4	6	10
4.5.4.	Присоединение по двойным углерод-углеродным связям		6	6
4.5.5.	Донорно-акцепторные взаимодействия в органической химии		6	6
4.5.6.	Сигматропные перегруппировки (сигматропные сдвиги)	4	6	10
4.5.7.	Неперициклические перегруппировки	4	6	10
4.5.8.	Органические соединения переходных металлов и металлокомплексный катализ		6	6
4.6.	Коарктатные реакции	2	8	10
ИТОГО		36	144	180

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО И ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по изучаемой теме. Формой итогового контроля по дисциплине является зачет. Зачет проводится по вопросам.

Вопросы к итоговому контролю.

1. Основные типы реакций органических соединений: перегруппировки, рекомбинация и диссоциация, бимолекулярное замещение, перенос электрона.
2. Деление реакций на нуклеофильные, электрофильные и гомолитические.
3. Понятие о кинетическом и термодинамическом контроле реакций.
4. Уравнение Гаммета. Константы заместителей и константы реакций, их знак и абсолютная величина.
5. Алкильные радикалы; строение и основные способы генерирования.
6. Основные радикал-радикальные реакции: рекомбинация, диспропорционирование.
7. Синглетные и триплетные карбены, их геометрия, различимость по тесту Скелла.
8. Способы генерации карбенов.
9. Карбониевые и карбениевые ионы.
10. Факторы, влияющие на стабильность карбениевых ионов.
11. Катион тропилия и его свойства.

12. Получение карбанионов в растворах в суперосновных средах.
13. Факторы, влияющие на стабильность карбанионов.
14. Критерии ароматичности по Хюккелю и Мёбиусу.
15. Правила Вудворда-Хоффмана.
16. Классификация реакций циклоприсоединения по числу электронов, типу орбиталей и геометрии перекрывания.
17. Термические (4+2) реакции.
18. Реакция Дильса-Альдера и ретродиеновый распад.
19. Механизм присоединения карбенов по двойной связи.
20. 1,3-Диполярное циклоприсоединение как (4+2)-процесс.
21. Фотохимическое (2+2) циклоприсоединение.
22. Механизмы SN_1 и SN_2 . Орбитальный контроль и стереохимия реакции.
23. Механизмы SN_1 и SN_2 . Влияние структуры и растворителя на механизм.
24. Ориентация и реакционная способность производных бензола в реакциях электрофильного.
25. Орбитальные коэффициенты и ориентация нуклеофильного замещения $SN_2(Ar)$.
26. Донорно-акцепторные взаимодействия как элементарный акт многих органических и природных процессов.
27. Кислоты Льюиса. Применение принципа ЖМКО к органическим реакциям.
28. Кислоты Брэнстеда. Кислотный и основной катализ.
29. Суперкислые среды. Превращения органических молекул в суперкислых средах.
30. Суперосновные среды. Система ДМСО-ОН⁻ как суперосновная среда.
31. Примеры [1,2], [3,3] и других сигматропных сдвигов.
32. Перегруппировка Вагнера-Меервейна и пинаколиновая перегруппировка.
33. Миграция арила.
34. Карбеновая перегруппировка Вольфа.
35. Перегруппировки к электронодефицитному азоту (Бекмана, Гофмана, Курциуса) как [1,2]-сигматропные сдвиги.
36. Стереохимия перегруппировки Бекмана.
37. Перегруппировки Коупа и Кляйзена.
38. Перегруппировки Димрота и Мамедова.
39. Синтез индола по Фишеру.
40. Бензидиновая перегруппировка как [5,5]-сигматропный сдвиг.
41. Перегруппировки Виттига, Стивенса, Мейзенгеймера.
42. Перегруппировка Фаворского.

Критерии оценки итогового контроля:

«зачтено»	Вопрос раскрыт, приведены конкретные примеры механизмов или соединений, методы доказательства их существования.
«не зачтено»	Вопрос не раскрыт или раскрыт частично, не хватает ключевых примеров и механизмов реакций, методов доказательства их осуществления

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

7.1. Литература

(жирным шрифтом выделена основная литература)

1. Анисимов А.В. и др. Молекулярные перегруппировки сераорганических соединений. Органические сульфиды. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. - 120 с.
2. **Бакстон Ш.Р. и др. Введение в стереохимию органических соединений: от метана до макромолекул. - М.: Мир, 2009. - 311 с.**
3. **Бейдер Р. Атомы в молекулах. Квантовая теория. - М.: Мир, 2001. - 532 с.**
4. Беккер Г. Введение в электронную теорию органических реакций. - М.: Мир, 1977. - 658 с.
5. Белецкая И.П., Реутов О.А., Соколов В.И. Механизмы реакций металлоорганических соединений. "Химия", Москва, 1972.
6. **Боровлёв, И.В. Органическая химия: термины и основные реакции: учебное пособие для вузов / И.В. Боровлев. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. – 358 с.**
7. Вацуρο К.В., Мищенко Г.Л. Именные реакции в органической химии. - М.: Мир, 1976. - 528 с.
8. Гиллеспи Р. Геометрия молекул - М.: Мир, 1975. - 278 с.
9. **Грибов Л.А. От теории спектров к теории химических превращений / Рос. АН. Инст-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского. - М., 2001. - 366 с.**
10. Грибов Л.А. От теории спектров к теории химических превращений / Рос. АН. Инст-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского. - М., 2001. - 366 с.
11. **Грибов Л.А. Элементы квантовой теории строения и свойств молекул. – Долгопрудный: Изд. дом Интеллект, 2010. – 310 с.**
12. **Денисов В.Я., Мурышкин Д.Л., Чуйкова Т.В. Органическая химия: учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 2009. – 544 с.**
13. **Илиел Э. и др. Основы органической стереохимии / пер. с англ. Бредихин А.А и др. - М.: БИНОМ, 2007. - 703 с.**
14. Ингольд К. Теоретические основы органической химии. - М.: Мир, 1973. – 1055 с.
15. **Ли Дж. Именные реакции. Механизмы органических реакций - М.: БИНОМ, 2006. - 456 с.**
16. Маррел Дж., Кеттл С., Теддер Дж. Химическая связь. М.:Химия, 1980. - 387 с.
17. Марч Дж. Органическая химия, в 4-х т. - М.: Мир, 1987.
18. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Квантовая химия органических соединений. Механизмы реакций. - М.: Химия, 1986 - 246 с.

19. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул (Электронные оболочки). - М.: Высшая школа, 1997. - 407 с.
20. Нефедов О.М. и др. Химия карбенов. - М.: Химия, 1990. - 303 с.
21. Потапов В.М. Стереохимия. - М.: Химия, 1988. - 463 с.
22. Робертс Дж. и др. Основы органической химии. В 2-х томах. - М.: Мир, 1978
23. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. - М.: Химия, 1977. - 319 с.
24. Терней А. Современная органическая химия: В 2-х т. - М.: Мир, 1981.
25. Титце, Л. **Домино-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К.Герике; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.: ил.**
26. Уилсон С. Электронные корреляции в молекулах. - М.: Мир, 1987. - 304 с.
27. Уманский С.Я. **Теория элементарных химических реакций. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 408 с.**
28. Фудзинага С. Метод молекулярных орбиталей. - М.: Мир, 1983. - 461 с.
29. Цирельсон. - 3-е изд. - М. : Бинум. Лаборатория Знаний, 2014. - 495 с.

7.2. Электронные ресурсы

- ✓ Электронная платформа издательства American Chemical Society - <http://www.pubs.acs.org>
- ✓ Электронная платформа издательства Taylor&Francis - <http://www.informaworld.com>
- ✓ Электронная платформа издательства - [http:// www.scitation.aip.org](http://www.scitation.aip.org)
- ✓ Электронная платформа издательства Royal Society of Chemistry - <http://www.rsc.org>
- ✓ Электронная платформа издательства WILEY-BLACWALL - <http://www.interscience.wiley.com>
- ✓ Электронная платформа издательства SPRINGER - <http://www.springerlink.com>
- ✓ Платформа научной электронной библиотеки e-Library.ru - <http://www.elibrary.ru>
- ✓ Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.sciencedirect.com>
- ✓ Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.scopus.com> (Реферативно-поисковая база данных Scopus)

8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия и консультации, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче кандидатских экзаменов проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки и/или конференц-залы), оборудованных мебелью (столы, стулья), классной доской (меловой), компьютером, проектором для демонстрации презентаций.