



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

2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Механизмы органических реакций

основная образовательная программа –
программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки,
профиль Органическая химия

Квалификация: Исследователь.
Преподаватель-исследователь.

Год набора: 2021

Иркутск 2021

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации) (утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 869)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета ИрИХ СО РАН протокол № 5 от «27» мая 2021 г.

Начальник отдела аспирантуры к.х.н.



Н.Н. Трофимова

1. Цели и задачи учебной дисциплины

Рассматриваемая дисциплина относится к элективным дисциплинам при подготовке аспирантов, обучающихся по профилю Органическая химия.

Целью изучения дисциплины является приобретение фундаментальных знаний и практических навыков в области органической химии, приобретение знаний, необходимых для решения задач, связанных с органической химией, способных к инновационной деятельности в соответствующей области органической химии и в смежных областях науки и высшего образования.

Задачи:

- формирование представлений о механизмах органических реакций;
- ознакомление с типами реакций и классификацией реагентов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

2.1. Учебная дисциплина Б1.В.ДВ.1.2 «Механизмы органических реакций» входит в вариативную часть междисциплинарного профессионального модуля ООП.

2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ИрИХ СО РАН, прошедших успешное обучение по программе подготовки магистров или специалистов. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней. Для освоения дисциплины «Механизмы органических реакций» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Органическая химия;
- Теоретические основы органического синтеза;
- Физико-химические методы исследования структуры веществ;
- Основы стереохимии;
- Химия элементоорганических соединений;
- Химия высокомолекулярных соединений;
- Квантовая химия.

2.3. Освоение дисциплины «Механизмы органических реакций» необходимо при подготовке к государственной итоговой аттестации.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Механизмы органических реакций» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, профиль Органическая химия:

Профессиональные компетенции:

- владение базовыми представлениями о теоретических основах органической химии, механизмах органических реакций, стереохимии, химии элементоорганических и высокомолекулярных соединений (ПК-3);

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.

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 экспериментов органического синтеза;
- очистки органических веществ и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов;
- написания научных отчетов и статей.

4. Структура и содержание учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

4.1. Структура дисциплины

№	Наименование дисциплины	Объем учебной работы, ч						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудиторн.	Из аудиторных					Самост. работа
				Лекц.	Лаб.	Практ.	КСР		
1	Механизмы органических реакций	72	36	18	-	18	-	36	Зачет

4.2. Содержание дисциплины

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование разделов и тем	Виды учебной работы и трудоемкость, ч						Формы текущего контроля успеваемости
		Всего	Лекц.	Лаб	Практ	СР	КСР	
1	Структура и реакционная способность.	6	2	-	1	3	-	Устный групповой опрос
2	Электронные эффекты в органических молекулах.	6	2	-	1	3	-	Устный групповой опрос
3	Типы реакций и классификация реагентов.	6	1	-	2	3	-	Устный групповой опрос
4	Кинетика и термодинамика органических реакций.	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос, решение задач

5	Характеристика интермедиатов реакций.	6	2	-	1	3	-	Устный групповой опрос
6	Цепные радикальные реакции.	6	1	-	2	3	-	Устный групповой опрос
7	Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода.	6	1	-	2	3	-	Устный групповой опрос
8	Реакции элиминирования.	6	1	-	2	3	-	Устный групповой опрос
9	Электрофильное и нуклеофильное замещение в ароматическом ряду	6	2	-	1	3	-	Устный групповой опрос
10	Реакции электрофильного присоединения к кратным углерод-углеродным связям.	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос, решение задач
11	Реакции нуклеофильного присоединения к кратным связям.	8	2	-	2	4	-	Устный групповой опрос, решение задач
Всего часов:		72	18	-	18	36	-	

4.2.2 Содержание разделов и тем дисциплины

1. Структура и реакционная способность.

Химические связи в органических соединениях. Метод молекулярных орбиталей. Характеристика ковалентных связей. Семиполярная связь. Простые углерод-углеродные связи. Двойные углерод-углеродные связи. Тройные углерод-углеродные связи.

2. Электронные эффекты в органических молекулах.

Общие представления об электронных эффектах. Эффект поля и индуктивный эффект. Эффект сопряжения. Эффект сверхсопряжения. Эффект обратного сверхсопряжения.

3. Типы реакций и классификация реагентов.

Классификация реакций. Классификация реагентов.

4. Кинетика и термодинамика органических реакций.

Кинетическое уравнение. Молекулярность реакции. Понятие о лимитирующей стадии реакции. Тепловой эффект реакции. Переходное состояние. Катализ и скорость реакции. Термодинамический и кинетический контроль реакции.

5. Характеристика интермедиатов реакций.

Интермедиаты в многостадийных реакциях. Карбокатионы. Карбанионы. Радикалы. Карбены. Карбениевые системы.

6. Цепные радикальные реакции.

Реакции радикального замещения. Лимитирующая стадия реакции. Лимитирующая стадия и селективность в реакции хлорирования алканов. Галогенирование алканов другими галогенами. Инициирование и ингибирование цепных радикальных реакций. Реакции радикального присоединения. Радикальная цепная полимеризация.

7. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода.

Нуклеофильное замещение. Бимолекулярное нуклеофильное замещение (S_N2). Оценка влияния изменения условий на протекание реакции. Влияние природы заместителей, связанных с атакуемым атомом, на реакционную способность субстрата. Влияние природы раство-

рителя на протекание SN2-реакций. Реакционная способность нуклеофилов и скорость SN2-реакций. Мономолекулярное нуклеофильное замещение (SN1). Стереохимия SN1-реакций. SN1-Реакции: реакционная способность. SN1-Реакции: перегруппировки. SN1-Реакции: влияние природы уходящей группы. Сравнение SN1- и SN2-реакций.

8. Реакции элиминирования.

Классификация реакций элиминирования. Бимолекулярное элиминирование (E2). Мономолекулярное элиминирование.

9. Электрофильное и нуклеофильное замещение в ароматическом ряду.

Строение бензола. Механизм реакций электрофильного замещения. Реакционная способность и влияние заместителей. Основные реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду. Электрофильное замещение в полициклических ароматических соединениях. Электрофильное замещение в небензольных ароматических соединениях. Механизмы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду.

10. Реакции электрофильного присоединения к кратным углерод-углеродным связям.

Реакции электрофильного присоединения к алкенам. Влияние природы реагента на скорость реакций электрофильного присоединения к алкенам. Реакционная способность двойной связи и направление электрофильного присоединения. Реакции электрофильного присоединения: перегруппировки. Стереохимия реакций электрофильного присоединения. Катионная полимеризация. Электрофильное присоединение к сопряженным диенам. Электрофильное присоединение к ацетиленам.

11. Реакции нуклеофильного присоединения к кратным связям.

Нуклеофильное присоединение к алкенам. Реакции капто-дативных и пуш-пульных алкенов. Присоединения к соединениям, содержащим двойную связь углерод-гетероатом. Присоединение к ацетиленовым системам.

5. Образовательные технологии

Технология процесса обучения по дисциплине включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа аспирантов;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор).

В учебном процессе предусмотрено широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий (семинаров в диалоговом режиме, дискуссий, компьютерных симуляций, разбора конкретных ситуаций, групповых дискуссий) в сочетании с конкретной научно-исследовательской работой в области химии. Одной из основных активных форм обучения, связанных с ведением того вида (видов) деятельности, к которым готовится аспирант (научно-исследовательской и научно-педагогической), является семинар, к работе которого привлекаются ведущие исследователи и специалисты-практики, и являющийся основой корректировки индивидуальных учебных планов аспиранта. В рамках дисциплины предусмотрены встречи с российскими и зарубежными учеными.

Проверка приобретенных знаний, навыков и умений осуществляется посредством отчетов аспирантов на научных семинарах и индивидуального обсуждения с руководителем.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Виды самостоятельной работы:

в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

7.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный групповой опрос (УГО).

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

7.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины «Механизмы органических реакций». Форма аттестации – зачет.

Контрольные вопросы к зачету:

1. Теория активированного комплекса (переходного состояния). Поверхность потенциальной энергии. Свободная энергия активации реакции, энтальпия и энтропия активации. Уравнения Аррениуса и Эйринга.

2. Методы исследования механизмов органических реакций. Промежуточные частицы, их регистрация и относительная стабильность. Кинетические методы, изотопные эффекты, метод меченых атомов, метод «ловушек».

3. Кислотность и основность, теории Бренстеда и Льюиса. Принцип ЖМКО. Электрофильность и нуклеофильность.

4. Влияние среды (природы растворителя) на реакционную способность.

5. Структура органических веществ и ее связь с реакционной способностью. Линейность свободных энергий. Формальный подход: уравнение Гаммета и др. Диагностика механизмов реакций в рамках формального подхода.

6. Исследование реакционной способности полуэмпирическими и неэмпирическими (*ab initio*) квантово-химическими методами.

7. Механизмы органических реакций. Типы разрыва химических связей. Классификация реакций, ассоциативные, диссоциативные и синхронные реакции. Сложные (многостадийные) механизмы, лимитирующая стадия.

8. Свободно-радикальное замещение S_R . Стадии реакции: зарождение (иницирование), продолжение (развитие) и обрыв цепи. Относительная стабильность промежуточных радикалов и пути реакции. Реакционная способность реагентов и селективность реакции. Аллильное и бензильное замещение. Автоокисление углеводородов. Жидкофазное каталитическое окисление. Ингибирование процесса. Ароматическое радикальное замещение $S_{R}Ar$.

9. Электрофильное присоединение к кратным связям A_E . π -Комплекс и карбокатион, относительная устойчивость последнего. Присоединение галогенводородов, галогенов, гидратация. Ориентация и стереохимический результат. 1,2- и 1,4-Присоединение к сопряжен-

ным диенам: 1,2- и 1,4-. Кинетический и термодинамический контроль. Радикальное присоединение A_R . Нуклеофильное присоединение, реакция Михаэля. Диеновый синтез - реакция Дильса-Альдера.

10. Электрофильное замещение в аренах S_EAr . Механизм присоединения-отщепления. π - и σ -комплексы. Энергетический профиль реакции. Лимитирующая стадия, изотопный эффект. Ориентирующее действие заместителей I и II рода, электронные эффекты: индукционный, мезомерный (сопряжения), стерические препятствия замещению в *орто*-положение. Субстратная и позиционная селективность, факторы парциальных скоростей. Относительная стабильность σ -комплексов. Кинетический и термодинамический контроль реакции. *Ips*-замещение.

11. Нуклеофильное замещение у насыщенного (sp^3 -) атома углерода S_N . Кинетика и механизм. Влияние строения субстрата и реагента. Влияние среды (природы растворителя). Нуклеофильность реагента и электроотрицательность уходящей группы, принцип ЖМКО Пирсона. Стереохимия реакции: механизмы $S_N 1$, $S_N 2$, $S_N i$. Нуклеофильное замещение у винильного (sp^2 -) атома углерода.

12. β -Отщепление (элиминирование). Механизмы $E1$, $E2$, $E1cB$. Стереоспецифичность реакции, ориентация, правила Зайцева и Гофмана. Влияние строения субстрата, активирующие группы. Конкуренция отщепления и замещения.

13. Ароматическое нуклеофильное замещение S_NAr . Неактивированное замещение, аринный механизм. Замещения в солях диазония S_NAr1 . Активированное замещение. Механизм присоединения-отщепления. σ -Комплекс. Энергетический профиль, лимитирующая стадия. Влияние строения субстрата и природы нуклеофила, нуклеофуга и растворителя.

14. Присоединение по двойным углерод-кислородным связям. Нуклеофильное присоединение к карбонилсодержащим соединениям. Реакция замещения при карбонильном атоме углерода в альдегидах и кетонах, кислотах и их производных. Этерификация и кислотнокатализируемый гидролиз сложных эфиров, механизмы $A_{Ac}2$, $A_{Ac}1$, $A_{Alk}1$. Щелочной гидролиз сложных эфиров, механизмы $B_{Ac}2$, $B_{Ac}1$, $B_{Alk}1$.

15. Катализ органических реакций: кислотно-основной, координационно-комплексный, окислительно-восстановительный, межфазный, гетерогенный.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования в рамках промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Показатели	Критерии оценивания	Средства оценивания
Знать: методы получения, химические свойства и практическое использование основных классов органических соединений (ПК 3);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40% <i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70% <i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 8-14;
типичные методы органического синтеза, используемые реагенты и оборудование (ПК 3);		вопросы 8-14;
механизмы основных органических реакций, подходы и методы изучения механизмов (ПК 3);		вопросы 1-15;
влияние строения на реакционную способность органических соединений (ПК 3);		вопросы 1-5;
физико-химические методы исследования строения органических соединений и органических реакций (ПК 3).		вопросы 5,6;

Уметь: выбирать методы и реагенты синтеза органических соединений (ПК 3*);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40% <i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70% <i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 7-15;
планировать многостадийный органический синтез (ПК 3);		вопросы 7-15;
проводить разделение смесей органических веществ и идентификацию состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа (ПК 3);		вопросы 7-15;
осуществлять поиск методов получения и свойств органических соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем (ПК 3);		вопросы 7-15;
проводить моделирование химических реакций с использованием полуэмпирических и неэмпирических квантово-химических методов (ПК 3).		вопросы 5,6;
Иметь опыт: планирования и проведения экспериментов органического синтеза (ПК 3);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40% <i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70% <i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 7-15;
очистки органических веществ и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов (ПК 3);		вопросы 7-15;
написания научных отчетов и статей (ПК 3).		вопросы 1-15;

* Жирным шрифтом выделены показатели, соответствующие **высокому уровню** сформированности компетенции

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной 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.
5. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
6. Илиел, Э. Основы органической стереохимии / Э. Илиел. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 703 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. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие / Л. В. Коваленко. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014 – 229 с.
8. 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.
9. Лау, А. К. Нано- и биоконпозиты / А. К. Лау, Ф. Хусейн, Х. Лафди. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 392 с.
10. Романовский, Б. В. Основы катализа: учебное пособие / Б. В. Романовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
11. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы: учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 365 с.
12. Семенов, А. А. Биологическая активность природных соединений / А. А. Семенов, В. Г. Карцев. – М.: МБФНП, 2012. – 520 с.
13. Сильверстейн, Р. Спектротрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
14. 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.
15. 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.
16. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 431 с.
17. Титце, Л. Домино-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К. Герике; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
23. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.

24. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
25. Шишкин, Г. Г. Нанозлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с.
26. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
27. Юровская, М. А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 208 с.

Электронные ресурсы

1. Исляйкин, М.К. Теория химико-технологических процессов органического синтеза. Механизмы органических реакций [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.К. Исляйкин. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2016. — 129 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96118>. — Загл. с экрана.
2. Петров, О.А. Органическая химия. Реакции нуклеофильного замещения [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.А. Петров, Е.М. Кувшинова, О.Г. Хелевина, Л.Ж. Гусева. — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2010. — 56 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4520>. — Загл. с экрана.
3. 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.
4. 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.
5. Титце, Л. Домино-реакции в органическом синтезе [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. Титце, Г. Браше, К. Герике; 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.

Интернет-ресурсы

- [Taylor & Francis](#) (журналы издательства)
- [American Chemical Society](#)
- [Thieme Chemistry](#)
- [Wiley Online Library](#)
- [Royal Society Chemistry](#)
- [Springer](#)
- [Sci Finder \(Chemical Abstracts Service\)](#)
- [Web of Science](#)
- [Реферативная база данных ГПНТБ СО РАН](#)
- [E-library](#)
- [ЭБС «Издательство «Лань»](#)

9. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Для освоения программы обучения и для выполнения 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 квалификационные и диссертационные работы (оргтехника, реактивы, расходные материалы, лабораторная посуда, измерительное оборудование).

Основу материально-технической базы института составляют два цифровых мульти-ядерных 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 Excalibur 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 имеется вычислительный кластер 39Гц/112Гб/14Тб и необходимое программное обеспечение (GAUSSIAN, GAMESS, DALTON и DIRAC).

Автор-составитель рабочей программы учебной дисциплины:

 | Корневин Н. А. |