ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИРКУТСКИЙ ИНСТИТУТ ХИМИИ им. А.Е. ФАВОРСКОГО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УТВЕРЖДАЮ
Директор, д.х.н.
_____А.В. Иванов
«01» марта 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Шифр и наименование области науки:
1. Естественные науки

Шифр и наименование группы научных специальностей:
1.4. Химические науки

Шифр и наименование научных специальностей:
1.4.8. Химия элементоорганических соединений

Иркутск
2022

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденными Приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 № 951 и Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным Постановлением Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122.

Рабочая программа составлена д. х. н., проф. Корчевиным Н. А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета ИрИХ СО РАН (Протокол № 2 от «28» февраля 2022 г.)

1. Цели и задачи учебной дисциплины

Цель изучения дисциплины «Органическая химия»: приобретение фундаментальных знаний и практических навыков, необходимых для профессиональной научно-исследовательской, инновационной и образовательной деятельности в области органической химии и в смежных областях науки; формирование обобщающей теоретической базы для изучения фундаментальных основ органической химии и возможности их использования на практике.

Задачи:

- формирование у обучающихся современных представлений об органической химии, ее роли и значимости в сопоставлении с другими химическими науками;
- формирование глубокого понимания общих закономерностей зависимости свойств органических соединений от их строения;
- освоение навыков теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области органической химии;
- освоение методов планирования эксперимента и обработки собственных исследований;
- обучение умению систематизировать и обобщать результаты собственных исследований в сопоставлении с известными литературными данными;
- обучение умению оформлять результаты собственных исследований в виде публикаций, отчетов, докладов.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Органическая химия» является частью образовательного компонента (Подраздел 2.1.2.2. раздела 2.1.2. «Дисциплины по выбору») программы аспирантуры по научной специальности 1.4.8. Химия элементоорганических соединений.

Учебная дисциплина реализуется на втором году обучения.

Знания, умения и навыки, приобретенные аспирантами по результатам изучения учебной дисциплины «Органическая химия», используются ими для сдачи кандидатского экзамена и при написании диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата наук.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут:

Знать:

- методы получения, химические свойства и практическое использование основных классов органических соединений;
- типовые методы органического синтеза, используемые реагенты и оборудование;
- механизмы основных органических реакций, подходы и методы изучения механизмов;
- влияние строения на реакционную способность органических соединений;
- физико-химические методы исследования строения органических соединений и органических реакций;
- современную периодическую литературу (журналы) и электронные базы данных в области органической химии и методов поиска свойств и получения органических веществ;
- принципы теоретических расчетов свойств органических соединений, термодинамических и кинетических параметров органических реакций;
- роль и место органической химии в системе фундаментальных химических наук и производстве современной инновационной продукции.

Уметь:

- выбирать методы и реагенты синтеза органических соединений;
- планировать многостадийный органический синтез;
- проводить разделение смесей органических веществ и идентификацию состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа;
- осуществлять поиск методов получения и свойств органических соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем;
- проводить моделирование химических реакций с использованием полуэмпирических и неэмпирических квантово-химических методов.

Иметь опыт:

- планирования и проведения органического синтеза;
- очистки органических веществ и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов;
- моделирования свойств веществ и параметров органических реакций с использованием квантово-химических методов;
- написания научных отчетов и статей.

4. Структура и содержание учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов).

Структура дисциплины

Таблица 4.1. Структура учебной дисциплины

№	Наименование дисциплины	Объем учебной работы, ч							Форма контроля
		Всего	Всего аудиторн.	Из аудиторных				СР	
				Лек	Лаб	П	КСР		
1	Органическая химия	216	90	45	-	45	18	108	Экзамен

Содержание дисциплины

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений

Тема 1. Современные представления о природе химической связи.

Современные представления о природе химической связи. Электронные представления о природе связей. Типы связей 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 квантово-химические методы расчета. Понятие о полуэмпирических методах, основанных на приближении Хартри-Фока (MNDO, AM_1, PM_3 и др.). Методы *ab initio*. Метод функционала плотности (DFT). Компромиссные подходы (локализованные связи, гибридизация, частичный учет делокализации электронов на примере $\sigma-\pi$-приближения). 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.

Тема 2. Пространственной строение органических молекул, взаимодействие химически несвязанных атомов и групп.

Пространственной строение органических молекул, взаимодействие химически несвязанных атомов и групп. Стереохимия. Пространственное строение органических молекул. Пространственное взаимодействие несвязанных атомов и групп, ван-дер-ваальсовы радиусы.

Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. 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 Кертина—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. Неуглеродные атомы как центры хиральности.

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

Тема 3. Классификация химических реакций.

Классификация химических реакций. 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. Методы экспериментального изучения кинетики и механизмов реакций. Метод стационарного состояния (принцип Боденштейна). Постулат Хэммонда.

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.

Тема 4. Количественные теории кислот и оснований.

Количественные теории кислот и оснований. Количественная теория кислот и оснований. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие pH. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности. Постулат Гаммета.

Тема 5. Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций.

Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций. Специфическая и неспецифическая (универсальная) сольвация. Клеточный эффект. Водородная связь. Классификация и шкалы параметров растворителей. Влияние сольвации на скорость и равновесие органических реакций. Уравнения Уинстейна и Грюнвальда, Коппеля-Пальма. Кислотность и основность в газовой фазе.

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.

Тема 6. Основные типы интермедиатов органических реакций.

Основные типы интермедиатов органических реакций. 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 и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Амбидентные и полидентные анионы. Карбены. Электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе. Нитрены, их генерация, строение и свойства.

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.

Раздел 2. Основные типы органических реакций и их механизмы

Тема 7. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду.

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 синартетическое ускорение, участие соседних групп, перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения. Корреляционные уравнения Свэйна-Скотта и Эдвардса.

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 Мейзенхеймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кине-замещение.

Тема 8. Электрофильное замещение у атома углерода.

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.

Тема 9. Реакции элиминирования.

Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2. Стереоэлектронные требования и стереоспецифичность при E2-элиминировании. Термическое син-элиминирование.

Тема 10. Реакции присоединения.

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.

Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлорганических соединений. Реакция Анри. 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).

Тема 11. Перегруппировки. Полимеризация, теломеризация. Электросинтез. Молекулярные, согласованные фотохимические реакции.

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.

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

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

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

Основы фотохимии органических соединений. Синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций. Явление фотохромизма.

Раздел 3. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений

Тема 12. Выбор оптимального пути синтеза. Элементоорганические соединения в органическом синтезе.

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. Основные пути построения углеродного скелета. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим. Элементоорганические соединения (производные фосфора, бора, кремния, меди, лития, магния, олова) в органическом синтезе. Металлокомплексный катализ.

Тема 13. Использование физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Комбинаторная и «зеленая» химии.

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

Особенности оборудования и методики проведения реакций в гетерофазных и гетерогенных системах. Современные методы обработки реакционных масс, очистки и выделения продуктов. Проведение реакций на твердых носителях. Принципы комбинаторной химии.

Техника безопасности и экологические проблемы органического синтеза. «Зеленая химия». Термохимия органических реакций. Тепловой взрыв.

Раздел 4. Основные классы органических веществ

Тема 14. Углеводороды.

Углеводороды. Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, синтез через литийдиалкилкупраты, электролиз солей карбоновых кислот (Кольбе), восстановление карбонильных соединений.

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).

Циклоалканы. Методы синтеза и строение циклопропанов, циклобутанов, циклопентанов и циклогексанов. Синтез соединений со средним размером цикла (ацилоиновая конденсация). Типы напряжения в циклоалканах и их подразделение на малые, средние и макроциклы. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов; аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность в ряду производных циклогексана на примере реакций замещения, отщепления и окисления. Реакции расширения и сужения циклов при дезаминировании первичных аминов (Демьянов). Сужение цикла в реакции Фаворского (α-галогенциклоалканоны).

Методы синтеза: элиминирование галогеноводородов из алкилгалогенидов, воды из спиртов. 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 илиды. Стереохимия реакции. Хемоселективность реакции Виттига. Получение эфиров алкилфосфоновых кислот (Михаэль-Арбузов) и их использование в синтезе алкенов (вариант Виттига-Хорнера-Эммонса). Область применения реакции.

Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогеноводородов, воды. Процессы, сопутствующие Ad_E-реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Регио- и стереоселективное присоединение гидридов бора. Региоспецифические гидроборирующие агенты. Превращение борорганических соединений в алканы, спирты, алкилгалогениды. Окисление алкенов до оксиранов (Прилежаев). Понятие об энантиомерном эпоксидировании алкенов по Шарплесу (в присутствии изопропилата титана и эфира L-(+)-винной кислоты). *Цис*-гидроксилирование алкенов по Вагнеру ($KMnO_4$) и Криге (OsO_4). Окисление алкенов галогеном в присутствии солей серебра: *цис*-(Вудворт) и *транс*-(Прево) гидроксилирование. Радикальные реакции алкенов: присоединение бромистого водорода по Каррашу, сероводорода и тиолов. Аллильное галогенирование по Циглеру. Внутримолекулярная радикальная циклизация 6-галогеналканов при действии трибутилоловогидрида. 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.

Методы синтеза: отщепление галогеноводородов из дигалогенидов, 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).

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

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

Реакции 1,3-диенов: галогенирование и гидрогалогенирование, 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса-Альдера с алкенами и алкинами, ее типы: карбо-реакция, гетеро-реакция. Диены и диенофилы. *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 силоксидиенов в синтезе алициклов и гетероциклов.

Тема 15. Спирты, эпоксиды и простые эфиры.

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

Реакции одноатомных спиртов: замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора и хлористого тионила). 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 (методы Моффета и Сверна).

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

Методы синтеза простых эфиров: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование спиртов. Реакции простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами.

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

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

Тема 16. Карбонильные соединения.

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

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 илидами фосфора (Виттиг) и серы. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Перегруппировка Бекмана. Взаимодействие альдегидов и кетонов с металлорганическими соединениями. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кротоновая 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.

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 а-хлоркетонов и производных оснований Манниха. α-силилированные винилкетоны (Сторк) и енамины в реакциях анелирования.

Тема 17. Карбоновые кислоты и их производные. Углеводороды.

Методы синтеза кислот: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот, синтез на основе металлорганических соединений, синтезы на основе малонового эфира.

Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю-Фольгардту-Зелинскому, пиролитическая кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хунсдиккеру.

Методы получения производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.

Реакции производных карбоновых кислот: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, металлорганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие галогенангидридов с диазометаном (реакция Арндта-Эйстерта). Восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов, нитрилов – до аминов и альдегидов комплексными гидридами металлов. Малоновая кислота: 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-галогенокислот в реакциях Реформатского. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

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

Тема 18. Синтетическое использование реакций электрофильного замещения в ароматическом ряду.

Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.

Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. 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.

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

Сульфирование. Сульфирующие агенты. Кинетический и термодинамический контроль реакции (сульфирование фенола и нафталина). Превращение сульфогруппы.

Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Полиалкилирование. Побочные процессы: изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Синтез диарил- и триарилметанов.

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

Тема 19. Методы синтеза и реакции ароматических гетероциклических соединений.

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: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Индол. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Синтез индола и его производных из 2-ациламинотолуолов (Маделунг). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование.

Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Синтез частично гидрированных производных пиридина путем [4+2]-циклоприсоединения (гетеро-реакция 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 с амидом натрия (Чичибабин) и фениллитием. 2- и 4-метилпиридины и хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

Разделы дисциплины и виды занятий

Таблица 4.2. Разделы дисциплины и виды занятий с указанием трудоемкости

№	Наименование разделов и тем	Виды учебной работы и трудоемкость, ч						Формы текущего контроля успеваемости
		Всего	Лек	Лаб	П	СР	КСР	
Раздел 1. Закономерности строения и реакционной способности органических соединений								
1	Современные представления о природе химической связи	9	1	-	2	6	-	Собеседование
2	Пространственное строение органических молекул. Взаимодействие химически несвязанных атомов и групп	11	2	-	3	6	-	
3	Классификация химических реакций	10	1	-	3	6	-	
4	Количественные теории кислот и оснований.	10	1	-	3	6	-	
5	Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций	9	2	-	2	5	-	
6	Основные типы интермедиатов органических реакций	9	1	-	3	5	-	
Раздел 2. Основные типы органических реакций и их механизмы								
7	Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду.	10	2	-	4	4	-	Собеседование
8	Электрофильное замещение у атома углерода	10	2	-	4	4	-	
9	Реакции элиминирования	10	2	-	4	4	-	
10	Реакции присоединения	10	2	-	4	4	-	
11	Перегруппировки. Полимеризация, теломеризация. Электросинтез. Молекулярные, согласованные и фотохимические реакции.	10	2	-	4	4	-	
Раздел 3. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений								
12	Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Элементоорганические соединения в органическом синтезе.	9	2	-	1	6	-	Собеседование
13	Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Комбинаторная и «зеленая» химии.	9	1	-	2	6	-	
Раздел 4. Основные классы органических веществ								
14	Углеводороды.	15	4	-	1	7	3	Собеседование
15	Спирты, эпоксиды и простые эфиры	15	4	-	1	7	3	

16	Карбонильные соединения.	15	4	-	1	7	3	
17	Карбоновые кислоты и их производные. Углеводороды	15	4	-	1	7	3	
18	Синтетическое использование реакций электрофильного замещения в ароматическом ряду	15	4	-	1	7	3	
19	Методы синтеза и реакции ароматических гетероциклических соединений	15	4	-	1	7	3	
Всего часов:		**216**	**45**	**-**	**45**	**108**	**18**	

Рабочей программой дисциплины «Органическая химия» предусмотрена самостоятельная работа обучающегося в объеме 108 ч. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

Перечень рекомендуемых видов самостоятельной работы:

- регулярная проработка пройденного на лекциях учебного материала по разделам курса;
- ознакомление с литературой в электронно-библиотечных системах, включая публикации из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в семинарах ИрИХ СО РАН по тематике курса, научно-методических семинарах лабораторий, посещение защит диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;
- подготовка к сдаче экзамена по курсу.

5. Организация текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения учебной дисциплины

Текущий контроль по дисциплине «Органическая химия» осуществляется в следующих формах: собеседование по контрольным вопросам.

Собеседование – средство контроля, организованное в форме собеседования по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.

Собеседование по контрольным вопросам и письменным ответам на вопросы оценивается в соответствии со следующими критериями: аргументированность позиции, широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Органическая химия» проводится на втором году обучения в форме экзамена, предусматривающего ответы на контрольные вопросы.

Экзамен – средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков, полученных по итогам изучения дисциплины «Органическая химия», позволяющих аспиранту анализировать различные факты и явления в своей профессиональной области.

Результаты сдачи экзамена оцениваются как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания ответа аспиранта:

- для оценки «отлично»: наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме программы курса, правильные и уверенные действия по применению теоретических знаний для решения практических задач, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы;

- для оценки «хорошо»: наличие твердых и достаточно полных знаний программы курса, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению теоретических знаний для решения практических задач, четкое изложение материала;

- для оценки «удовлетворительно»: наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов, правильные действия по применению теоретических знаний для решения практических задач;

- для оценки «неудовлетворительно»: наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы.

Дисциплина считается освоенной, если обучающийся получил оценку «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

Оценочные средства для проведения текущего контроля

Примеры контрольных вопросов для проведения собеседования

1. Гибридизация атома углерода.
2. Интермедиаты органических реакций.
3. Кинетических и термодинамический контроль органических реакций.
4. Качественные и количественные электронные эффекты заместителей на реакционную способность органических соединений.
5. Переходные состояния, поверхность изменения свободной энергии органических реакций.
6. Теории кислот и оснований.
7. Влияние растворителей на скорость и равновесие органических реакций
8. Принцип линейности изменений свободной энергии реакций. Уравнение Гаммета
9. Гомогенный катализ в органическом синтезе.
10. Металлокомплексный и гетерогенный катализ в органическом синтезе.
11. Межфазовый катализ в органическом синтезе.
12. Классификация органических реакций и реагентов.
13. Изомерия органических соединений.
14. Методы получения и химические свойства предельных углеводородов (алканы, циклоалканы).
15. Методы асимметрического синтеза.
16. Методы получения и химические свойства алкенов и диенов.
17. Методы получения и химические свойства алкинов.
18. Методы получения и химические свойства ароматических углеводородов.
19. Методы получения и химические свойства одноатомных и многоатомных спиртов.
20. Методы получения и химические свойства карбонильных соединений.
21. Методы получения и химические свойства карбоновых кислот.
22. Методы получения и химические свойства азотсодержащих соединений (амино, нитро).
23. Методы получения и химические свойства серосодержащих органических веществ.
24. Методы получения и химические свойства пяти- и шестичленных гетероциклов.
25. Методы получения, химические свойства и применение углеводов.
26. Биологически важные соединения – аминокислоты, белки, нуклеиновые кислоты.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов, тематика которых представлена в программе кандидатского экзамена.

Образцы билетов
Органическая химия

Билет 1

1. Типы связей в органической химии.
2. Алканы. Методы синтеза и реакционная способность.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{1}H для изучения структуры органических соединений.

Билет 2

1. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп.
2. Алкены. Номенклатура и строение. Методы синтеза.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{13}C для изучения структуры органических соединений.

Билет 3

1. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность.
2. Реакционная способность алкенов.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР на ядрах гетероатомов для изучения структуры органических соединений.

Билет 4

1. Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. Факторы, определяющие энергию конформеров.
2. Строение и номенклатура алкинов. Методы получения и свойства ацетиленовых соединений.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение двумерной спектроскопии ЯМР для изучения структуры органических соединений.

Билет 5

1. 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.
2. Полиеновые соединения. Особенности синтеза и реакционной способности.
3. Применение спектроскопии ЭПР в органической химии.

Билет 6

1. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие pH. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности.
2. Спирты. Методы синтеза и реакции одноатомных спиртов.
3. Применение колебательной и электронной спектроскопии для изучения структуры органических соединений.

Билет 7

1. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы SN1 и SN2. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции.
2. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов.

3. Применение масс- и хромато-масс-спектрометрии для изучения структуры органических соединений.

Билет 8

1. Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у sp2-гибридного атома углерода.
2. Методы синтеза и реакции простых эфиров.
3. Хроматографические методы и их применение в органическом синтезе.

Билет 9

1. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения SE1, SE2, SEi. Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций.
2. Альдегиды и кетоны. Номенклатура. Особенности строения. Методы получения альдегидов и кетонов.
3. Рентгеноструктурный анализ и его применение для изучения структуры органических веществ.

Билет 10

1. Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования E1 и E2. Стереоэлектронные требования и стереоспецифичность при E2-элиминировании.
2. Реакции альдегидов и кетонов. Обращение полярности карбонильной группы.
3. Современные методы обработки реакционных масс, очистки и выделения продуктов реакций.

Билет 11

1. Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам.
2. Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения и реакции.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{1}H для изучения структуры органических соединений.

Билет 12

1. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе.
2. Карбоновые кислоты. Номенклатура. Особенности строения. Методы получения и типичные реакции.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР ^{13}C для изучения структуры органических соединений.

Билет 13

1. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах.
2. Методы получения и свойства производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.
3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение спектроскопии ЯМР на ядрах гетероатомов для изучения структуры органических соединений.

Билет 14

1. Радикальные и ион-радикальные реакции присоединения, замещения и элиминирования.
2. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей.

3. Основы спектроскопии ЯМР. Применение двумерной спектроскопии ЯМР для изучения структуры органических соединений.

Билет 15

1. Принцип ретросинтетического анализа. Синтоны и синтетические эквиваленты.
2. Методы синтеза и свойства гетероароматических соединений.
3. Применение спектроскопии ЭПР в органической химии.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 1 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 567 с.
2. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 2 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 623 с.
3. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 3 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 544 с.
4. Реутов, О. А. Органическая химия: В 4-х т. Т. 4 / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 726 с.

Дополнительная литература

1. Бабкин, В. А. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов / В. А. Бабкин, Л. А. Остроухова, Н. Н. Трофимова; отв. ред. А. А. Семенов; ИрИХ им. А. Е. Фаворского СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 236 с.
2. Бердетт, Дж. Химическая связь: пер. с англ. / Дж. Бердетт. – М.: Мир; Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 245 с.
3. Голобокова, Т. В. Неконденсированные вицинальные триазолы: справ.пособие / Т. В. Голобокова, Л. И. Верещагин, Р. Г. Житов, В. Н. Кижняев; отв. ред. А. И. Смирнов. – Иркутск: ИГУ, 2012. – 133 с.
4. Гонсалвес, К. Наноструктуры в биомедицине / К. Гонсалвес, К. Хальберштадт, К. Лоренсин, Л. Наир – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 520 с.
5. Гусарова, Н. К. Химия ацетилена: Новые главы / Н. К. Гусарова, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, А. Г. Малькина. – Новосибирск: Наука, 2013. – 368 с.
6. Жауен, Ж. Биометаллоорганическая химия / Ж. Жауен. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 496 с.
7. Илиел, Э. Основы органической стереохимии / Э. Илиел. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 703 с.
8. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие / Л. В. Коваленко. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014 – 229 с.
9. Кузнецов, Н. Т. Основы нанотехнологии: учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 397 с.
10. Лау, А. К. Нано- и биокомпозиты / А. К. Лау, Ф. Хусейн, Х. Лафди. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 392 с.
11. Романовский, Б. В. Основы катализа: учебное пособие / Б. В. Романовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
12. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 365 с.
13. Семенов, А. А. Биологическая активность природных соединений / А. А. Семенов, В. Г. Карцев. – М.: МБФНП, 2012. – 520 с.
14. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.

15. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
16. Солдатенков, А. Т. Пестициды и регуляторы роста: прикладная органическая химия / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, А. Ле Туан. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 223 с.
17. Солдатенков, А. Т. Пестициды и регуляторы роста: прикладная органическая химия / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, А. Ле Туан. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 223 с.
18. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 431 с.
19. Титце, Л. Домино-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К. Герике; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.
20. Толстиков, Г. А. Смоляные кислоты хвойных России. Химия, фармакология / Г. А. Толстиков, Т. Г. Толстикова, Э. Э. Шульц, С. Е. Толстиков, М. В. Хвостов; НИОХ им. Н. Н. Ворожцова СО РАН. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 395 с.
21. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 1 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 368 с.
22. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 2 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 517 с.
23. Травень, В. Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: В 3-ех т. Т. 3 / В. Ф. Травень. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 388 с.
24. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
25. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.
26. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
27. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с.
28. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
29. Юровская, М. А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 208 с.

Электронные ресурсы

1. Аристова, Н.В. Тестовый контроль по курсу органической химии. Углеводороды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Аристова, В.Г. Урядов, Е.Н. Офицеров. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2004. — 254 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/13336. — Загл. с экрана.
2. Березин, Д.Б. Базовый курс органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Б. Березин, О.В. Шухто, С.А. Сырбу. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 168 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/4523. — Загл. с экрана.
3. Березин, Д.Б. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Б. Березин, О.В. Шухто, С.А. Сырбу, О.И. Койфман. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 240 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/44754. — Загл. с экрана.
4. Боровлев, И.В. Органическая химия: термины и основные реакции [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Боровлев. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 362 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/70742. — Загл. с экрана.

5. Бурангулова, Р.Н. Органическая химия. Ациклические углеводороды [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Н. Бурангулова, Р.Ф. Каримова, М.А. Петрова. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2016. — 112 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/102078. — Загл. с экрана.
6. Бухаров, С.В. Химия и технология продуктов тонкого органического синтеза [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.В. Бухаров. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2013. — 268 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/73483. — Загл. с экрана.
7. Васильева, И.В. Основы органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Васильева, М.А. Захаренко, И.В. Проскунов. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2017. — 72 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/102672. — Загл. с экрана.
8. Веревкин, А.Н. Органическая химия. Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по синтезу органических веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Веревкин, В.И. Азаров, Т.И. Нилова. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 39 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/104638. — Загл. с экрана.
9. Веревкин, А.Н. Органическая химия. Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по основным методам очистки и выделения органических веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Веревкин, В.И. Азаров, Т.И. Нилова, Г.Н. Кононов. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 33 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/104805. — Загл. с экрана.
10. Винославский, В.А. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Винославский, И.М. Осовцова, В.И. Азаров. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 56 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/104624. — Загл. с экрана.
11. Вшивков, А.А. Органическая химия: основные понятия [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Вшивков, А.В. Пестов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2012. — 188 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/98443. — Загл. с экрана.
12. Вшивков, А.А. Органическая химия: задачи и упражнения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Вшивков, А.В. Пестов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — 344 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/98413. — Загл. с экрана.
13. Денисов, В.Я. Сборник задач по органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Я. Денисов, Д.Л. Мурышкин, Т.Б. Ткаченко, Т.В. Чуйкова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 544 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/45971. — Загл. с экрана.
14. Денисов, В.Я. Сборник контрольных заданий по органической химии. Ч. 3: Ароматические и гетероциклические соединения [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Я. Денисов, Д.Л. Мурышкин, Т.Б. Ткаченко, Т.В. Чуйкова. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2009. — 86 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/30112. — Загл. с экрана.
15. Дычко, К.А. Семинарские занятия по органической химии [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / К.А. Дычко, Т.Т. Куряева, С.С. Кравцова, Т.Н. Матвеева. — Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2013. — 80 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/44990. — Загл. с экрана.
16. Зыкова, М.В. Органическая химия. Классификация и номенклатура органических соединений [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Зыкова, Г.А. Жолобова, О.Ф. Прищепова. — Электрон. дан. — Томск: СибГМУ, 2014. — 111 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/105885. — Загл. с экрана.
17. Кравцова, С.С. Органическая химия. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.С. Кравцова, Т.Т. Куряева, Т.Н. Матвеева, Б.С. Прялкин. — Электрон. дан. — Томск:

ТГУ, 2013. — 92 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/44989. — Загл. с экрана.
18. Кувшинова, Е.М. Органическая химия. Карбонилпроизводные углеводородов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.М. Кувшинова. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 80 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/4530. — Загл. с экрана.
19. Кузнецов, Д.Г. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.Г. Кузнецов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 556 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/72988. — Загл. с экрана.
20. Лабораторный практикум по курсу органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. А.М. Голубева. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 40 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/52564. — Загл. с экрана.
21. Ливанцов, М.В. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями : в 2 ч [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Ливанцов, Г.С. Зайцева, Л.И. Ливанцова, Н.С. Гулюкина ; под ред. Н. С. Зефирова. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 258 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/84111. — Загл. с экрана.
22. Ливанцов, М.В. Органическая химия. Задачи по общему курсу с решениями : в 2 ч. II ч [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Ливанцов, Г.С. Зайцева, Л.И. Ливанцова, Н.С. Гулюкина ; под ред. Н. С. Зефирова. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 717 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/84112. — Загл. с экрана.
23. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / сост. Т. Н. Грищенкова, Г. Е. Соколова. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2015. — 115 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/80075. — Загл. с экрана.
24. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / сост. С.С. Кравцова, Т.Н. Матвеева. — Электрон. дан. — Томск: ТГУ, 2015. — 44 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/80212. — Загл. с экрана.
25. Пресс, И.А. Основы органической химии для самостоятельного изучения [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.А. Пресс. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 432 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71727. — Загл. с экрана.
26. Реутов, О.А. Органическая химия. В 4 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 570 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/94167. — Загл. с экрана.
27. Реутов, О.А. Органическая химия. В 4 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 626 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/94168. — Загл. с экрана.
28. Реутов, О.А. Органическая химия : в 4 ч. Ч. 4 [Электронный ресурс]: учебник / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2016. — 729 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/84139. — Загл. с экрана.
29. Романовский, Б.В. Основы катализа [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.В. Романовский. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2017. — 175 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/94126. — Загл. с экрана.
30. 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.
31. 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.

32. Травень, В.Ф. Органическая химия. В 3 т. Т. 3 [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Ф. Травень. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 391 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/84110. — Загл. с экрана.
33. Хелевина, О.Г. Органическая химия. Полифункциональные производные углеводородов [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.Г. Хелевина, А.С. Малясова, С.А. Сырбу. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2016. — 97 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/96111. — Загл. с экрана.
34. Шабаров, Ю.С. Органическая химия [Электронный ресурс]: учебник / Ю.С. Шабаров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 848 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/4037. — Загл. с экрана.
35. Шипуля, А.Н. Курс лекций по органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Шипуля, Ю.А. Безгина, Е.В. Волосова, Е.В. Пашкова. — Электрон. дан. — Ставрополь: СтГАУ, 2014. — 116 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/61142. — Загл. с экрана.
36. Юровская, М.А. Основы органической химии [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.А. Юровская, А.В. Куркин. — Электрон. дан. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 239 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/66365. — Загл. с экрана.

Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы из библиотечного фонда ИрИХ СО РАН:

1. Вестник Российской академии наук.
2. Высокомолекулярные соединения. Серия А: Физика полимеров.
3. Высокомолекулярные соединения. Серия Б: Физика полимеров.
4. Доклады академии наук.
5. Журнал общей химии.
6. Журнал органической химии.
7. Журнал прикладной химии.
8. Журнал структурной химии.
9. Известия Академии наук. Серия химическая.
10. Успехи химии (электронный журнал).
11. Химико-фармацевтический журнал.
12. Химия в интересах устойчивого развития.
13. Химия гетероциклических соединений.
14. Электрохимия.
15. Journal of Sulfur Chemistry.
16. Mendeleev Communications.

Электронно-библиотечные системы профессиональные базы данных, информационные справочные и поисковые системы:

1. Химическая реферативная служба Американского химического общества CAS SciFinder https://sso.cas.org/
2. База данных Elsevier: Reaxys+Reaxys Medicinal Collection https://www.reaxys.com/.
3. The Cambridge Crystallographic Data Centre: база данных CSD-Enterprise https://www.ccdc.cam.ac.uk/
4. База данных медицинских и биологических публикаций PubMed https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/.
5. База данных Академия Google https://scholar.google.ru/.
6. Федеральный институт промышленной собственности http://www1.fips.ru.

7. Федеральная служба по интеллектуальной собственности http://www.rupto.ru.
8. The United States Patent and Trademark Office http://www.uspto.gov.
9. The European Patent Office http://ep.espacenet.com.
10. Academic Reference – база данных полнотекстовых англоязычных ресурсов по всем академическим дисциплинам, опубликованных в Китае https://ar.cnki.net.
11. База цитирования Elsevier B.V.: Scopus https://www.scopus.com.
12. База цитирования РИНЦ https://www.elibrary.ru/.
13. База данных электронно-библиотечной системы «Лань» https://e.lanbook.com/.
14. Ресурсы удаленного доступа и базы данных ФГБУН Государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН http://www.spsl.nsc.ru/.
15. Электронно-библиотечная система Центральной научной библиотеки ИНЦ СО РАН (на базе АИБС «Ирбис») http://csl.isc.irk.ru/.
16. Elsevier: Science Direct Complete Freedom Collection https://www.elsevier.com/, http://www.sciencedirect.com.
17. George Thieme Verlag: коллекция журналов Thieme по химии https://www.thieme.com/.
18. Royal Society of Chemistry: база данных RSC DATABASE https://www.rsc.org/.
19. Wiley: Коллекция журналов Database Collection https://onlinelibrary.wiley.com/.
20. Справочно-правовая система "ГАРАНТ" https://internet.garant.ru/ .
21. Сайт ВАК Минобрнауки РФ https://vak.minobrnauki.gov.ru/.
22. Электронная информационно-образовательная среда ИрИХ СО РАН http://eios-irich.com.ru/moodle/.
23. Портал для аспирантов и соискателей ученой степени: http://www.аспирантура.рф/.

Бесплатные официальные открытые ресурсы Интернет:

1. Directory of Open Access Journals (DOAJ) http://doaj.org/
   Ресурс объединяет более 10000 научных журналов по различным отраслям знаний (около 2 миллионов статей) из134 стран мира.
2. Directory of Open Access Books (DOAB) https://www.doabooks.org/
   В базе размещено более 3000 книг по различным отраслям знаний, предоставленных 122 научными издательствами.
3. BioMed Central https://www.biomedcentral.com/
   База данных включает более 300 рецензируемых журналов по биомедицине, медицине и естественным наукам. Все статьи, размещенные в базе, находятся в свободном доступе.
4. Электронный ресурс arXiv https://arxiv.org/
   Крупнейшим бесплатный архив электронных научных публикаций по разделам физики, математики, информатики, механики, астрономии и биологии. Имеется подробный тематический каталог и возможность поиска статей по множеству критериев.
5. Коллекция журналов MDPI AG http://www.mdpi.com/
   Многодисциплинарный цифровой издательский ресурс, является платформой для рецензируемых научных журналов открытого доступа, издающихся MDPI AG (Базель, Швейцария). Издательство выпускает более 120 разнообразных электронных журналов, находящихся в открытом доступе.
6. Издательство с открытым доступом InTech http://www.intechopen.com/
   Первое и крупнейшее в мире издательство, публикующее книги в открытом доступе, около 2500 научных изданий. Основная тематическая направленность - физические и технические науки, технологии, медицинские науки, науки о жизни.
7. База данных химических соединений ChemSpider http://www.chemspider.com/
   ChemSpider – это бесплатная химическая база данных, предоставляющая быстрый доступ к более чем 28 миллионам структур, свойств и соответственной информации. Ресурс принадлежит Королевскому химическому обществу Великобритании (Royal Society of Chemistry).

8. Коллекция журналов PLOS ONE http://journals.plos.org/plosone/
   PLOS ONE – коллекция журналов, в которых публикуются отчеты о новых исследованиях в области естественных наук и медицины. Все журналы размещены в свободном доступе (Open Access), все статьи проходят строгое научное рецензирование.

7. Материально-техническое обеспечение научно-исследовательской работы

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «Органическая химия» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

Для реализации образовательного процесса в форме лекций и практических занятий используются следующие помещения: универсальная учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; малый лекционный зал (библиотека), оснащенный компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет, учебной мебелью и демонстрационным оборудованием.

Для освоения программы обучения и для выполнения практических и научно-исследовательских работ по теме диссертации каждому аспиранту предоставлено индивидуальное рабочее место, оборудованное приточно-вытяжной вентиляцией, водопроводом, водоотведением, воздуховодом. Аспиранты имеют возможность использовать материально-технические средства лабораторий, в которых выполняют диссертационные работы (оргтехника, реактивы, расходные материалы, лабораторная посуда, измерительное оборудование).

Программное обеспечение:

Лицензионные продукты:

- Microsoft Office 2010 Russian Academic Open;
- Microsoft Office Professional 2010 Russian Academic Open;
- Zoom – система видеоконференцсвязи с возможностью обмена сообщениями и передачей контента в режиме реального времени.

Свободно распространяемое ПО: браузер Google Chrome67, Mozilia Firefox 60.02, Opera53; Pascal ABC 3.3; система текстовой, голосовой и видеосвязи связи Skype7.41.0.101; программа для создания электронных учебных продуктов Moodle 3.2.; программа для просмотра электронных документов Foxit PDF Reader 9.1.0.5096; архиватор 7zip 17.01 beta.

Приборная база:

Основу материально-технической базы института составляют два цифровых мультиядерных Фурье-спектрометра ЯМР (DPX 400 и AVANCE 400), рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE, рентгеновский дифрактометр D2 PHASER, инфракрасный Фурье-спектрометр Vertex 70 с Раман приставкой, инфракрасный Фурье-спектрометр Excalibar HE 3100 Varian, микроанализатор Flash EA 1112 CHN-O/MAS 200, микроанализатор Termo Flash EA 2000 CHNS, ЭПР-спектрометр ELEXSYS E580, установка наносекундного импульсного фотолиза, хроматомасс-спектрометр QP-5050A, хроматомасс-спектрометр Agilent 5975 с химической ионизацией, тандемный TOF/TOF масс-спектрометр Ultra Flex, электронный микроскоп TM 3000 Hitachi, спектрофлуориметр FLPS920 Edinburg Instruments, УФ/ВИД-спектрометр LAMBDA 35 и диэлькометр.

Для проведения квантово-химических расчетов имеются компьютеры в лабораториях и вычислительный кластер 39Гц/112Гб/14Тб.

Лицензионное программное обеспечение, встроенное в соответствующие приборные комплексы, являющееся его неотъемлемой частью, обеспечивающей функционирование приборов:

- Gaussian 09, Пакет квантово-химических программ, для расчета геометрии и электронных характеристик молекул.
- Apex 2, Apex 3, Программы для обработки данных монокристального дифрактометра;

- CCDC (ConQuest, Mercury, DASH, Mogul, Hermes), Кристаллографическая база данных и пакет программ для работы с базой данных;
- TurboMol, Пакет квантово-химических программ, для расчета геометрии и электронных характеристик молекул;
- XWinNMR, Программа для записи и обработки данных спектрометра ЯМР;
- TOPAS, EVA, Программы для обработки данных порошкового дифрактометра;
- PDF-2, База данных порошковых дифрактограм неорганических соединений;
- ResolutionsPro Opus, Пакет программ, для записи и обработки ИК-спектров;
- Lambda35, Программа для записи и обработки УФ-спектров;
- Программа Flexanalysis 3.3 для обработки массива данных по биополимерам, нелетучих биомакромолекул, олигомерам, синтетическим полимерам, солям и нелетучих веществ;
- Xepr, XSophe, XeprView, Пакет программ для записи и обработки спектров ЭПР.

С открытой лицензией:

- Dalton2016, пакет квантово-химических программ, используемых для расчета, изучения свойств веществ, моделирования реакций;
- DIRAC, программа для атомных и молекулярных прямых итеративных релятивистских вычислений на всех электронах, вычислений молекулярных свойств с использованием релятивистских квантово-химических методов;
- ORCA software, пакет квантово-химических программ, используемых для расчета, изучения свойств веществ, моделирования реакций.