



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

« 31 »

2018 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 Высокомолекулярные соединения

Квалификация: Исследователь.  
Преподаватель-исследователь.

Год набора: 2018 г., 2019 г., 2020 г.

Иркутск

2018

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 № 7 от 30 мая 2018 г.

Начальник отдела аспирантуры к.х.н.



Н.Н. Трофимова

### 1. Цели и задачи учебной дисциплины

Рассматриваемая дисциплина относится к основным дисциплинам при подготовке аспирантов, обучающихся по профилю Высокомолекулярные соединения.

**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.ОД.4 «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. Дисциплина «Механизмы органических реакций» необходима 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 Высокомолекулярные соединения:

**Профессиональные компетенции:**

- умение проводить анализ, самостоятельно ставить задачу исследования наиболее актуальных проблем, имеющих значение для химической отрасли, грамотно планировать эксперимент и осуществлять его на практике, владение базовыми

представлениями о теоретических основах органической химии, механизмах органических реакций, стереохимии, химии элементоорганических соединений и органической химии (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 3 зачетные единицы (108 часов).

##### 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	108	54	18	-	18	36	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.	10	1	-	2	3	3	Устный групповой опрос
2	Электронные эффекты в органических молекулах.	10	1	-	2	4	4	Устный групповой опрос
3	Типы реакций и классификация реагентов.	10	2	-	1	3	3	Устный групповой опрос

4	Кинетика и термодинамика органических реакций.	10	2	-	1	3	4	Устный групповой опрос, решение задач
5	Характеристика интермедиатов реакций.	10	2	-	2	3	3	Устный групповой опрос
6	Цепные радикальные реакции.	10	2	-	2	3	3	Устный групповой опрос
7	Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода.	10	2	-	2	3	3	Устный групповой опрос
8	Реакции элиминирования.	9	2	-	1	3	3	Устный групповой опрос
9	Электрофильное и нуклеофильное замещение в ароматическом ряду	9	2	-	1	3	3	Устный групповой опрос
10	Реакции электрофильного присоединения к кратным углерод-углеродным связям.	10	1	-	2	4	4	Устный групповой опрос, решение задач
11	Реакции нуклеофильного присоединения к кратным связям.	10	1	-	2	4	4	Устный групповой опрос, решение задач
<b>Всего часов:</b>		<b>108</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	

#### 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 (SN2). Оценка влияния изменения условий на протекание реакции. Влияние природы заместителей, связанных с атакуемым атомом, на реакционную способность субстрата. Влияние природы растворителя 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 окончании.

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 (инициирование), 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  $S_RAr$ .

9. Электрофильное присоединение к кратным связям  $A_E$ .  $\pi$ -Комплекс и карбокатион, относительная устойчивость последнего. Присоединение галогенводородов, галогенов, гидратация. Ориентация и стереохимический результат. 1,2- и 1,4-Присоединение к сопряженным диенам: 1,2- и 1,4-. Кинетический и термодинамический контроль. Радикальное присое-

единение  $A_R$ . Нуклеофильное присоединение, реакция Михаэля. Диеновый синтез - реакция Дильса-Альдера.

10. Электрофильное замещение в аренах  $S_EAr$ . Механизм присоединения-отщепления.  $\pi$ - и  $\sigma$ -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  $\sigma$ -комплексов. Кинетический и термодинамический контроль реакции. *Ipso*-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.  $\beta$ -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.  $\sigma$ -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.

## 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. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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. Спектрометрическая 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. Domino-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. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
20. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.
21. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
22. Шишкин, Г. Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 408 с.
23. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.



24. 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 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 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 хи-

мической ионизацией, tandemный TOF/TOF масс-спектрометр Ultra Flex, электронный микроскоп ТМ 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).

**Сведения о переутверждении рабочей программы учебной дисциплины  
на очередной учебный год и регистрация изменений**

Учебный год	Решение Ученого совета (№ протокола, дата заседания)	Подпись ответственного (Ф.И.О., подпись)	Номер изменения (или без изменений)
2019-2020 уч.г.	Протокол № 3 от 06.06.2019г.	Рожнивей О.М. [подпись]	Без изменений
2020-2021 уч.г.	Протокол № 6 от 27.03.2020г.	Рожнивей О.М. [подпись]	Без изменений

**Содержание изменений (вносится от руки):**