



**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

«27» мая 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Химия элементоорганических соединений

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:

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, необходимых для профессиональной научно-исследовательской, инновационной и образовательной деятельности в области химии элементоорганических соединений; формирование обобщающей теоретической базы для изучения фундаментальных основ химии элементоорганических соединений и возможности их использования на практике.

Задачи:

- формирование у обучающихся современных представлений о химии элементоорганических соединений, ее роли и значимости в сопоставлении с другими химическими науками;
- освоение навыков теоретического анализа результатов экспериментальных исследований в области 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 ООП

2.1. Учебная дисциплина Б1.В.ДВ.1.1 «Химия элементоорганических соединений» 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 обучение по программе подготовки магистров или специалистов, прослушавших соответствующие курсы и имея по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней. Для освоения дисциплины «Химия элементоорганических соединений» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Теоретические основы органической химии;
- Физико-химические методы исследования структуры веществ;
- Основы стереохимии;
- Органическая химия;
- Физическая химия;
- Механизмы органических реакций;
- Применение спектроскопии ЯМР для изучения структуры элементоорганических соединений;
- Основы квантово-химического моделирования строения молекул и реакционной способности веществ.

2.3. Освоение дисциплины «Химия элементоорганических соединений» необходимо при подготовке к государственной итоговой аттестации.

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут:

Знать:

- основные и углубленные положения стереохимии (хиральность, конфигурация и конформация), стереохимическую номенклатуру, номенклатуру конформеров, диастереомеров и энантиомеров;
- методы получения стереоизомеров и определение их пространственной конфигурации;
- стереохимию алканов, циклоалканов, соединений с кратными углерод-углеродными связями, стереохимию соединений азота, фосфора, серы, стереохимию протекания реакций радикального, нуклеофильного и электрофильного замещения у насыщенного и ненасыщенного атома углерода, реакций моно- и бимолекулярного элиминирования и присоединения по связям углерод-углерод и углерод-гетероатом;
- особенности пространственного строения органических соединений различных классов в зависимости от специфичности их электронного строения и природы заместителей, входящих в их состав;
- влияние строения на реакционную способность органических соединений;
- физико-химические методы исследования строения оптически активных веществ и стереоизомеров;
- терминологию и правила построения химических названий органических соединений по номенклатуре IUPAC;
- современную периодическую литературу (журналы) и электронные базы данных в области органической стереохимии и методы поиска литературных данных по свойствам и получению оптически активных веществ;
- роль и место органической стереохимии в системе фундаментальных химических наук и производстве современной инновационной продукции.

Уметь:

- выбирать методы и реагенты для осуществления направленных стереохимических превращений;
- проводить разделение смесей стереоизомеров и идентификацию их состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа;
- представлять изомеры с помощью проекционных формул Ньюмена и Фишера, пользоваться этими формулами, определять конфигурацию асимметрического центра;
- составлять формулы по названию органических соединений и составлять названия по формулам;
- осуществлять поиск методов получения и свойств оптически активных соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем.

Иметь опыт:

- планирования и проведения экспериментов в области органической стереохимии;
- выделения в индивидуальном виде индивидуальных стереоизомеров (диастереомеров, энантиомеров) 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	Основы стереохимии	108	36	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	Основные положения стереохимии.	8	1	-	1	3	3	Устный групповой опрос
2	Стереои́зомеры.	10	2	-	2	3	3	Устный групповой опрос
3	Конфигурация.	10	1	-	2	3	4	Устный групповой опрос
4	Гетеротопные заместители и стороны, простереоизомерия и прохиральность.	11	2	-	2	3	4	Устный групповой опрос, решение задач
5	Сtereохимия алкенов.	12	2	-	2	4	4	Устный групповой опрос
6	Конформации ациклических молекул.	12	2	-	2	4	4	Устный групповой опрос
7	Конфигурация и конформация циклических молекул.	11	2	-	2	4	3	Устный групповой опрос
8	Хирооптические свойства.	11	2	-	2	4	3	Устный групповой опрос
9	Хиральность молекул, не имеющих хиральных центров.	12	2	-	2	4	4	Устный групповой опрос, решение задач
10	Сtereохимия тетраэдрических элементов.	11	2	-	1	4	4	Устный групповой опрос, решение задач
Всего часов:		108	18	-	18	36	36	

4.2.2 Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Основные положения стереохимии.

Введение. Место стереохимии в органической химии. Исторический обзор. Поляриметрия и оптическое вращение. Структура, основные понятия, изомеры, конфигурация, конформация. Определение структуры.

Тема 2. Стереои́зомеры.

Природа стереоизомеров. Энантиомеры, Диастереомеры. Физические и спектральные свойства диастереомеров. Природа рацематов. Свойства рацематов и образующих их энантиомерных компонентов. Определение энантиомерного и диастереомерного состава. Разделение стереоизомеров. Разделение энантиомеров при кристаллизации. Химическое разделение энантиомеров через диастереомеры. Энантиомерное обогащение и стратегия расщепления. Кинетическое расщепление. Прочие различные методы разделения энантиомеров. Рацемизация.

Тема 3. Конфигурация.

Абсолютная конфигурация и ее обозначения. Определение абсолютной конфигурации. Относительная конфигурация и обозначения. Определение относительной конфигурации насыщенных алифатических соединений.

Тема 4. Гетеротопные заместители и стороны, простереоизомерия и прохиральность.

Гомотопные и гетеротопные заместители и стороны. Гетеротопность и ядерный магнитный резонанс. Гетеротопные заместители и стороны в реакциях, катализируемых ферментами.

Тема 5. Стереохимия алкенов.

Структура алкенов и природа цис- и транс-изомерии. Определение конфигурации цис- и транс-изомеров. Взаимопревращения цис- и транс-изомеров, положение равновесия и методы изомеризации.

Тема 6. Конформации ациклических молекул.

Конформации насыщенных ациклических молекул. Конформации ненасыщенных ациклических соединений. Физические и спектральные свойства конформеров. Конформации и реакционная способность.

Тема 7. Конфигурация и конформация циклических молекул.

Стереоизомерия и конфигурационная номенклатура циклических соединений. Определение конфигурации замещенных циклических соединений. Устойчивость циклических молекул. Конформационные аспекты химии трехчленных, четырехчленных, пятичленных, шестичленных соединений и циклов большого размера. Стереохимия конденсированных, мостиковых и каркасных циклических систем.

Тема 8. Хирооптические свойства.

Оптическая активность и анизотропная рефракция. Круговой дихроизм и анизотропное поглощение. Применение дисперсии оптического вращения и кругового дихроизма. Применение оптической активности.

Тема 9. Хиральность молекул, не имеющих хиральных центров.

Аллены. Алкилиденциклоалканы. Спираны. Бифенилы и атропоизомерия. Молекулярные пропеллеры. Гелицены. Молекулы с планарной хиральностью.

Тема 10. Стереохимия тетраэдрических элементов.

Стереохимия соединений азота, кремния, фосфора и серы.

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.

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 «Основы стереохимии». Форма аттестации –зачет.

Список вопросов для проведения текущего контроля и устного опроса обучающихся:

1. Дайте определения терминам «строение» и «конфигурация ». Чем отличаются приводимые ниже соединения строением или конфигурацией?

а) Молочная кислота $\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$ (вращение не указано) и β -гидроксипропановая кислота $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$;

б) (+)- и (-)-молочные кислоты;

в) (-)-молочная и β -гидроксипропановая кислоты;

г) 3- и 4-метилциклогексанола;

д) Цис- и транс-3-метилциклогексанола;

е) (+)- и (-)-Цис-3-метилциклогексанола;

ж) Цис- и транс-4-метилциклогексанола;

з) 1-хлорпропен ClCH=CHCH_3 , 2-хлорпропен $\text{CH}_2=\text{CClCH}_3$ и 3-хлорпропен (хлористый аллил) $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}$;

и) Цис- и транс-1-хлорпропены.

2. Что такое стереоизомеры? Имеют они разное строение или нет?

3. Вспомните одно важное экспериментальное и одно теоретическое открытия, сделанные Пастером.

4. Дайте определения следующим понятиям: а) хиральный центр, б) энантиомер, в) рацемическая модификация. Приведите примеры.

5. Приведите примеры хирального и ахирального соединений. Будет ли молекула взятого в качестве примера хирального соединения асимметричной? Если да, то приведите пример хирального соединения, молекула которого не является асимметричной.

6. Укажите, являются ли приведенные ниже пары соединений энантиомерами или диастереомерами:

- а) (+)- и (-)-винные кислоты;
- б) (-)-винная и мезовинная кислоты;
- в) Цис- и транс-1,2-дихлорэтилены ClCH=CHCl ;
- г) (+)- и (-)-цис-3-метилциклогексанола;
- д) Цис- и транс-3-метилциклогексанола;
- е) кристаллическая (-)-винная кислота и кристаллическая рацемическая винная кислота.

7. По каким свойствам отличаются энантиомеры, по каким свойствам отличаются диастереомеры:

а) температура кипения, б) температура плавления, в) ИК-спектр, г) спектр ЯМР, д) УФ-спектр, е) оптическое вращение, ж) дисперсия оптического вращения или круговой дихроизм, з) показатель преломления, и) дипольный момент, к) свободная энергия, л) реакционная способность по отношению к ахиральным химическим реагентам, м) реакционная способность по отношению к хиральным химическим реагентам, в частности, ферментам?

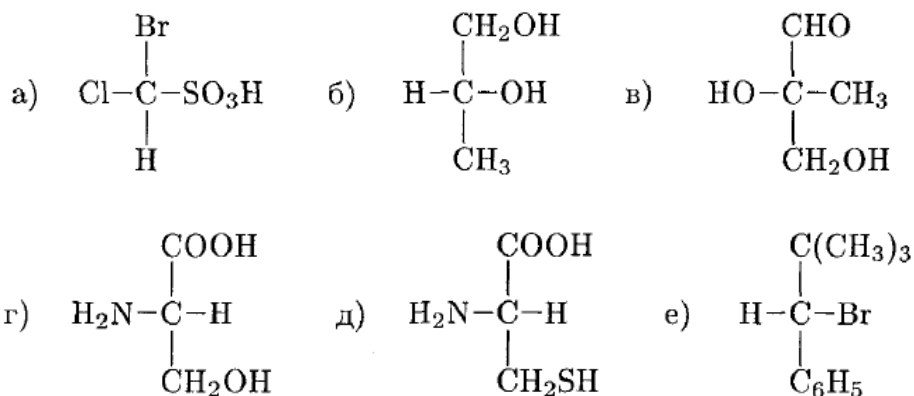
8. В литературе часто употребляется термин Цис- транс –изомерия (или геометрическая изомерия). Соответствует ли этот термин понятию энантиомерии или диастереомерии?

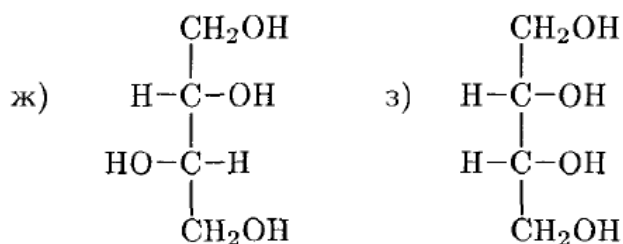
9. Нарисуйте проекционные формулы Фишера для следующих соединений:

- а) хлорбромметансульфокислота (любой энантиомер);
- б) мезо-2,3-дибромбутан;
- в) оптически активный 2,3-дибромбутан (любой энантиомер);
- г) эритро-пентандиол-2,3 (любой энантиомер);
- д) трео-пентандиол-2,3 (любой энантиомер).

10. Изобразите все три проекционные формулы Ньюмена для мезо-2,3-дибромбутана.

11. Укажите конфигурацию (R или S) следующих соединений:



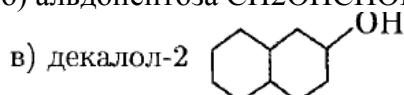


12. Напишите проекционные формулы Фишера для следующих соединений:

- (R)-молочная кислота (2-гидроксипропановая кислота);
- (S)-аланин (2-аминопропановая кислота);
- (R)-1-фенилэтанол,
- (S)-этанол-1-D;
- (R)-C₆H₅CHONHC₆H₄Cl-p;
- (R,R)-винная кислота;
- (S)-3-метилпентен-1;
- (R,R)-циклогександиол-1,3.

13. Сколько стереоизомеров, т. е. d,l-пар (половина от числа энантиомеров), мезо- или неактивных изомеров возможно для следующих соединений:

- эфедрин C₆H₅CHONCH(NHCH₃)CH₃;
- альдопентоза CH₂OHCHONCHONCHONCHO;



- дигидробензоин (1,2-дифенилэтандиол-1,2) C₆H₅CHONCHONHC₆H₅;
- CH₃CHClCHClCHClCH₃;
- 3-метилциклогексанол;
- 4-метилциклогексанол;
- 1,3-диметилциклогексан;
- 1,3,5-триметилциклогексан.

14. Можно ли говорить о рацемической молекуле? Объясните, что такое рацемическая модификация?

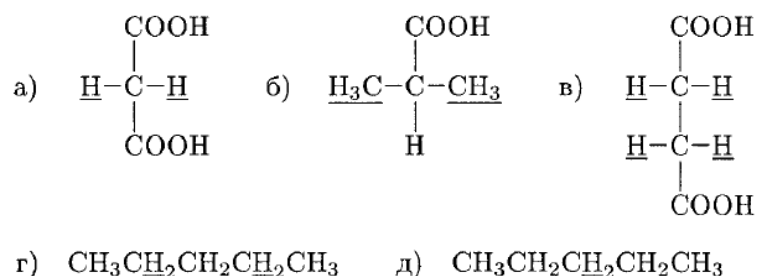
15. Как отличаются энтальпии чистого энантиомера (в разбавленном растворе идеального растворителя) и рацемической модификации (в аналогичном растворе)? Как отличаются энтропии и свободные энергии? Является ли рацемизация энергетически выгодным процессом?

16. Присоединение циановодорода к бензальдегиду с последующим кислотным гидролизом приводит к миндальной кислоте C₆H₅CHONCOOH. Бромирование фенилуксусной кислоты C₆H₅CH₂COOH с последующим гидролизом также дает миндальную кислоту. Будет ли полученная в обоих случаях миндальная кислота оптически активной? Ответ поясните. Как можно получить оптически активную миндальную кислоту в лаборатории, если указанные выше методы не пригодны?

17. Для расщепления аминокислот используют ацилазу из почек свиньи. Сначала ацилируют рацемическую аминокислоту, затем ациламинокислоту гидролизуют в присутствии фермента и свободную кислоту отделяют от ацильного производного ее энантиомера. Обнаружено, что полученная таким путем оптически активная аминокислота имеет

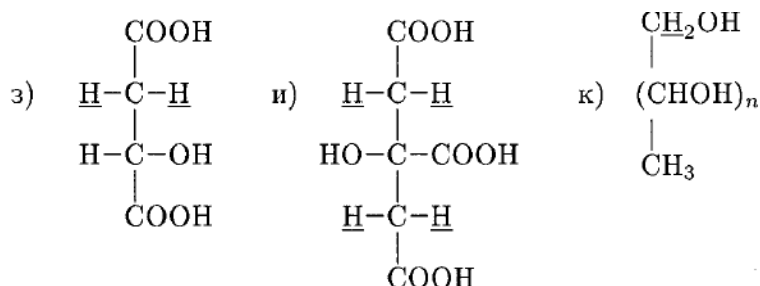
конфигурацию природного энантиомера (обычно В), а оставшаяся ациламинокислота соответствует неприродному (R)-изомеру. Объясните этот факт.

18. Укажите, являются ли подчеркнутые атомы или группы в приведенных ниже соединениях эквивалентными «гомотопными», энантиотопными или диастереотопными:



е) атомы водорода CHOH-групп в мезовинной кислоте;

ж) атомы водорода CHOH-групп в (-)-винной кислоте;



Для всех соединений, приведенных в задании, укажите:

а) будут ли подчеркнутые протоны давать в спектре ЯМР одинаковые или разные сигналы;

б) будут ли они эквивалентны по отношению к ферменту.

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

Показатели	Критерии оценивания	Средства оценивания
Знать: основные и углубленные положения стереохимии (хиральность, конфигурация и конформация), стереохимическую номенклатуру, номенклатуру конформеров, диастереомеров и энантиомеров (ПК 3);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40%	вопросы 1-18;
методы получения стереоизомеров и определение их пространственной конфигурации (ПК 3);	<i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70%	вопросы 1-18;
стереохимию алканов, циклоалканов, соединений с кратными углерод-углеродными связями, стереохимию соединений азота, фосфора, серы, стереохимию протекания реакций	<i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 1-18;

радикального, нуклеофильного и электрофильного замещения у насыщенного и ненасыщенного атома углерода, реакций моно- и бимолекулярного элиминирования и присоединения по связям углерод-углерод и углерод-гетероатом (ПК 3);		
особенности пространственного строения органических соединений различных классов в зависимости от специфичности их электронного строения и природы заместителей, входящих в их состав (ПК 3);		вопросы 1-18;
влияние строения на реакционную способность органических соединений (ПК 3);		вопросы 1-18;
физико-химические методы исследования строения оптически активных веществ и стереоизомеров (ПК 3);		вопросы 1-18;
терминологию и правила построения химических названий органических соединений по номенклатуре IUPAC (ПК 3);		вопросы 1-18;
современную периодическую литературу (журналы) и электронные базы данных в области органической стереохимии и методы поиска литературных данных по свойствам и получению оптически активных веществ (ПК 3);		вопросы 1-18;
роль и место органической стереохимии в системе фундаментальных химических наук и производстве современной инновационной продукции (ПК 3).		вопросы 1-18;
Уметь: выбирать методы и реагенты для осуществления направленных стереохимических превращений (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 1-18;
проводить разделение смесей стереоизомеров и идентификацию их состава и строения с помощью химических и физико-химических методов анализа (ПК 3);		вопросы 1-18;
представлять изомеры с помощью проекционных формул Ньюмена и Фишера, пользоваться этими формулами, определять конфигурацию асимметрического центра (ПК 3);		вопросы 1-18;
составлять формулы по названию органических соединений и составлять названия по формулам (ПК 3);		вопросы 1-18;

осуществлять поиск методов получения и свойств оптически активных соединений с использованием современных баз данных и поисковых систем (ПК 3).		вопросы 1-18;
Иметь опыт: планирования и проведения экспериментов в области органической стереохимии (ПК 3);	<i>низкий уровень:</i> имеет слабый уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 35-40%	вопросы 1-18;
выделения в индивидуальном виде индивидуальных стереоизомеров (диастереомеров, энантиомеров) и идентификации их строения с использованием химических и физико-химических методов (ПК 3);	<i>средний уровень:</i> имеет хороший уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями 41-70%	вопросы 1-18;
написания научных отчетов и статей (ПК 3).	<i>высокий уровень:</i> имеет отличный уровень теоретической и профессиональной подготовки, степень владения компетенциями больше 71%	вопросы 1-18;

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

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература

1. Илиел, Э. Основы органической стереохимии / Э. Илиел. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 703 с.
2. 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.

Дополнительная литература

1. Бердетт, Дж. Химическая связь: пер. с англ. / Дж. Бердетт. – М.: Мир; Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 245 с.
2. 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.
3. Гусарова, Н. К. Химия ацетилена: Новые главы / Н. К. Гусарова, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, А. Г. Малькина. – Новосибирск: Наука, 2013. – 368 с.
4. Жауен, Ж. Биометаллоорганическая химия / Ж. Жауен. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 496 с.
5. Коваленко, Л. В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие / Л. В. Коваленко. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014 – 229 с.
6. 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.
7. 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.

8. 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.
9. Романовский, Б. В. Основы катализа: учебное пособие / Б. В. Романовский. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
10. Семенов, А. А. Биологическая активность природных соединений / А. А. Семенов, В. Г. Карцев. – М.: МБФНП, 2012. – 520 с.
11. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 557 с.
12. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза. Учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
13. Титце, Л. Domino-реакции в органическом синтезе / Л. Титце, Г. Браше, К. Герике; пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 671 с.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Трофимов, Б. А. Химия пиррола. Новые страницы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, Е. Ю. Шмидт, Л. Н. Собенина. – Новосибирск: Наука, 2012. – 383 с.
18. Хельвинкель, Д. Систематическая номенклатура органических соединений / Д. Хельвинкель. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 232 с.
19. Чернова, С. В. Фармацевтическая химия: учебник для вузов / С. В. Чернова; под ред. Г. В. Раменской. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 472 с.
20. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия / К. Эльшенбройх. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 750 с.
21. Юровская, М. А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 208 с.

Электронные ресурсы

1. Зыкова, М.В. Органическая химия. Пространственное строение органических соединений [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В. Зыкова, Г.А. Жолобова, О.Ф. Прищепова. — Электрон. дан. — Томск: СибГМУ, 2016. — 86 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105887>. — Загл. с экрана.
2. Камышов, В.М. Строение вещества [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.М. Камышов, Е.Г. Мирошникова, В.П. Татауров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 236 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105983>. — 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. 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.

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, tandemный 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:

Гусев / Рожнев И. Б. /