

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. И. ГЕРЦЕНА»**

Программа кандидатского экзамена

по научной специальности
1.4.3. Органическая химия

Санкт-Петербург
2022 год

Программа кандидатского экзамена по научной специальности (в 2 частях)

Первая часть

I. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений

1. Химическая связь и строение органических соединений

1.1. Современные представления о природе химической связи.

– Электронные представления о природе связей. Типы химической связи в органической химии. Гибридизация атомов углерода и азота. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп.

– Основные положения квантовой химии. Атомные и молекулярные орбитали. Приближение МО-ЛКАО. Метод МО Хюккеля и более строгие квантовохимические методы расчета. Понятие о полуэмпирических методах, основанных на приближении Хартри-Фока (MNDO, AM1, PM3 и др.). Теория возмущений МО. Возмущения первого и второго порядков. Индексы реакционной способности. Метод граничных орбиталей. Зарядовый и орбитальный контроль органических реакций.

– Понятие о резонансе (сопряжении) в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе МО Хюккеля. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность.

1.2. Стереохимия. Пространственное строение органических молекул. Пространственное взаимодействие несвязанных атомов и групп, Ван-дер-Ваальсовы радиусы.

– Понятие о конформации молекулы. Факторы, определяющие энергию конформеров. Влияние эффектов сопряжения на стабильность конформеров. Номенклатура конформеров. Угловое напряжение и другие типы напряжения в циклических системах. Средние циклы и трансаннулярные взаимодействия. Инверсия циклов и азотсодержащих соединений.

– Связь конформации и реакционной способности. Принцип Кертвина-Гаммета. Стерический и стереоэлектронный контроль реакций. Стереоселективность и стереоспецифичность.

– Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов и триенов. Атропоизомерия.

– Энантиомерия. Асимметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы; их проявление в химическом поведении молекул в хиральных и ахиральных средах и спектрах ЯМР. Номенклатура оптических антиподов.

– Способы получения и разделения энантиомеров. Оптическая чистота и методы ее определения. Определение абсолютной и относительной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.

2. Общие принципы реакционной способности.

2.1. Классификация реакций по типу образования и разрыва связей в лимитирующей стадии, по типу реагента и по соотношению числа молекул реагентов и продуктов.

– Теория переходного состояния. Гиперповерхность потенциальной энергии, координата и энергетический профиль реакции. Термодинамические параметры активации. Кинетические уравнения основных типов реакций.

– Эмпирический (экстратермодинамический) подход к реакционной способности. Корреляционные уравнения, принцип линейности свободных энергий Гиббса. Уравнения Гаммета и Тафта. Связь параметров корреляционных уравнений с механизмом реакций.

– Принцип ЖМКО, его обоснование на основе теории возмущений МО.

2.2. Количественная теория кислот и оснований. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие рН. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основной катализ. Суперкислоты. Постулат Гаммета.

2.3. Влияние среды на скорость и равновесие органических реакций. Специфическая и неспецифическая (универсальная) сольватация. Клеточный эффект. Водородная связь. Классификация и шкалы параметров растворителей. Влияние сольватации на скорость и равновесие органических реакций.

2.4. Ассоциация ионов. Типы ионных пар и доказательства их существования. Влияние ассоциации ионов на их реакционную способность. Уравнение Акри. Межфазный катализ. Краун-эфиры, криптанды, поданды, катализаторы межфазного переноса. Понятие о супрамолекулярной химии.

2.5. Основные типы интермедиатов.

– Карбениевые ионы (карбокатионы). Генерация карбокатионов в растворах и в газовой фазе. Влияние структурных и сольватационных факторов на стабильность карбокатионов. Строение карбокатионов. Понятие о неклассических ионах. Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные сдвиги в карбокатионах.

– Карбанионы и СН-кислоты. Влияние структурных параметров и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Амбидентные и полиидентные анионы. Карбены. Электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе.

– Свободные радикалы и ион-радикалы. Методы генерирования радикалов. Электронное строение и факторы стабилизации свободных радикалов. Типы стабильных свободных радикалов. Основы методов ЭПР и ХПЯ. Катион- и анион-радикалы. Методы генерирования и свойства. Основные реакции ион-радикалов. Комплексы с переносом заряда.

3. Основные типы органических реакций и их механизмы.

3.1. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S_N1 и S_N2 , смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие и синергетическое ускорение, участие соседних групп, перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения.

3.2. Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридного атома углерода. Винильный катион. Моно- и бимолекулярные процессы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду. Катализ переходными металлами. Нуклеофильное замещение в нитропроизводных бензола. Нуклеофильное замещение водорода (викариозное замещение). Комплексы Мейзенхаймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кине-замещение.

3.3. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения S_E1 , S_E2 , S_Ei . Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры

субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций. Замещение у олефинового атома углерода и в ароматическом кольце. Генерирование электрофильных реагентов. Правила ориентации и их молекулярно-орбитальная интерпретация. Электрофильное замещение других групп, кроме водорода. Ипсо-замещение. Кинетические изотопные эффекты.

3.4. Реакции элиминирования. Механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2. Стереозлектронные требования и стереоспецифичность при E2-элиминировании. Термическое син-элиминирование.

3.5. Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам. Катионная полимеризация олефинов. Нуклеофильное присоединение по кратным связям C=C. Механизм процесса. Влияние структуры нуклеофила и субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакции. Реакция Михаэля. Анионная полимеризация олефинов.

3.6. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлоорганических соединений. Кислотный и основной катализ присоединения. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получение ацеталей. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных. Нуклеофильное присоединение к альд- и кетиминам и карбоний-иммониевым ионам (реакция Манниха).

3.7. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Классификация перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировка Демьянова. Перегруппировка Вагнера-Мейервейна. Перегруппировки с миграцией к атому азота (Гофмана, Курциуса, Бекмана). Реакция Байера-Виллигера.

3.8. Радикальные и ион-радикальные реакции присоединения, замещения и элиминирования. Цепные радикальные реакции. Полимеризация, теломеризация, реакции автоокисления. Ингибиторы, инициаторы и промоторы цепных реакций.

3.9. Молекулярные реакции (цис-транс-изомеризация, распад молекул, размыкание циклов).

3.10. Согласованные реакции. Концепция сохранения орбитальной симметрии и правила Вудворда-Гофмана. Электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки. Перициклические реакции (2+2) и (2+4)-циклоприсоединения. 1,3-Диполярное циклоприсоединение.

3.11. Двойственная реакционная способность и таутомерия органических соединений. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило Корнблюма. Кето-енольное равновесие. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы.

4. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений.

4.1. Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Линейные и конвергентные схемы синтеза. Синтоны и синтетические эквиваленты. Защита функциональных групп. Методы введения и удаления защитных групп.

4.2. Основные пути построения углеродного скелета.

4.3. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим.

4.4. Элементоорганические соединения (производные фосфора, бора, кремния, меди, лития, магния, олова) в органическом синтезе. Металлокомплексный катализ.

4.5. Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хроматомасс-спектрометрия. Газожидкостная и жидкостная хроматография, ионообменная и гель-проникающая хроматография, электрофорез. Рентгеноструктурный анализ и электронография. Рефрактометрия.

4.6. Экологические проблемы органического синтеза. "Зеленая химия".

5. *Актуальные проблемы современной органической химии.*

(Представление основных положений литературного обзора)

5.1. Краткая справка о становлении выбранной проблемы. Вклад мировых научных школ. Важнейшие научные достижения, их теоретическая и практическая значимость.

5.2. Научный задел и перспективы развития.

Вторая часть

II. Синтетические методы и химические свойства органических соединений

1. Алканы

1.1. Методы синтеза. Реакции алканов: галогенирование, сульфохлорирование. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов в суперкислых средах (дейтероводородный обмен и галогенирование).

1.2. Циклоалканы. Методы синтеза и строение. Синтез соединений со средним размером цикла (ацилоиновая конденсация). Типы напряжения в циклоалканах. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов; аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность. Реакции расширения и сужения циклов при дезаминировании первичных аминов. Сужение цикла в реакции Фаворского.

2. Алкены

2.1. Методы синтеза. Синтез алкенов из четвертичных аммониевых солей (Гофман), N-окисей третичных аминов (Коуп). Стереоселективное восстановление алкинов. Стереоселективный синтез *цис*- и *транс*-алкенов из 1,2-диолов (Кори, Уинтер). Региоселективный синтез алкенов из тозилгидразонов (Шапиро). Реакция Виттига как региоспецифический метод синтеза алкенов. Основания, используемые в реакции. Стабилизированные и нестабилизированные илidy. Стереохимия реакции. Хемоселективность реакции Виттига. Получение эфиров алкилфосфоновых кислот (Михаэль-Арбузов) и их использование в синтезе алкенов (вариант Виттига-Хорнера-Эммонса). Область применения реакции.

2.2. Реакции алкенов: реакции электрофильного присоединения. Процессы, сопутствующие AdE-реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Регио- и стереоселективное присоединение гидридов бора. Региоспецифические гидроборирующие агенты. Превращение бороорганических соединений в алканы, спирты, алкилгалогениды. Окисление алкенов до оксиранов. *Цис*-гидроксилирование алкенов по Вагнеру (KMnO₄) и

Криге (OsO_4). Окисление алкенов галогеном в присутствии солей серебра: *цис*-(Вудворт) и *транс*-(Прево) гидроксирование. Радикальные реакции алкенов: присоединение бромистого водорода по Хараши, сероводорода и тиолов. Аллильное галогенирование по Циглеру. Гетерогенное гидрирование: катализаторы, каталитические яды. Гидрогенолиз связей углерод-гетероатом. Гомогенное гидрирование: катализаторы, механизм. Региоселективность гомогенного гидрирования. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Карбеноиды, их взаимодействие с алкенами.

3. Алкины

3.1. Методы синтеза: реакция 1,2-дигидразонов с оксидом ртути (II) и тетраацетатом свинца. Усложнение углеродного скелета алкинов: реакции ацетиленидов натрия и меди, магнийорганических производных алкинов. Конденсация алкинов-1 с кетонами и альдегидами (Фаворский, Реппе).

3.2. Реакции алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация. Ацетилен-алленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди.

4. Алкадиены

4.1. Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрирование алканов, синтез Фаворского-Реппе, кросс-сочетание на металлокомплексных катализаторах.

4.2. Реакции 1,3-диенов: 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса-Альдера с алкенами и алкинами, карбо-реакция, гетеро-реакция. *о*-Хинодиметаны в качестве диенов. Катализ в реакции Дильса-Альдера. Стереохимия реакции. Региоселективность [4+2]-циклоприсоединения в случае несимметричных диенов и диенофилов. Ретро-реакция Дильса-Альдера. Применение силосидиенов в синтезе алициклов и гетероциклов.

5. Спирты и простые эфиры

5.1. Методы синтеза одноатомных спиртов: из алкенов, карбонильных соединений, сложных эфиров и карбоновых кислот.

5.2. Реакции одноатомных спиртов. Реагенты регио- и стереоселективного замещения (комплексы трифенилфосфина с галогенами и четыреххлористым углеродом). Дегидратация спиртов. Окисление первичных и вторичных спиртов. Реагенты окисления на основе соединений хрома (VI), диоксида марганца и диметилсульфоксида.

5.3. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Окислительное расщепление 1,2-диолов (иодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.

5.4. Методы синтеза простых эфиров: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование спиртов.

5.5. Реакции простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами.

5.6. Гидропероксиды. Краун-эфиры, их получение и применение в синтезе.

5.7. Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов.

6. Альдегиды и кетоны

6.1. Методы получения альдегидов и кетонов: из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование), на основе металлоорганических соединений. Ацилирование и формилирование аренов.

6.2. Реакции альдегидов и кетонов: присоединение воды, спиртов, тиолов. 1,3-Дитианы и их использование в органическом синтезе. Обращение полярности C=O группы. Получение бисульфитных производных и циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с илами фосфора (Виттиг) и серы. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Перегруппировка Бекмана. Взаимодействие альдегидов и кетонов с металлоорганическими соединениями. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов как метод усложнения углеродного скелета. Направленная альдольная конденсация разноименных альдегидов с использованием литиевых и кремниевых эфиров енолов. Конденсация альдегидов и кетонов с малоновым эфиром и другими соединениями с активной метиленовой группой (Кневенагель). Аминометилирование альдегидов и кетонов (Манних). Бензоиновая конденсация. Конденсация с нитроалканами (Анри). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления. Дезоксигенирование альдегидов и кетонов: реакции Клемменсена и Кижнера-Вольфа. Окисление альдегидов, реагенты окисления. Окисление кетонов надкислотами по Байеру-Виллигеру.

6.3. α,β -Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения: конденсации, окисление аллиловых спиртов. Реакция 1,2- и 1,4-присоединения литийорганических соединений, триалкилборанов, диалкил- и диарилкупратов, цианистого водорода, галогеноводородов. Эпоксидирование α,β -непредельных кетонов. Сопряженное присоединение енолятов и енаминов к α,β -непредельным альдегидам и кетонам (Михаэль). Доноры и акцепторы Михаэля. Катализаторы реакции, ее обратимость. Ретро-реакция. Реакции анелирования. Вариант Робинсона. Использование β -хлоркетонов и производных оснований Манниха.

7. Карбоновые кислоты и их производные

7.1. Методы синтеза кислот: синтез на основе металлоорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира.

7.2. Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю-Фольгардту-Зелинскому, пиролизическая кетонизация, декарбоксилирование по Хунсдиккеру.

7.3. Методы получения производных карбоновых кислот. Кетены, их получение и свойства.

7.4. Реакции производных карбоновых кислот: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (металлоорганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие галогенангидридов с диазометаном (реакция Арндта-Эйстера). Восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов, нитрилов – до аминов и альдегидов комплексными гидридами металлов. Синтезы с малоновым эфиром, реакция Михаэля, конденсации с альдегидами (Кневенагель). Сложноэфирная и ацилоиновая конденсации. Особенности

эфиров двухосновных кислот (образование карбоциклов) в этих реакциях. Сложные эфиры α -галогеносоединений в реакциях Реформатского. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

7.5. Методы синтеза α,β -непредельных карбоновых кислот: дегидратация гидроксикислот, реакции Кневенагеля, Виттига, Перкина (синтез коричных кислот). Реакции присоединения по двойной связи. Бром- и иодо-лактонизация α,β -непредельных карбоновых кислот.

8. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду

8.1. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей на скорость и направление электрофильного замещения.

8.2. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование бифенила, нафталина, ароматических аминов и фенола. Получение полинитросоединений. Ипсо-атака и ипсо-замещение в реакциях нитрования. Восстановление нитро-группы в различных условиях.

8.3. Галогенирующие агенты. Механизм галогенирования аренов и их производных.

8.4. Сульфлирующие агенты. Кинетический и термодинамический контроль реакции (сульфирование фенола и нафталина). Превращение сульфо-группы.

8.5. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Полиалкилирование. Побочные процессы. Синтез диарил- и триарилметанов.

8.6. Ацилирование аренов. Региоселективность ацилирования. Особенности ацилирования фенолов, перегруппировка Фриса. Формилирование по Гаттерману-Коху, Гаттерману и Вильсмейеру. Область применения этих реакций.

9. Амины

9.1. Методы получения аминов: алкилирование по Гофману, реакция Габриэля, восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса. Синтез аминов с третичным алкильным радикалом (Риттер), взаимодействие альдегидов и кетонов с формиатом аммония (Лейкарт).

9.2. Реакции аминов. Термическое разложение гидроксидов тетраалкиламмония по Гофману. Окисление третичных аминов до N-оксидов, их термолиз (Коуп). Получение нитронов из N,N-диалкилгидроксиаминов. Реакции [3+2]-циклоприсоединения нитронов (образование 5-членных азотистых гетероциклов).

10. Нитросоединения

10.1. Нитроалканы. Синтез из алкилгалогенидов. Кислотность и таутомерия нитроалканов. Конденсация с карбонильными соединениями (Анри). Восстановление в амины. Превращение вторичных нитроалканов в кетоны (Мак-Марри).

10.2. Сопряженные нитроалкены. Способы получения. Нитрование ненасыщенных углеводородов. Алкенилирование нитросоединений (синтез геминальных функционализированных нитроалкенов). Окисление азотсодержащих веществ.

10.3. Химические превращения сопряженных нитроалкенов. Реакции восстановления. Реакции алкоксилирования. Реакции с серосодержащими нуклеофилами (алкил- и арилтиолы, сероводород, сульфидные кислоты). Реакции с N- и C-

нуклеофилами (основные направления). Нитроалкены в реакциях Дильса-Альдера и 1,3-диполярного циклоприсоединения. Условия реакций, регио- и стереоселективность.

10.4. Функционализированные производные сопряженных нитроалкенов. Методы синтеза вицинальных и геминальных галогенонитроэтенев. Химические свойства галогеннитроэтенев. Серосодержащие нитроалкены. Синтезы тионитроалкенов. Реакции серосодержащих нитроалкенов. Аминонитроалкены. Методы синтеза, строение. Химические превращения нитроенаминов. Ацилнитроэтен и нитроакрилаты. Методы синтеза и основные направления реакционной способности. Фосфорсодержащие нитроалкены как представители элементоорганических непредельных нитросоединений.

10.5. Гетероциклические нитроалкены (сера-, фосфор- и кремнийсодержащие нитрогетероциклопентены). Методы синтеза. Оксим-нитронная таутомерия в ряду оксимов нитрофосфолоенов и их сульфолоеновых аналогов. Химические превращения -2 и 3-нитротиолен-1,1-диоксидов и их производных.

10.6. Синтезы карбо- и гетероциклических систем на основе функционализированных нитроалкенов.

11. Методы синтеза и реакции ароматических гетероциклических соединений

11.1. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (Пааль-Кнорр). Синтез пирролов по Кнорру и по Ганчу. Синтез 3,4-дизамещенных тиофенов по Хинсбергу. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Синтез индола и его производных из 2-ациламинотолуолов (Маделунг). Реакции электрофильного замещения.

11.2. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Синтез частично гидрированных производных пиридина путем [4+2]-циклоприсоединения (гетерореакция Дильса-Альдера). Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру_Миллеру. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-Окиси пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине в реакциях в амидом натрия (Чичибабин) и фениллитием. 2- и 4-Метилпиридины и -хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

12. Представление и анализ результатов собственного исследования

12. Актуальность, цель и задачи проведенного исследования. Научный задел. Обсуждение полученных результатов. Новизна, теоретическая и практическая значимость выполненного исследования.

Шкала оценивания

отлично

Аспирант продемонстрировал глубокое знание материала; исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложил теоретический материал; сумел сделать выводы по излагаемому материалу. Проявил хорошие навыки исследовательской работы, способность грамотно и объективно оценить и анализировать полученные экспериментальные данные. Предусмотренные компетенции сформированы на продвинутом уровне.

хорошо

Аспирант продемонстрировал хорошее знание материала; изложил теоретический материал и сумел сделать выводы по излагаемому материалу, допущенные ошибки/неточности исправлял в ходе ответа самостоятельно. Проявил хорошие навыки исследовательской работы, способность оценить и анализировать полученные экспериментальные данные. Предусмотренные компетенции сформированы на достаточном уровне.

удовлетворительно

Аспирант продемонстрировал слабое знание материала и основных понятий. Ответ построен в соответствии со структурой излагаемого вопроса, допущенные ошибки исправлял в ходе ответа частично с помощью преподавателя. Компетенции сформированы на удовлетворительном уровне.

неудовлетворительно

Обучающийся не владеет значительной частью материала дисциплины и ее понятийным аппаратом; допускает существенные ошибки при изложении материала. Предусмотренные компетенции не сформированы.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины:

Основная литература

1. Реутов Олег Александрович Органическая химия; учебник/О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин; Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 - Ч. 1. URL: <https://e.lanbook.com/book/94167>. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».
2. Реутов Олег Александрович Органическая химия; учебник/О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин; Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 - Ч. 2. URL: <https://e.lanbook.com/book/94168>. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».
3. Реутов Олег Александрович Органическая химия; учебник/О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин; Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 - Ч. 3. URL: <https://e.lanbook.com/book/94166>. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».
4. Реутов Олег Александрович Органическая химия: учебник: в 4 частях/О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2016 - [2014]. - Ч. 4. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=84139. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».
5. Травень В. Ф. Практикум по органической химии: учебное пособие/В. Ф.

Травень. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 - URL: <https://e.lanbook.com/book/94137>. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».

6. Титце, Л. Домино-реакции в органическом синтезе [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. Титце, Г. Браше, Герике К. ; под ред. Л. И. Беленького ; пер. с англ. Л. И. Беленького, К. К. Пивницкого, В. Н. Граменицкой, С. И. Луйксаара. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 674 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/94100>. — Загл. с экрана.

Дополнительная литература

1. Боровлев И. В. Органическая химия: термины и основные реакции : учебное пособие. - Москва:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. - 358, [1] с.

2. Травень В. Ф. Задачи по органической химии/Травень В.Ф., Сухоруков А.Ю., Пожарская Н.А.. - Москва:Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2016 - URL: <https://e.lanbook.com/book/90243>. - ЭБС издательства «Лань». Коллекция «Химия».

3. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 т. Т. 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015.— 401 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84108>. — Загл. с экрана.

4. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 ч. Т. 2 [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015.— 550 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84109>. — Загл. с экрана.

5. Смит, В.А. Основы современного органического синтеза [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Смит, А.Д. Дильман. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 753 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/66366>. — Загл. с экрана.

6. Самуилов, Я.Д. Реакционная способность органических соединений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Я.Д. Самуилов, Е.Н. Черезова. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2010. — 432 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/13326>. — Загл. с экрана

Авторы-составители программы дисциплины:

ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность
Ефремова Ирина Евгеньевна	доктор химических наук, профессор	профессор кафедры органической химии