

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ПОДТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

А.В. Толстикова

29 июля 2022 г.

**ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности

1.4.3. Органическая химия

форма обучения (очная)

Кулаков И. В. Органическая химия. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 1.4.3. Органическая химия, форма обучения (очная). Тюмень, 2022.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, утверждены приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г., № 951.

Рабочая программа дисциплины (модуля) Органическая химия. опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)**

### **Цель дисциплины:**

изучение истории развития, современного состояния и перспективных направлений теоретической органической химии и практики тонкого органического синтеза, что необходимо для эффективного освоения основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура) по научной специальности 1.4.3. Органическая химия и подготовки кандидатской диссертации.

### **Задачи дисциплины:**

ознакомление с историей развития органической химии и ее современное состояние; понимание роли и значения органического синтеза в различных областях производства и научных исследований;

знание теоретических и методологических проблем современной органической химии, перспективных направлений развития органической химии;

использование методов физико-химического анализа в установлении структуры органических соединений и решения других динамических задач.

## **2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины**

ПК-7 - способность использовать знания законов и теорий органической химии в самостоятельной научно-исследовательской деятельности по направленному синтезу соединений с полезными свойствами или новыми структурами, в установлении их структуры, в исследовании реакционной способности и получении научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 1.4.3. Органическая химия.

ПК-8 - готовность использовать современную научную аппаратуру и современные методы физико-химического анализа при проведении научных исследований;

ПК-9 - способность представлять результаты научно-исследовательской работы в виде краткого доклада, презентации, научного отчета, научной публикации (обзоры, статьи, тезисы докладов), автореферата кандидатской диссертации в соответствии с принятыми в области органической химии нормами и правилами.

В результате освоения ОП выпускник должен обладать следующими компетенциями:

- **Знать:** основы теории строения органических соединений, ее связь с химическими свойствами; основы стереохимии и конформационного анализа; механизмов органических реакций и методов их исследования, особенности методов синтеза и химических свойств различных классов органических соединений, законы химии и экспериментальные факты, лежащие в их основе: основные теоретические концепции химии (периодическая система элементов, строение атома, квантово-механическая электронная теория, кинетика и термодинамика, катализ, реакционная способность молекул).

- **Уметь:** применять теоретические основы к описанию механизмов органических реакций, выбирать наиболее подходящие методы синтеза и идентификации, планировать наиболее приемлемый метод синтеза описанного в литературе соединения, решать конкретные проблемы органической, физической и аналитической химии, касающиеся синтеза, химических превращений органических соединений и методов анализа с участием органических соединений.

- **Владеть:** основными методами органического синтеза, методами и приемами работы со специальной посудой и приборами по определению основных физико-химических свойств синтезируемых веществ; дополнительной литературой; интернет-ресурсами, методами экспериментальной химии; классическими методами качественного и количественного анализа органических веществ; способами интерпретации результатов, электронными базами данных.

### 3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
			5
<b>Общий объем</b>	<b>зач. ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
	<b>час</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
Из них:			
<b>Часы аудиторной работы (всего):</b>		<b>32</b>	<b>32</b>
Лекции		<b>16</b>	<b>16</b>
Практические занятия		<b>16</b>	<b>16</b>
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося</b>		<b>76</b>	<b>76</b>
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен)		<b>36</b>	Кандидатский экзамен <b>36</b>

### 4. Система оценивания

Аспиранты сдают экзамен в устной форме комиссии, состоящей из трех преподавателей, имеющих специализацию в области органической химии (один из которых имеет степень доктора наук), по вопросам билетов, сформированных из вопросов, приведенных в приложении 1.

Экзамен проходит в устной форме, в билете два вопроса, аспиранту дается 60 минут на подготовку к вопросам.

При выставлении оценки на экзамене комиссия должна руководствоваться следующими критериями:

Оценки *«отлично»* заслуживает аспирант, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой. На все вопросы билета даны полные ответы. Содержание ответов свидетельствует об уверенных знаниях аспиранта и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.

Оценки *«хорошо»* заслуживает аспирант, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные программные задания. На все вопросы билета даны ответы, причем на большую часть вопросов даны полные ответы. Содержание ответов свидетельствует о достаточных знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.

Оценки *«удовлетворительно»* заслуживает аспирант, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой. На все вопросы билета даны ответы, но на большую часть вопросов даны неполные ответы. Содержание ответов свидетельствует о недостаточных знаниях аспиранта.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется аспиранту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Нет ответа на один вопрос билета. Содержание ответов свидетельствует о слабых знаниях аспиранта и о его неумении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.

### 5. Содержание дисциплины

#### 5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контакт- ной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные / практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Предмет органической химии. Теоретические представления в органической химии	2	2	0	0	0
2	Ациклические углеводороды	2	2	0	0	0
3	Алициклические углеводороды	2	2	0	0	0
4	Галогенпроизводные углеводородов	4	0	4	0	0
5	Ароматические карбоциклы	2	2	0	0	0
6	Кислородсодержащие производные углеводородов	8	4	4	0	0
7	Азотсодержащие производные углеводородов	4	4	0	0	0
8	Гетероциклические соединения	4	0	4	0	0
9	Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений	4	0	4	0	0
10	Консультация перед экзаменом	2	0	0	0	2
11	Кандидатский экзамен	34	0	0	0	34
	Итого (часов)	68	16	16	0	36

## 5.2. Содержание дисциплины (модуля) по темам

### Планы лекционных занятий

**Тема 1.** Предмет органической химии. Теоретические представления в органической химии

**Предмет органической химии.** Предмет органической химии и основные этапы ее развития. Способы изображения молекул органических соединений, структурные и электронные формулы (Льюис). Типы углеродного скелета, ациклические, циклические и гетероциклические соединения. Изомерия и ее виды. Гомология. Основные функциональные группы. Классификация органических соединений. Основы номенклатуры органических соединений. Заместительная номенклатура, ИЮПАК. Понятия родоначальной структуры, характеристических групп. Названия нефункциональных заместителей, функциональных групп, предельных, непредельных, ароматических радикалов. Старшинство функциональных групп. Основные правила составления заместительных названий

органических соединений, выбор и нумерация главной цепи, правило наименьших локантов. Названия основных классов органических соединений, сложных поли- и гетерофункциональных соединений

**Теоретические представления в органической химии.** Основные положения теории строения органических соединений, электронной теории, основные принципы квантовой органической химии. Валентность атомов. Типы гибридизации атома углерода в органических соединениях, теория взаимного отталкивания электронных орбиталей. s- и р-связи атомов углерода, физические характеристики связей: длина, валентные углы, энергия, полярность, поляризуемость, дипольный момент, потенциал ионизации. Гомолитический и гетеролитический разрыв связи. Классификация реагентов и реакций. Промежуточные частицы (интермедиаты): радикалы, карбокатионы, карбанионы, карбены, нитрены, арины и др.). Электронное и пространственное строение промежуточных частиц. Электронные эффекты заместителей. Индуктивный и мезомерный эффекты и способы изображения этих эффектов. Примеры групп с +I, -I, +M и -M-эффектами. Эффект гиперконъюгации (сверхсопряжения). Влияние электронных эффектов заместителей на стабильность и реакционную способность органических соединений и промежуточных частиц. Резонансные структуры, правила их построения. Кислоты и основания (Брэнстед, Льюис). Сопряженные кислоты и сопряженные основания. Кислотно-основные равновесия на примере спиртов, простых эфиров, карбоновых кислот, кетонов и аминов. Константа кислотности  $pK_a$ , константа основности  $pK_b$ . Влияние заместителей в молекуле на кислотность и основность органических соединений. Теория жестких и мягких кислот и оснований (ЖМКО).

## **Тема 2. Ациклические углеводороды**

**Алканы.** Гомологический ряд, изомерия и номенклатура. Природные источники алканов. Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, синтез через литий-диалкилкупраты, электролиз солей карбоновых кислот, восстановление карбонильных соединений, из галогеналканов (реакция Вюрца, протолиз реактивов Гриньяра). Природа C-C и C-H связей в алканах. Конформации этана, пропана, бутана и высших алканов. Энергетическая диаграмма конформационного состояния молекулы алкана. Химические свойства: реакции галогенирования (хлорирование, бромирование, иодирование, фторирование). Энергетика цепных свободнорадикальных реакций галогенирования. Нитрование (Коновалов), сульфохлорирование и окисление. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов (дейтериевый обмен, галогенирование и нитрование в суперкислой среде).

**Алкены.** Гомологический ряд, изомерия и номенклатура. Геометрическая изомерия (цис-, транс- и Z-, E-номенклатура). Природа двойной связи. Молекулярные p-орбитали этилена. Методы синтеза: элиминирование галогеноводорода из алкилгалогенидов, воды из спиртов, дегалогенирование виц-дигалогеналканов. Реакция Гофмана, Виттига, стереоселективное восстановление алкинов. Реакция Мак Мури. Химические свойства алкенов. Ряд стабильности алкенов, выведенный на основе теплот гидрирования. Гетерогенное и гомогенное гидрирование алкенов. Электрофильное присоединение (AdE). Общее представление о механизме реакций, p- и s-комплексы, ониевые ионы. Стере- и региоселективность. Правило В.В.Марковникова, индуктивный и мезомерный эффекты. Галогенирование: механизм, стереохимия. Процессы, сопутствующие AdE -реакциям: сопряженное присоединение, перегруппировки промежуточных карбокатионов. Гидрогалогенирование: понятие о би- и тримолекулярных механизмах. Гидратация. Промышленный метод синтеза спиртов из алкенов. Гидрокси- и алкоксимеркурирование. Метатезис алкенов. Вакер-процесс. Регио- и стереоселективное присоединение гидридов бора. Превращение борорганических соединений в алканы, спирты, алкилгалогениды. Окисление алкенов до оксиранов (Прилежаев) и до диолов по Вагнеру ( $KMnO_4$ ) и Криге ( $OsO_4$ ). Стереохимия гидроксирования алкенов. Озонолиз алкенов, окислительное и восстановительное расщепление озонидов. Исчерпывающее окисление алкенов с помощью

KMnO<sub>4</sub> и бихроматов. Радикальные реакции: присоединение бромистого водорода по Харацу (механизм), присоединение тетрагалогенметанов к алкенам и аллильное галогенирование. Молекулярные p-орбитали аллильной системы. Радикальная и координационная (металлокомплексная) полимеризация алкенов.

**Алкадиены.** Типы диенов. Изолированные, кумулированные и сопряженные диены. Изомерия и номенклатура. Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрированием алканов, гидрокупрированием алкинов. Синтез Фаворского-Реппе и Лебедева. Бутадиен-1,3, особенности строения. Молекулярные орбитали 1,3-диенов. Химические свойства 1,3-диенов. Галогенирование и гидрогалогенирование 1,3-диенов. Аллильный катион, его p-орбитали. 1,2- и 1,4-присоединение, энергетический профиль реакции, термодинамический и кинетический контроль. Полимеризация диенов. Натуральный и синтетический каучуки. Реакция Дильса-Альдера с алкенами и алкинами, стереохимия реакции и ее применение в органическом синтезе. Участие низших свободных (НСМО) и высших заполненных молекулярных орбиталей (ВЗМО) реагентов в образовании переходного состояния реакции диенового синтеза. Строение аллена, реакции присоединения к аллена.

**Алкины.** Гомологический ряд, номенклатура и изомерия. Природа тройной связи. Методы синтеза алкинов с помощью реакций отщепления, алкилирования терминальных ацетиленов. Получение ацетилена пиролизом метана. Химические свойства алкинов. Электрофильное присоединение к алкинам. Сравнение реакционной способности алкинов и алкенов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация алкинов (М.Г.Кучеров), присоединение карбоновых кислот. Восстановление алкинов до *цис*- и *транс*-алкенов. Гидроборирование алкинов, синтез альдегидов и кетонов. СН-кислотность ацетилена. Ацетилениды натрия и меди, магнийорганические производные алкинов (Иоцич): их получение и использование в органическом синтезе.

Конденсация терминальных алкинов с кетонами и альдегидами (Фаворский, Реппе). Ацетилен-алленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди.

### **Тема 3. Алициклические углеводороды**

Циклоалканы и их производные. Классификация алициклов. Энергия напряжения циклоалканов и ее количественная оценка на основании сравнения теплот образования и теплот сгорания циклоалканов и соответствующих алканов. Типы напряжения в циклоалканах и подразделение циклов на малые, обычные, средние циклы и макроциклы. Строение циклопропана, циклобутана, циклопентана, циклогексана. Конформационный анализ циклогексана. Аксиальные и экваториальные связи в конформации "кресло" циклогексана. Конформации моно- и дизамещенных производных циклогексана. Влияние конформационного положения функциональных групп в циклоалканах на их реакционную способность на примере реакций замещения, отщепления. Методы синтеза циклопропана, циклобутана и их производных. Особенности химических свойств соединений с трехчленным циклом. Синтез соединений ряда циклопентана и циклогексана. Реакции расширения и сужения цикла при дезаминировании первичных аминов (Н.Я.Демьянов). Синтез соединений со средним и большим размером цикла (сложноэфирная и ацилоиновая конденсации). Трансаннулярные реакции. Представление о природных полициклических системах терпенов и стероидов. Каркасные соединения: адамантан, кубан, призман, тетраэдран.

### **Тема 5. Ароматические карбоциклы**

*Концепция ароматичности.* Ароматичность. Строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Аннулены. Аннулены ароматические и неароматические. Правило Хюккеля. Ароматические катионы и анионы. Конденсированные ароматические углеводороды: нафталин, фенантрен, антрацен, азулен и др. Гетероциклические пяти- и шестичленные ароматические соединения (пиррол, фуран, тиофен, пиридин). Антиароматичность на примере циклобутадиена, катиона циклопентаденилия. Получение ароматических углеводородов в промышленности - каталитический риформинг нефти,

переработка коксового газа и каменноугольной смолы. Лабораторные методы синтеза: реакция Вюрца-Фиттига и другие реакции кросс-сочетания, алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу, восстановление жирноароматических кетонов (Реакция Кижнера-Вольфа и Клемменсена), протолиз арилмагнийгалогенидов. Свойства аренов. Каталитическое гидрирование аренов, восстановление аренов по Бёрчу, фотохимическое хлорирование бензола. Реакции замещения водорода в боковой цепи алкилбензолов на галоген, нитрогруппу. Окисление алкилбензолов и конденсированных ароматических углеводов до карбоновых кислот, альдегидов и кетонов.

**Электрофильное замещение в ароматическом ряду.** Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Общие представления о механизме реакций. Представление о  $\pi$ - и  $\sigma$ -комплексах. Структура переходного состояния. Изотопный обмен водорода как простейшая реакция электрофильного замещения. Арениевые ионы в реакциях электрофильного замещения. Влияние природы заместителя на ориентацию и скорость реакции электрофильного замещения. Электронодонорные и электроноакцепторные заместители. Согласованная и несогласованная ориентация двух или нескольких заместителей в ароматическом кольце. Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование нафталина, бифенила и других аренов. Получение полинитросоединений. Понятие об ипс-атаке и ипс-замещении в реакциях нитрования. Влияние алкильных групп на скорость и положение реакции. Галогенирование. Галогенирующие агенты. Механизм реакции галогенирования аренов и их производных. Сульфирование. Сульфирующие агенты. Механизм реакции. Кинетический и термодинамический контроль в реакции сульфирования на примере фенола и нафталина. Обратимость реакции сульфирования. Превращения сульфогруппы. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Побочные процессы - изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Синтез диарил- и триарилметанов. Триарилметилкатионы, анионы и радикалы. Методы их генерирования и стабильность. Ацилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Формилирование по Гаттерману-Коху и другие родственные реакции. Нафталин, фенантрен, антрацен. Реакции гидрирования, и электрофильного замещения. Антрацен как диенофил.

**Электрофильное замещение у  $sp^2$  гибризованного атома углерода.** Общие представления о механизме нуклеофильного замещения при  $sp^2$ -гибризованном атоме углерода. Механизм отщепления-присоединения на примере превращения галогенбензолов в фенолы и ароматические амины. Методы генерирования и фиксации дегидробензола. Строение дегидробензола. Механизм присоединения-отщепления  $S_NAr$ , примеры реакций и активирующее влияние электроноакцепторных заместителей. Анионные  $\pi$ -комплексы Мейзенгеймера и их строение.  $S_{NI}$ -Механизм ароматического нуклеофильного замещения в реакциях гидролиза катиона арендиазония. Механизм  $SR_{NI}$  в ароматическом ряду и область его применения.

## **Тема 6. Кислородсодержащие производные углеводов**

**Спирты. Одноатомные спирты.** Методы получения: из алкенов, карбонильных соединений, галогеналканов, сложных эфиров и карбоновых кислот. Свойства спиртов. Спирты, как слабые ОН-кислоты. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора, хлористого тионила). Механизмы  $S_N1$ ,  $S_N2$ ,  $S_{Ni}$  и стереохимия замещения, гидридные перегруппировки карбокатионов (ретропинаколиновая перегруппировка). Дегидратация спиртов. Окисление первичных спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, вторичных спиртов до кетонов. Реагенты окисления на основе хромового ангидрида и двуокиси марганца. *Двухатомные спирты.* Методы синтеза. Свойства: окисление, ацилирование, дегидратация. Окислительное расщепление 1,2-диолов (йодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.



**Фенолы.** Методы получения. Свойства: фенолы как ОН-кислоты. Сравнение кислотного характера фенолов и спиртов, влияние заместителей на кислотность фенолов. Образование простых и сложных эфиров фенолов. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре фенолов: галогенирование, сульфирование, нитрование, нитрозирование, сочетание с солями диазония, ацилирование и алкилирование. Перегруппировка Фриса. Карбоксилирование фенолятов щелочных металлов по Кольбе. Формилирование фенолов по Реймеру-Тиману, по Вильсмайеру. Перегруппировка аллиловых эфиров фенолов (Л.Кляйзен).

**Простые эфиры.** Методы получения: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование алкенов, межмолекулярная дегидратация спиртов. Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами. Гидропероксиды. Получение и свойства а-галогенэфиров. Краун-эфиры. Получение и применение в синтетической практике. Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов. Краунэфиры в межфазном катализе.

**Альдегиды и кетоны.** Методы получения альдегидов и кетонов. Химические свойства. Общие представления о механизме нуклеофильного присоединения по карбонильной группе альдегидов и кетонов. Кислотность и основность карбонильных соединений. Кето-енольная таутомерия. *Реакции с нуклеофилами. Азотсодержащие производные карбонильных соединений. Реакции, протекающие через стадию образования енольных форм.* Кето-енольная таутомерия 1,3-дикетонов и 1,3-кетоефиров. Влияние структурных факторов и природы растворителя на положение кето-енольного равновесия и зависимость его от соотношения СН и ОН кислотности кетона и енола. Двойственная реакционная способность енолят-ионов. Реакция Кневенагеля. Альдольно-кратоновая конденсация, ее механизм при кислотном и основном катализе. Ограничения альдольно-кратоновой конденсации. Алкилирование и ацилирование енаминов. Эффект винилогии. Аминометилирование альдегидов и кетонов (Манних). *Окислительно-восстановительные превращения альдегидов и кетонов. a,b-Непредельные альдегиды и кетоны.* Методы получения: реакции конденсации, окисление аллиловых спиртов. Сопряжение карбонильной группы с двойной углерод-углеродной связью. Сопряженное присоединение енолятов (А.Михаэль).

#### **Тема 7. Азотсодержащие производные углеводов**

**Нитросоединения.** Нитроалканы. Методы синтеза из алкилгалогенидов (амбидентный характер нитрит-иона), нитрование алканов по Коновалову. Строение нитрогруппы. Свойства нитроалканов: кислотность и таутомерия, реакции нитроалканов с азотистой кислотой, галогенами, конденсация с карбонильными соединениями, восстановление в амины. Таутомерия нитросоединений и реакции аци-формы: гидролиз (реакция Неффа), перегруппировка в гидроксамовые кислоты. Ароматические нитросоединения. Восстановление нитроаренов в кислой и щелочной среде. Промежуточные продукты восстановления нитрогруппы (нитрозосоединения, арилгидроксиламины, азокси-, азо- и гидразосоединения). Бензидиновая перегруппировка. Образование комплексов с переносом заряда.

**Амины.** Классификация, изомерия, номенклатура аминов. Методы получения: алкилирование аммиака и аминов, из фталимида калия (З.Габриэль), восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса. Восстановительное аминирование карбонильных соединений. Взаимодействие альдегидов и кетонов с формиатом аммония (Лейкарт). Строение аминов, химические свойства. Амины как основания. Сравнение основных свойств ароматических и первичных, вторичных, третичных алифатических аминов. Влияние на основность аминов заместителей в ароматическом ядре. Алкилирование и ацилирование аминов. Термическое разложение гидроксидов тетраалкиламмония по Гофману. Взаимодействие первичных, вторичных и третичных алифатических и ароматических аминов с азотистой кислотой. Окисление и галогенирование

аминов. Реакции электрофильного замещения в бензольном ядре ароматических аминов, защита аминогруппы.

**Дiazосоединения.** *Общие представления об алифатических diaзосоединениях.* Диазометан, diaзоуксусный эфир,  $\alpha$ -diaзокарбонильные соединения. *Ароматические diaзосоединения.* Реакции diaзотирования первичных ароматических аминов. Условия diaзотирования в зависимости от строения амина. Механизм, природа нитрозирующего агента. Строение и устойчивость солей diaзония. Кислотно-основные равновесия с участием катиона арендиязония. *Реакции diaзосоединений с выделением азота:* замена diaзогруппы на гидроксил-, галоген-, циан-, нитрогруппу и водород. Реакции арилирования ароматических соединений солями арендиязония (Гомберг). *Реакции diaзосоединений без выделения азота:* восстановление до арилгидразинов, азосочетание. Азосочетание как реакция электрофильного замещения. Азо- и diaзосоставляющие, условия сочетания с аминами и фенолами. Азокрасители.

**Аминокислоты.** Номенклатура аминокислот. Способы получения. Природные аминокислоты. Хиральность аминокислот, образующих протеины. Кислотно-основные свойства, амфотерность аминокислот. Изоэлектрическая точка. Синтезы  $\alpha$ -аминокислот и разделение рацемических форм. Свойства аминокислот: по аминогруппе, карбоксилу, отношение аминокислот к нагреванию, окисление аминокислот. Основные принципы синтеза полипептидов; защита аминогруппы и активация карбоксильной группы. Твердофазный синтез пептидов.

## Планы семинарских (практических) занятий

### Тема 4. Галогенпроизводные углеводов

**Основы стереохимии.** Способы изображения пространственного строения молекул с  $sp^3$  – гибридным атомом углерода: проекции Ньюмена. Конформации, конформеры. Заслоненная (*син*-перипланарная), заторможенная (*анти*-перипланарная) скошенная (*гош*-) конформации. Асимметрический атом углерода. Хиральность, условия, необходимые для возникновения хиральности. Конфигурация, отличие от конформации. Оптическая изомерия, оптическая активность. Энантиомеры. Рацематы. Принцип R,S-номенклатуры. Определение порядка старшинства заместителей у хирального центра (правило Кана-Ингольда-Прелога). Абсолютная и относительная конфигурации. Способы разделения (расщепления) рацематов. Соединения с двумя хиральными центрами. Построение проекций Фишера. Диастереомеры. *Мезо*-формы. *Эритро*- и *трео*-номенклатура. Изображение молекулы данного соединения с помощью различных проекционных формул. Представление об оптической изомерии соединений, не содержащих асимметрического атома углерода.

**Алкилгалогениды. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода.** Изомерия, номенклатура. Способы получения из спиртов, алканов, алкенов; замещением атома одного галогена атомом другого, хлорметилирование аренов. Строение галогеналканов, характеристики связи C-галоген. *Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода* как метод создания связи углерод-углерод, углерод-азот, углерод-кислород, углерод-сера, углерод-фосфор (получение алкилгалогенидов, спиртов, тиолов, простых эфиров, нитросоединений, аминов, нитрилов, сложных эфиров и др.) Классификация механизмов реакций нуклеофильного замещения. Основные характеристики  $S_N1$  и  $S_N2$  реакций. Энергетический профиль реакций. *Реакции  $S_N2$ -типа.* Кинетика, стереохимия, вальденовское обращение. Понятие нуклеофильности. Влияние природы радикала субстрата, уходящей группы, природы нуклеофильного агента и растворителя на скорость  $S_N2$  реакций. Амбидентные ионы. Принцип ЖМКО. Метод межфазного переноса и его использование в органическом синтезе. *Реакции  $S_N1$ -типа.* Кинетика, стереохимия, зависимость  $S_N1$  процесса от природы радикала субстрата, уходящей группы, природы нуклеофильного агента и растворителя. Карбокатионы, факторы, определяющие их устойчивость. Перегруппировки карбокатионов. Методы генерирования карбокатионов. Понятие об ионных парах. Механизмы замещения галогена при  $sp^2$ -гибридном атоме углерода.

**Реакции элиминирования.** Реакции  $\alpha$ - и  $\beta$ -элиминирования. Классификация механизмов  $\beta$ -элиминирования:  $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_{1cb}$ . Направление элиминирования. Правила Зайцева и Гофмана. Стереохимия элиминирования: *син*- и *анти*-элиминирование. Влияние природы основания и уходящей группы на направление отщепления. Конкуренция процессов  $E_2$  и  $S_{N2}$ ,  $E_1$  и  $S_{N1}$ . Факторы, влияющие на эту конкуренцию. Использование реакций  $\beta$ -элиминирования в галогеналканах для синтеза алкенов, диенов и алкинов. Влияние конформационного положения функциональных групп в циклоалканах на их реакционную способность. Реакции  $\alpha$ -элиминирования. Генерирование карбенов. Карбены – частицы с двухкоординированным атомом углерода. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Понятие о карбеноидах. Взаимодействие галогеналканов с металлами (образование реактивов Гриньяра, реакция Вюрца).

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите способы разделения (расщепления) рацематов.
2. Основные отличия диастереомеров от энантиомеров.
3. Какие существуют еще оптические изомеры, не содержащие асимметрического атома углерода.
4. Приведите примеры реакций  $S_{N1}$  и  $S_{N2}$  нуклеофильного замещения.
5. Привести примеры жестких и мягких кислот и оснований в органической химии.
6. Охарактеризовать конкурирующие процессы  $E_2$  и  $S_{N2}$ ,  $E_1$  и  $S_{N1}$ .

#### **Тема 6. Кислородсодержащие производные углеводов**

**Карбоновые кислоты и их производные.** Методы синтеза. Сравнение C-H кислотности и активности C=O группы альдегидов, кетонов и производных карбоновых кислот. Основные пути превращений. Строение карбоксильной группы и карбоксилат-иона. Кислотность, ее зависимость от индуктивных эффектов заместителей, от характера и положения заместителей в алкильной цепи и бензольном ядре. Галогенирование кислот по Геллю-Фольгарду-Зелинскому. *Галогенангидриды*. Получение и свойства: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, гидразины, металлоорганические соединения). Взаимодействие диазометана с галогенангидридами карбоновых кислот (реакция Арндта-Айстерта). *Ангидриды*. *Кетен*. *Сложные эфиры*. Получение и свойства. Сложноэфирная (Л.Кляйзен) и ацилоиновая конденсации. Ацетоуксусный эфир и его использование в органическом синтезе. *Амиды*. Строение амидной (карбамоильной) группы. Методы получения и свойства. Понятие о секстетных перегруппировках. Перегруппировки Гофмана, Курциуса. *Нитрилы*. Методы получения и свойства: гидролиз, аммонолиз, восстановление до аминов, взаимодействие с магний- и литийорганическими соединениями. *Двухосновные кислоты*.  *$\alpha, \beta$ -непредельные кислоты*, *альдегиды и кетоны*. Методы синтеза и свойства.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Сравните кислотность простых и замещенных производных карбоновых кислот, ее зависимость от индуктивных эффектов заместителей, от характера и положения заместителей.
2. Сравните реакционную способность производных кислот. Ответ объясните.
3. Опишите методы синтеза разных классов производных кислот.
4. Сравните кислотные свойства в ряду двухосновных кислот, объясните ответ.

#### **Тема 8. Гетероциклические соединения.**

*Пятичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом.* Фуран, тиофен, пиррол. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (Пааль-Кнорр), синтез пирролов по Кнорру, взаимные переходы пятичленных гетероциклов (реакция Юрьева). Ароматичность. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Ориентация электрофильного замещения. Реакции, характеризующие фуран и пиррол как диены. *Индол*. Синтез производных индола из фенилгидразина и карбонильных соединений (Фишер).

Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование. *Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин, хинолин, изохинолин.* Синтез пиридинов по Ганчу. Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру-Миллеру. Ароматичность пиридина, молекулярные р-орбитали пиридина. Пиридин и хинолин как основания. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-Окись пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин). Активность метильной группы в 2- и 4-метилпиридинах и хинолинах. 2-Метилпиридины и хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Объясните ароматичность пятичленных гетероциклов с одним гетероатомом на примере фурана, тиофена, пиррола. Какой из гетероциклов более ароматичен? Почему?
2. Объясните  $\pi$ -избыточность фурана, тиофена, пиррола.
3. Сравните реакционную способность бензола и фурана, тиофена, пиррола в реакциях электрофильного замещения. Приведите конкретные примеры реакций, доказывающие этот факт.
4. Какой из данных пятичленных гетероциклов – фуран, тиофен, пиррол легче вступает в реакции Дильса-Альдера. Почему?
5. Объясните  $\pi$ -недостаточность пиридина, его реакционную способность в реакциях электрофильного замещения по сравнению с бензолом. Какие заместители усиливают реакционную способность в реакциях электрофильного замещения?

#### **Тема 9. Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений**

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.

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

Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, ЭПР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хромато-масс-спектрометрия.

Техника безопасности и экологические проблемы органического синтеза. «Зеленая химия».

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Провести ретросинтетический разбор на выбор любого производного гетероцикла.
2. Разобрать основные приемы и методы введения и удаления защитных групп.
3. Объясните основные методы синтеза и возможное применение элементоорганических соединений в синтезе разных классов органических соединений.
4. На чем основан металлокомплексный катализ? Его применение в синтезе органических соединений.
5. Провести анализ и установить структуру органического соединения с использованием комплекса спектров ЯМР-, ИК-спектроскопии и масс-спектрометрии.
6. Рассказать и объяснить на примере основные принципы и концепцию «зеленой химии».

#### **6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся**

№ Темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Предмет органической химии. Теоретические представления в органической химии	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Ациклические углеводороды	Чтение обязательной и дополнительной литературы
3	Алициклические углеводороды	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Галогенпроизводные углеводородов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
5	Ароматические карбоциклы	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Кислородсодержащие производные углеводородов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
7	Азотсодержащие производные углеводородов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Гетероциклические соединения.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
9	Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений	Чтение обязательной и дополнительной литературы

Формы контроля самостоятельной работы:

- чтение обязательной и дополнительной литературы – проверка и анализ конспектов лекций и учебной литературы, устные опросы и контрольные задания, доклады в виде презентаций на практических занятиях;

- подготовка презентаций и докладов – заслушивание и обсуждение устных докладов, сообщений, выступлений.

## 7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

### 7.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

#### Виды и характеристика оценочных средств

По окончании курса обучающимися сдается кандидатский экзамен, который проводится в форме собеседования. Собеседование имеет целью выявление уровня освоения дисциплины, характеризующего знания обучающегося в соответствии с определенными компетенциями. Экзамен принимается предметной комиссией, состоящей из 3 специалистов в области химических наук. Экзаменационные билеты содержат 2 вопроса. Процедура проведения экзамена предусматривает дополнительные вопросы. Результаты экзамена оцениваются по пятибалльной системе.

#### Вопросы к кандидатскому экзамену

1. Тетраэдрическая, тригональная и дигональная гибридизация атома углерода. Электронное строение и углы между направлением валентностей этана, этилена и ацетилен. Энергия, длина и поляризуемость связей в этане, этилене и ацетилене.

2. Теория строения органических соединений А.М. Бутлерова, основные положения, ее развитие. Электронные эффекты в органических соединениях: индукционный и мезомерный. Виды мезомерного эффекта:  $\pi$ - $\pi$  – сопряжение (бутадиен, бензол),  $p$ - $\pi$ –

сопряжение (хлористый винил, хлорбензол). Влияние электронных эффектов на физико-химические свойства органических соединений.

3. Виды изомерии органических соединений: структурная и пространственная (конформационная, геометрическая и оптическая). Причины, обуславливающие наличие разных видов изомерии. Примеры.

4. Классификация органических реакций. По направлению, по характеру реагирующих частиц или по типу разрыва связей. Примеры радикальных, нуклеофильных и электрофильных реагентов и реакций.

5. Алканы. Природные источники алканов. Строение и изомерия. Методы синтеза: промышленные и лабораторные. Химические свойства алканов. Реакции замещения: галогенирование, нитрование (М.И. Коновалов); селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов.

6. Циклоалканы. Строение. Теория напряжения Байера, теория ненапряженных циклов. Образование устойчивых 5-ти и 6-ти членных циклов — движущая сила реакций циклизации (диеновый синтез), особых свойств дикарбоновых кислот,  $\gamma$ -, $\delta$ -гидрокси- и аминокислот.

7. Алкены. Строение и изомерия (структурная и пространственная). Способы получения из нефти, алканов, галогеналканов, спиртов и алкинов. Химические свойства алкенов. Поляризуемость и радикализуемость  $\pi$ -связи. Реакции присоединения полярных и неполярных реагентов по электрофильному механизму; правило В.В. Марковникова, его объяснение.

8. Алкадиены. Классификация, изомерия. Получение бутадиена и изопрена. Электронное строение 1,3-бутадиена, энергия мезомерии. Химические свойства сопряженных диеновых углеводородов; механизм реакций электрофильного присоединения к бутадиену.

9. Полимеризация ненасыщенных углеводородов, ее типы. Понятие о стереоспецифических катализаторах К. Циглера и Дж. Натта. Изотактический, синдиотактический и атактический пропилен. Натуральный и синтетический каучук. Работы С.В. Лебедева.

10. Алкины. Промышленные и лабораторные способы получения ацетилен и его гомологов. Физические и химические свойства. Кислотные свойства алкинов. Реакции замещения. Реакции присоединения, общие с алкенами.

11. Ароматические углеводороды. Сравнительная характеристика реакций замещения ядра и боковой цепи: реакции галогенирования, нитрования и сульфирования. Условия реакций галогенирования в ядро и в боковую цепь.

12. Ароматические углеводороды, классификация. Изомерия, строение, ароматичность. Получение ароматических углеводородов в промышленности. Химические свойства ароматических углеводородов. Общий механизм реакций электрофильного замещения в ароматическом ядре, влияние заместителей на направление и скорость реакций.

13. Нефть, ее состав. Способы переработки: крекинг, ароматизация. Химизм процессов термokatалитической переработки нефти. Бензины. Октановое число. Углеводороды, получаемые из нефти.

14. Галогенопроизводные алканов. Классификация. Характер связи С-Гал. Реакции нуклеофильного замещения. Механизмы реакции гидролиза алкилгалогенидов. Различия в легкости замещения галогенов в галоидных алкилах, аллилах и винилах.

15. Спирты. Способы получения: из алканов, из галогеналканов, алкенов, сложных эфиров, с использованием реактива Гриньяра. Важнейшие представители спиртов, их применение; высшие природные спирты. Двух- и трехатомные спирты. Получение гликолей из этилена, из дигалогеналканов. Глицерин. Кислотные свойства одноатомных спиртов, образование гликолята меди.

16. Реакции нуклеофильного замещения спиртов, механизм реакций нуклеофильного замещения; сравнительная характеристика. Реакция элиминирования, правило А.М. Зайцева. Ароматические спирты.

17. Фенолы. Электронное строение фенола. Способы получения фенолов: промышленные и лабораторные. Химические свойства фенолов: ОН-группы и ароматического ядра. Сравнение кислотных свойств спиртов и фенолов.

18. Альдегиды и кетоны алифатического и ароматического рядов. Способы получения. Электронное строение карбонильной группы. Реакции нуклеофильного присоединения: получение бисульфитных производных, циангидринов; взаимодействие с азотсодержащими реагентами. Енолизация альдегидов и кетонов.

19. Альдольно-кетоновая конденсация карбонильных соединений. Окислительно-восстановительные реакции. Реакция Канниццаро. Качественные реакции на альдегиды.

20. Монокарбоновые кислоты. Строение карбоксильной группы. Физико-химические свойства кислот: ассоциация, влияние заместителей на кислотные свойства. Методы синтеза карбоновых кислот. Соли, их пиролиз и электролиз (синтез углеводов). Промышленное получение уксусной кислоты. Производные карбоновых кислот. Их взаимные переходы; относительная реакционная способность в реакциях нуклеофильного замещения. Реакции сложных эфиров. Жиры. Воски.

21. Дикарбоновые кислоты. Химические свойства кислот: общие с монокарбоновыми и особые (отношение к нагреванию). Малоновый эфир: кислотные свойства малонового эфира, применение в синтезах. Фталевые кислоты, их производные.

22. Углеводы. Моносахариды. Классификация. Изомерия моносахаридов. Химические свойства карбонильных и циклических форм. Явления таутомерии и эпимеризации. Дисахариды. Отличие химических свойств восстанавливающих и невосстанавливающих дисахаридов.

23. Алифатические и ароматические амины. Классификация. Методы получения. Восстановление нитробензола (работы Н.Н. Зинина). Сравнение основных свойств алифатических и ароматических аминов. Влияние заместителей на основность аминов в ароматическом ряду. Реакции ароматического ядра в аминах.

24. Аминокислоты. Изомерия, оптическая активность  $\alpha$ -аминокислот. Химические свойства аминокислот: амфотерность и образование биполярных ионов. Реакции алкилирования и ацилирования. Схема образования пептидной связи на примере Гли-Ала.

25. Промышленные методы получения органических веществ. Обоснование оптимальных условий ведения технологических процессов на примере промышленного производства этанола.

26. Гетероциклические соединения, классификация. Особенности строения. Кислотно-основные свойства. Химические свойства ядра (реакции  $S_E$  и  $S_N$ ) пиррола и пиридина.

27. Простые эфиры. Строение, номенклатура, методы получения и применение. Физические и химические свойства простых эфиров.

28. Нитросоединения. Изомерия, классификация и номенклатура нитросоединений жирного и ароматического рядов. Электронное строение нитрогруппы. Способы получения. Физические и химические свойства. Применение.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **8.1. Основная литература:**

1. Реутов, О. А. Органическая химия : учебник : в 4 частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. — 7-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 1 — 2017. — 570 с. — ISBN 978-5-00101-506-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94167> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Реутов, О. А. Органическая химия : учебник : в 4 частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. — 7-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 2 — 2017. — 626 с. — ISBN 978-5-00101-507-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94168> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Реутов, О. А. Органическая химия : учебник : в 4 частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 3 — 2017. — 547 с. — ISBN 978-5-00101-508-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94166> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Реутов, О. А. Органическая химия: учебник: в 4 частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 4 — 2016. — 729 с. — ISBN 978-5-00101-410-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/84139> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Юровская, М. А. Основы органической химии: учебное пособие / М. А. Юровская, А. В. Куркин. — 3-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2015. — 239 с. — ISBN 978-5-9963-2629-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/66365> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Грандберг, И. И. Органическая химия : учебник / И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. — 9-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-3901-0. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121460> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Грандберг, И. И. Органическая химия. Практические работы и семинарские занятия : учебное пособие / И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 360 с. — ISBN 978-5-8114-3902-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121459> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Смит, В. А. Основы современного органического синтеза : учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. — 5-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 753 с. — ISBN 978-5-00101-761-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135517> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Травень, В. Ф. Практикум по органической химии : учебное пособие / В. Ф. Травень, А. Е. Щекотихин ; под редакцией Н. С. Зефинова. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 571 с. — ISBN 978-5-00101-781-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135521> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **8.2. Дополнительная литература:**

1. Ингольд К. Теоретические основы органической химии. М.: Мир, 1973.
2. Марч Дж. Органическая химия, Т. 1-4. М.: Мир, 1987.
3. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. Ч. 1-4. М.: Изд-во МГУ, 1999.
4. Кери Ф., Сандберг Р. Углубленный курс органической химии. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1981.
5. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. Вводный курс. М.: Химия, 1977.
6. Джилкрист Т.Л. Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 1996.



7. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. Ростов-на-Дону: Феникс, 1979.

8. Титце Л., Айхер Т. Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. М.: Мир, 1999.

9. Э. Илиел, С. Вайлен, М. Дойл. Основы органической стереохимии. М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2007. 704 с.

10. В. Смит. Основы современного органического синтеза: Учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 750 с.

### **8.3. Интернет – ресурсы и периодические издания:**

<http://chemistry-chemists.com/Uchebniki.html>

<http://chemport.ru/>

<https://www.scopus.com/>

<http://moya-shkola.info/> <http://knigozilla.ru/>

<http://www.nofollow.ru/detail106408.htm>

### **8.4. Современные базы данных и информационные справочные системы:**

Для поиска необходимой литературы, научных статей и другой информации используются информационные справочные системы, в том числе и Электронно-библиотечные системы (ЭБС), находящиеся в подписке ТюмГУ, например, ЭБС Лань (<https://e.lanbook.com/>), МЭБ (<https://icdlib.nspu.ru/>); НЭБ (<https://rusneb.ru/>); Базы данных, доступные в рамках национальной подписки: *American Chemical Society* (<https://www.acs.org/content/acs/en.html>); *Cambridge University Press* (<https://www.cambridge.org/core>); *Royal Society of Chemistry* (<https://pubs.rsc.org/>); журналы издательства *Wiley* (<https://onlinelibrary.wiley.com>). Другие базы данных, находящиеся в свободном доступе в сети Интернет, в частности, ScienceDirect, Wileylibrary, PubChem и Google Scholar, а также базы данных Reaxys и SciFinder.

### **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю):**

- Работа в сети Интернет.
- Работа с информационным порталом Библиотеки ТюмГУ.
- Использование типовых компьютерных программ (ACD/ChemSketch, Excel, Word, PowerPoint) для решения вычислительных задач, составления отчетов и презентаций.
- Платформа для электронного обучения *Microsoft Teams*.

### **ПО, находящееся в свободном доступе:**

1. программный комплекс ACDLabs (ACD/NMR Processor Academic Edition) (академическая версия доступна на сайте производителя [http://www.acdlabs.com/resources/freeware/nmr\\_proc/](http://www.acdlabs.com/resources/freeware/nmr_proc/));

2. программный комплекс ChemBioDraw (пробная версия доступна на сайте <http://scistore.cambridgesoft.com/ScistoreSoftwareDisplay.aspx?Trial=Trial/>).

### **10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для чтения лекций необходимо наличие аудиторий, оснащенных мультимедийной техникой (компьютер, проектор и др.).

Для самостоятельной работы аспирантов необходим доступ в компьютерный класс, имеющий выход в Интернет.

Материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включает в себя: учебные лаборатории органического синтеза (ауд. 106 корп. 5А), (ауд. 102,

корп. 5А), (ауд.115, корп. 5А), учебно-научные лаборатории НОЦ «Химическая экспертиза и экологическая безопасность» (ауд. 116 и 117, корп. 5А), лаборатория экологических исследований (ауд. 101, корп. 5А). Лаборатории оснащены необходимыми приборами (электронные весы, магнитные мешалки, плитки, колбогревы, роторные испарители и др.), в том числе и современным научным оборудованием и приборами (собственное оборудование ЦКП) - газовый хроматограф Trace GC Ultra (Thermo Electron) с масс-селективным детектором DSQ II; Газовый хроматограф с масс-селективным детектором SCION SQ (Bruker); Спектрофлуориметр RF 5301 PC (Shimadzu); Жидкостный хроматограф Agilent 1200 (Agilent Technologies) с тандемным квадрупольным масс-спектрометром с источником ионизации электроспрей и химической ионизацией под атмосферным давлением Applied Biosystems/MDS Sciex API 2000 LC/MS/MS (Applied Biosystems); Аппаратно-программный комплекс «Кристалл 5000.2» на базе газовых хроматографов с системой захлаживания термостата и программой обработки «Хроматэк\_ДНА» (Хроматэк); Абсорбционный спектрофотометр УФ- и видимой области Agilent 8453 (Agilent Technologies); Жидкостной хроматограф с диодно-матричным детектором Agilent 1100 (Agilent Technologies); ИК-Фурье спектрометр Agilent Cary 630 FTIR; Двухлучевой УФ-, ВИД-спектрофотометр Shimadzu UV-2600; Хроматомасс-спектрометр Agilent 5977B GC/MSD с многофункциональной системой для пиролитической хроматографии EGA/PY-3030D (Frontier, Япония); Система жидкостной хроматографии Agilent 1260 Infinity II с времяпролетным масс-спектрометром высокого разрешения Agilent 6545B Q-TOF).

#### **11. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям лиц с ограниченными возможностями**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

#### **12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы**

Регулярное чтение выпусков научных, в том числе и обзорных журналов по органической химии (Журнал органической химии, Журнал общей химии, Химия гетероциклических соединений, Доклады АН, Journal of Organic Chemistry, Molecules, Organic and Biomolecular Chemistry, Organic Letters, Tetrahedron, Известия РАН. Серия химическая).

Самостоятельное планирование и исследований в области синтеза органических соединений и установления их структуры с помощью современных инструментальных методов и подходов.

Качество освоения учебного материала оценивается по умению аспиранта использовать теоретические знания при выполнении практических задач, по степени проработанности всех аспектов задания, оформлению материала, соблюдению установленных сроков представления работы на проверку, степени самостоятельности, творческой активности, наличию элементов новизны и оригинальности подхода при выполнении заданий.