

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
биологической и медицинской  
физики**

**Д.В. Кузьмин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Основы органической химии
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Биофизика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики департамент молекулярной и биологической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 150 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 225 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 405, всего зач. ед.: 9

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: Д.М. Ройтерштейн, канд. хим. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании департамента молекулярной и биологической физики 30.03.2024

## Аннотация

Курс органической химии составлен специально для студентов ФБМФ. Он преподаётся во втором и третьем семестрах (1, 2 курсы). Основной упор в курсе органической химии делается на механизмы органических реакций, а также на химию различных природных соединений. Курс отличается современной структурой и проводится в виде лекций, семинарских занятий и практикума по органическому синтезу. На практических занятиях студенты учатся самостоятельно синтезировать и очищать органические вещества, а также оценивать чистоту продуктов – для этого применяются различные инструментальные методы, в том числе ЯМР-спектроскопия на базе МФТИ.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Курс органической химии предназначен для формирования у студентов, обучающихся по направлению «Прикладные математика и физика» представления об основных понятиях и законах химии, химических реакциях и свойствах органических веществ. Курс представляет собой основы химической грамотности, показывает место химии в современном естествознании, особенности химического подхода к изучению окружающего мира, дает представление о методологии и подходах химии к изучению химических свойств вещества, дает понять, что химия, будучи тесно связанной с физикой и биологией, является самостоятельной наукой.

Курс основывается только на тех знаниях, которые учащиеся получили в школе и при прохождении в первом семестре курса общей и неорганической химии. Курс состоит из лекций, семинаров и лабораторных работ. Это дает возможность полноценного освоения учебной программы и активного использования полученных знаний для освоения при дальнейшем обучении таких дисциплин как химическая физика, биохимия и биофизика.

Теоретическое и практическое освоения основных разделов органической химии с учетом современных тенденций развития химической науки, что необходимо для более глубокого понимания возможности химического подхода к изучению окружающего мира, общих закономерностей строения вещества и его превращений в природе.

#### Задачи дисциплины

- знакомство с внутренней логикой органической химии как науки; формирование представлений о механизмах органических реакций;
- изучение основных классов органических соединений; формирование представлений о связи реакционной способности органических молекул с их строением;
- изучение закономерностей взаимодействия различных органических веществ с объектами окружающей среды, их физиологического и фармакологического действия, биологической роли, применения в практической деятельности человека; формирование представлений об экологических проблемах, связанных с использованием органических веществ.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные понятия органической химии;
- основные свойства важнейших классов органических соединений и их применение;
- основные механизмы органических реакций;
- основные методы химической и спектральной идентификации органических веществ;
- основные приемы работы в лаборатории органической химии.

уметь:

- изображать строение типичных представителей классов органических соединений по названию и называть их по структурным формулам на основе знания принципов номенклатуры и изомерии;
- выделять в молекуле реакционные центры, прогнозировать поведение органического соединения в конкретных условиях, исходя из его структуры и знания типичной реакционной способности функциональных групп;
- проводить простой химический эксперимент по синтезу, выделению, очистке и химической идентификации вещества;
- оформлять отчеты к лабораторным работам.

владеть:

- методами определения возможности протекания химических превращений основных классов органических соединений в различных условиях;
- способами безопасного обращения с горючими и токсичными веществами и лабораторным оборудованием;
- методами приготовления растворов заданной концентрации.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Предмет органической химии	2	4		9
2	Изомерия. Предельные углеводороды	2	4		11
3	Алкены	2	2		11
4	Алкины. Галогеналканы	3	6		12
5	Представления о физико-химических методах анализа органических соединений. Алкадиены, циклоалканы	2	6		12
6	Ароматические углеводороды	2	4		12
7	Нуклеофильное ароматическое замещение. Алкиларены	2	4		11
8	Практическая работа 1. Основные способы выделения веществ из реакционной смеси			10	9
9	Практическая работа 2. Получение галогеналканов			10	9
10	Практическая работа 3. Получение сложных эфиров			10	9
11	Спирты, фенолы, простые эфиры	2	4		10
12	Соединения со связью углерод-металл. Карбонильные соединения	2	4		10

13	Карбонильные соединения-2. Кето-енольная таутомерия. Конденсации карбонильных соединений	2	4		10
14	Карбоновые кислоты	2	6		9
15	Азотсодержащие соединения	2	4		9
16	Гетероциклические соединения	2	2		9
17	Гетерофункциональные соединения. Аминокислоты, пептиды	2	4		9
18	Углеводы	1	2		9
19	Практическая работа 4. Реакции с участием фенола и хлористого бензоила			6	9
20	Практическая работа 5. Окислительно-восстановительные реакции в органическом синтезе			6	9
21	Практическая работа 6. Аминосоединения в органическом синтезе			6	9
22	Практическая работа 7. Получение азокрасителей			6	9
23	Практическая работа 8. Пинаколиновая перегруппировка			6	9
Итого часов		30	60	60	225
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		405 час., 9 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Предмет органической химии

Строение электронных оболочек атома на примере атома углерода. Типы химической связи и способы их графического представления. Полные и сокращенные структурные формулы, формулы Льюиса, соотношение графической модели с реальной структурой («черточки и стрелки»). Понятие функциональной группы, основные функциональные группы. Принципы построения названий органических соединений, систематические и тривиальные. Гомология. Изомерия (скелетная, положения, межклассовая).

Типы химической связи и способы их графического представления, формулы Льюиса, функциональные группы. Гомология. Первичные, вторичные, третичные и четвертичные атомы углерода. Примеры соединений с различными функциональными группами

Номенклатура органических соединений. Алканы. Предельные углеводороды.

##### 2. Изомерия. Предельные углеводороды

Изомерия (продолжение). Пространственная изомерия. Конфигурация и конформация. Асимметрический атом углерода, хиральность, понятие об оптической активности. Энантиомеры. Рацематы. Принцип R, S-номенклатуры. Стереохимическая номенклатура Кана – Прелога – Ингольда. Соединения с двумя асимметрическими атомами углерода. Диастереомеры. Клиновидные проекции. Проекция Фишера.

Химические реакции, типы химических реакций, механизм реакции. Реакции присоединения, замещения, элиминирования, перегруппировки, фрагментации. Гомолитические и гетеролитические реакции, перциклические реакции. Понятие электрофила и нуклеофила. Энергетический профиль реакции.

Предельные углеводороды, строение понятие о конформациях и конформерах алканов. Проекционные формулы Ньюмена. Химические свойства алканов, цепные свободнорадикальные реакции. Галогенирование алканов. Реакция Коновалова. Относительная стабильность алкильных радикалов. Крекинг алканов.

Изомеры, виды изомерии. Номенклатура Оптические изомеры, R,S-номенклатура. Соединения с двумя асимметрическими атомами углерода. Проекция Фишера, клиновидные проекции. Конформации, проекции Ньюмена.

Химические свойства алканов. Типы органических реакций.

### 3. Алкены

Алкены. Природа двойной связи в алкенах. Геометрическая изомерия (цис-, транс- и Z-, E-номенклатура). Каталитическое гидрирование алкенов. Термодинамическая стабильность алкенов. Электрофильное присоединение по двойной связи (AdE). Механизм электрофильного присоединения. Правило Марковникова. Галогенирование, гидрогалогенирование. Гидратация. Сопряженное присоединение. Окисление алкенов до оксиранов и диолов. Озонолиз алкенов, окислительное и восстановительное расщепление озонидов. Радикальные реакции алкенов: присоединение HBr по Харацу. Аллильное галогенирование. Полимеризация алкенов. Карбены.

Алкены, электронное строение. Изомерия. Химические свойства алкенов. Электрофильное присоединение к алкенам, примеры реакций.

### 4. Алкины. Галогеналканы

Алкины. Электронное строение тройной связи в алкинах. Электрофильное присоединение к алкинам. Реакционная способность алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (Кучеров). Восстановление алкинов до цис- и транс-алкенов. C—H кислотность ацетилена. Ацетилениды натрия, магния и меди, их получение и использование в органическом синтезе. Ацетилен-алленовая изомеризация.

Галогеналканы, нуклеофильное замещение. Галогеналканы, важнейшие примеры. Особенности электронного строения связи C—Hal. Индуктивный эффект. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода. Понятие о нуклеофильности, нуклеофильность и основность. Классификация механизмов реакций нуклеофильного замещения. Основные характеристики SN1 и SN2 реакций. SN2-реакции. Энергетический профиль реакций. Кинетика, стереохимия. Вальденовское обращение. Влияние природы заместителя и уходящей группы, природы нуклеофильного агента и растворителя на скорость SN2 реакций. SN1-реакции, зависимость от природы радикала, уходящей группы, растворителя. Карбокатионы, их устойчивость. Реакции элиминирования,  $\alpha$ - и  $\beta$ -элиминирование. Классификация механизмов элиминирования: E1, E2. Правило Зайцева. Син- и анти-элиминирование. Представление о E1cb-элиминировании (Мономолекулярное элиминирование по сопряженному основанию). Влияние природы основания и уходящей группы на направление элиминирования. Конкуренция процессов E2 и SN2, E1 и SN1. Галогенпроизводные алкенов.

Алкины. Электронное строение. Особенности электрофильного присоединения по C=C связи.

Галогенсодержащие соединения. Реакции нуклеофильного замещения. Понятие о нуклеофильности, нуклеофилы. Реакции нуклеофильного замещения. Реакции SN1 и SN2 типа

Реакции элиминирования. Реакции элиминирования,  $\alpha$ - и  $\beta$ -элиминирование. Классификация механизмов элиминирования: E1, E2. Конкуренция реакций замещения и элиминирования.

## 5. Представления о физико-химических методах анализа органических соединений. Алкадиены, циклоалканы

Основы ЯМР-спектроскопии, основы метода и области применения, применение для анализа органических соединений, примеры спектров. Метод ИК-спектроскопии, основы метода. Идентификация и обнаружение соединений с различными функциональными группами.

Алкадиены. 1,2-, 1,3- диены, изолированные диены. Бутадиен-1,3, особенности строения, сопряжение двойных связей. Галогенирование и гидрогалогенирование 1,3-диенов. 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса — Альдера.

Циклоалканы. Классификация алициклов. Энергия напряжения. Строение циклопропана, циклобутана, циклопентана, циклогексана. Конформации циклогексана. Аксиальные и экваториальные связи в конформации "кресло" циклогексана. Конформации моно- и дизамещенных производных циклогексана. Особенности химических свойств соединений с трехчленным циклом.

Методы исследования органических соединений. Основы ЯМР – спектроскопии.

Алкадиены. Мезомерный эффект. Сопряженное присоединение.

Циклоалканы. Конформации циклогексана. Разбор конформаций циклоалканов.

## 6. Ароматические углеводороды

Ароматические углеводороды, ароматичность. Геометрическое и электронное строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Круг Фроста. Концепция ароматичности, энергия резонанса. Правило Хюккеля. Ароматические катионы и анионы. Конденсированные ароматические углеводороды: нафталин, фенантрен, антрацен, азулен и др. Гетероциклические ароматические соединения. Реакции замещения в ароматическом ряду. Электрофильное ароматическое замещение SEAr. Энергетический профиль реакции. Аренииевые ионы ( $\sigma$ -комплексы) в реакциях электрофильного замещения. Резонансные структуры интермедиатов. Нитрование бензола, механизм реакции. Получение полинитросоединений. Галогенирование, механизм реакции галогенирования аренов, катализ кислотами Льюиса. Сульфирование, механизм реакции, кинетический и термодинамический контроль в реакции сульфирования на примере нафталина. Влияние заместителя на скорость и направление электрофильного замещения, связь с распределением электронной плотности. Ориентанты первого и второго рода. Понятие об ипсо-атаке и ипсо-замещении. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу, полиалкилирование, побочные процессы — изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Ацилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Механизм реакции. Формилирование по Гаттерману-Коху и родственные реакции.

Ароматические углеводороды. Ароматичность. Электронное строение бензола. Электрофильное замещение в ароматическом ряду.

Решение задач. Электрофильное замещение в ароматическом ряду, ориентанты первого и второго рода.

## 7. Нуклеофильное ароматическое замещение. Алкиларены

Нуклеофильное ароматическое замещение. Общие представления о механизме нуклеофильного замещения. Механизм отщепления-присоединения на примере превращения галогенбензолов в фенолы и ароматические амины. Механизм присоединения-отщепления. Комплекс Мейзенгеймера.

Реакции с разрушением ароматической системы. Каталитическое гидрирование аренов, восстановление аренов по Бёрчу.

Реакции, не затрагивающие ароматическую систему. Окисление алкилбензолов до карбоновых кислот, альдегидов и кетонов. Окисление конденсированных ароматических углеводородов. Замещение водорода в боковой цепи алкилбензолов на галоген. Бензильный радикал.

Реакции ароматических соединений без участия  $\pi$ -системы. Реакции ароматических соединений с разрушением  $\pi$ -системы.

Нуклеофильное ароматическое замещение.

#### 8. Практическая работа 1. Основные способы выделения веществ из реакционной смеси

Фракционная перегонка смеси органических веществ. Перекристаллизация органических веществ.

#### 9. Практическая работа 2. Получение гаголеналканов

Синтез трет-бутилхлорида. Синтез изопропилбромид.

#### 10. Практическая работа 3. Получение сложных эфиров

Синтез этилформиата. Синтез изопропилацетата. Синтез бутилацетата.

Семестр: 3 (Осенний)

#### 11. Спирты, фенолы, простые эфиры

Спирты и простые эфиры. Одноатомные спирты, тиолы. Свойства спиртов, водородная связь. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген. 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. Этиленгликоль и глицерин. Пинаколиновая перегруппировка. Простые эфиры. Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами, образование гидропероксидов. Оксираны. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов. Циклические простые эфиры, краун-эфиры. Фенолы. Фенолы как ОН-кислоты, влияние заместителей на кислотность фенолов. Кумольный процесс. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре фенолов: галогенирование (механизм), сульфирование, нитрование, нитрозирование и алкилирование. Карбоксилирование фенолятов щелочных металлов по Кольбе. Формилирование фенолов по Реймеру-Тиману и Вильсмайеру. Перегруппировка Фриса. Перегруппировка аллиловых эфиров фенолов (перегруппировка Кляйзена). Окисление фенолов.

Спирты и простые эфиры. Дегидратация спиртов. Окисление спиртов

Фенолы, реакции фенолов

#### 12. Соединения со связью углерод-металл. Карбонильные соединения

Соединения со связью углерод-металл (металлоорганические соединения). Литий- и магний-органические соединения, электронное строение связи М-С. Получение взаимодействием метал-ла с алкилгалогенидами, переметаллирование. Равновесие Шленка. Реакции с углеводородами (С-Н кислотами).

Альдегиды и кетоны. Электронное строение карбонильной группы, ее полярность и поляризуемость. Важнейшие альдегиды и кетоны. Формальдегид, ацетальдегид, ацетон, ароматические альдегиды и кетоны. Представления о механизме нуклеофильного присоединения по карбонильной группе. Кислотный и основной катализ. Присоединение воды, спиртов, тиолов. Ацетали и полуацетали, диоксоланы. Получение бисульфитных производных и циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с илидами фосфора (Виттиг). Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Оксимы, гидразоны, фенилгидразоны. Основания Шиффа, уротропин. Реакции альдегидов и кетонов с металлоорганическими соединениями.

Соединения со связью углерод-металл (RLi, реактив Гриньяра).

Карбонильные соединения. Нуклеофильное присоединение по карбонильной группе.

### 13. Карбонильные соединения-2. Кето-енольная таутомерия. Конденсации карбонильных соединений

Кето-енольная таутомерия. Влияние структурных факторов и природы растворителя на положение кето-енольного равновесия. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов в кислой и щелочной среде, механизм реакции. Аминометилирование альдегидов и кетонов (по Манниху). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления; восстановление карбонильной группы до  $\text{CH}_2$ -группы; реакции Кижнера-Вольфа и Клеменсена. Восстановительная димеризация альдегидов и кетонов. Окисление альдегидов, реагенты окисления. Восстановительное аминирование карбонильных соединений. Взаимодействие альдегидов и кетонов с формиадом аммония (реакция Лейкарта). Диспропорционирование альдегидов по Канницаро.  $\alpha$ -,  $\beta$ -Непредельные альдегиды и кетоны. Мезомерный эффект, сопряжение  $\text{C}=\text{O}$  и  $\text{C}=\text{C}$  связей. Реакции 1,2- и 1,4-присоединения литийорганических соединений.

Кето-енольная таутомерия. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов.

Окислительно-восстановительные превращения карбонильных соединений

### 14. Карбоновые кислоты

Карбоновые кислоты. Особенности электронного строения карбоксильной группы. Влияние заместителей в органическом радикале на кислотность карбоновых кислот. Галогенирование кислот по Геллю-Фольгарду-Зелинскому. Пиролитическая кетонизация, реакции Кольбе, Бородина-Хунсдиккера. Галогенангидриды. Свойства: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, гидразин, металлоорганические соединения). Восстановление по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Ангидриды карбоновых кислот. Реакции ангидридов кислот. Кетены, свойства. Сложные эфиры, реакция этерификации. Реакции сложных эфиров: гидролиз (механизм кислотного и основного катализа), аммонолиз, переэтерификация. Сложноэфирная конденсация (Кляйзена), взаимодействие с магний- и литий-органическими соединениями, восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов комплексными гидридами металлов, восстановление по Буво-Блану, ацилоиновая конденсация. Реакция получения сложных эфиров с участием диазометана. Сложные эфиры многоатомных спиртов. Жиры, липиды, триглицериды, фосфолипиды. Амиды. Гидролиз, восстановление до аминов, дегидратация амидов. Понятие о секстетных перегруппировках. Перегруппировки Гофмана, Курциуса. Нитрилы. Гидролиз, аммонолиз, восстановление комплексными гидридами металлов до аминов, взаимодействие с магний- и литийорганическими соединениями. Двухосновные кислоты. Щавелевая, малоновая, янтарная кислоты.

Карбоновые кислоты, свойства карбоновых кислот.

Функциональные производные карбоновых кислот.

### 15. Азотсодержащие соединения



Нитроалканы. Электронное строение NO<sub>2</sub> группы. Кислотность и таутомерия нитроалканов. Конденсация с карбонильными соединениями (реакция Анри). Восстановление нитросоединений в амины. Амины и четвертичные аммониевые основания. Основность аминов. Алкилирование и ацилирование аминов. Разложение гидроксидов тетраалкиламмония (элиминирование по Гофману). Ароматические амины. Восстановление ароматических нитросоединений в кислой и щелочной среде. Бензидиновая перегруппировка. Сравнение основности алифатических и ароматических аминов. Реакции электрофильного замещения в бензольном ядре ароматических аминов. Окисление и галогенирование аминов.

Диазосоединения. Ароматические диазосоединения. Реакции диазотирования первичных ароматических аминов. Механизм, природа нитрозирующего агента. Строение и устойчивость солей диазония. Реакции диазосоединений с выделением азота. Реакции диазосоединений без выделения азота: восстановление до арилгидразинов, азосочетание. Азосочетание как реакция электрофильного замещения. Азо- и диазосоставляющие, условия сочетания с аминами и фенолами. Азокрасители. Алифатические диазосоединения. Электронное строение диазометана, его реакции с карбоновыми кислотами, диазометан как источник карбена.

Нитросоединения, свойства нитросоединений амины, алифатические амины.

Ароматические амины, основность, реакционная способность. Диазотирование аминов. Механизм образования катиона диазония.

Азосочетание, азокрасители. Решение задач.

## 16. Гетероциклические соединения

Гетероциклические соединения. Гетероциклические пяти- и шестичленные ароматические соединения (пиррол, фуран, тиофен, пиридин, индол, хинолин), электронное строение. Пятичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом (гетероциклопентадиены). Фуран, тиофен, пиррол. Ацидофобность фурана и пиррола. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах. Ориентация электрофильного замещения. Индол. Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин, электронное строение, сравнение с гетероциклопентадиенами. Основность пиридина. Реакции пиридина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-Оксиды пиридина и хинолина и их использование в реакции электрофильного замещения. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин), гидроксидом натрия. Гетероциклы с двумя гетероатомами в цикле (имидазол, пиразол, пиримидин, пурин).

Гетероциклические соединения

## 17. Гетерофункциональные соединения. Аминокислоты, пептиды

Гетерофункциональные соединения. Гидроксо- и оксо- кислоты, важнейшие примеры,  $\alpha$ -  $\beta$ -номенклатура. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе. Кето-енольная таутомерия эфиров  $\beta$ -кетокислот, амбидентный характер енолят-иона.

$\alpha$ -  $\beta$ - Ненасыщенные кислоты. Фумаровая и малеиновая кислоты, их эфиры, малеиновый ангидрид. Аминокислоты. Строение и свойства аминокислот.  $\alpha$ -аминокислоты,  $\beta$ -аминокислоты ( $\beta$ -аланин). Важнейшие аминокислоты, стереохимия аминокислот, D- L-номенклатура. Синтез аминокислот Габриель, Штрекер. Пептиды и белки. Пептидная связь. Примеры ди- и трипептидов. Синтез пептидов, защитные группы при синтезе пептидов. Уровни структурной организации белков.

Гидроксо- и оксокислоты.  $\alpha/\beta$ - номенклатура. Ацетоуксусный эфир.

Аминокислоты. Пептидная связь. Синтез пептидов.

## 18. Углеводы

Углеводы. Классификация и номенклатура углеводов. Моносахариды и полисахариды. Виды моносахаридов: триозы, тетрозы, пентозы, гексозы (альдозы и кетозы). Пространственное строение моносахаридов, пример глицеринового альдегида. L- и D- углеводы. Формулы Фишера и Хеуорса. Глюкопиранозы и глюкофуранозы. Кольчато-цепная таутомерия моносахаридов, мутаротация. Эпимеризация (превращение альдоз в 2-кетозы). Важнейшие реакции моносахаридов. Синтез простых и сложных эфиров моносахаридов. Окисление альдоз до альдоновых и альдаровых кислот. Окислительное расщепление. Удлинение и укорочение углеводной цепи. Дисахариды (биозы): мальтоза, целлобиоза, лактоза, амигдалоза, сахароза. Аномеры глюкозы и фруктозы,  $\alpha$ -и,  $\beta$ -дисахариды. Восстанавливающие и невосстанавливающие углеводы. Особенности строения природных полисахаридов на примере целлюлозы и крахмала.

Углеводы. Классификация и номенклатура углеводов. Моносахариды.

## 19. Практическая работа 4. Реакции с участием фенола и хлористого бензоила

Синтез феноксиуксусной кислоты. Синтез (бензоиламино)уксусной кислоты (гиппуровой кислоты).

Синтез фенилбензоата по методу Шоттена–Баумана.

## 20. Практическая работа 5. Окислительно-восстановительные реакции в органическом синтезе

Синтез п-бензохинона. Синтез йодоформа.

## 21. Практическая работа 6. Аминосоединения в органическом синтезе

Синтез N-(4-гидроксифенил) ацетамида (п-гидроксиацетанилида, парацетамола). Синтез аминоксусной кислоты (глицина). Синтез фталимида (имида о-фталевой кислоты, изоиндолин-1,3-диона).

## 22. Практическая работа 7. Получение азокрасителей

Синтез  $\beta$ -нафтолоранжа. Синтез п-нитроанилинового красного. Получение ализаринового желтого Р.

## 23. Практическая работа 8. Пинаколиновая перегруппировка

Синтез 3,3-диметилбутанона-2 (пинаколина). Синтез бензпинаколина.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Специализированные лаборатории, оборудованные вытяжными шкафами.

Лабораторное оборудование для практикума.

Химреактивы.

Для лекционных занятий - аудитории, оборудованные проектором.

Для практических занятий - необходимое компьютерное оборудование с выходом в интернет.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Органическая химия [Текст] / Ю. С. Шабаров - СПб. Лань, 2016

2. Задачи по общему курсу органической химии с решениями для бакалавров, Электрон. версия печ. публикации / С. С. Карлов, В. Н. Нуриев, В. И. Теренин, Г. С. Зайцева. — Москва, Лаборатория знаний, 2020

3. Задачи по органической химии [Текст] / В. Ф. Травень, А. Ю. Сухоруков, Н. А. Пожарская - М. Лаборатория знаний, 2016
4. Органическая химия [Текст] : в 3 т. : учеб. пособие для вузов. Т.1 / В. Ф. Травень .— 2-е изд., перераб. и доп. — М : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 368 с.
5. Органическая химия [Текст] : в 3 т. : учеб. пособие для вузов. Т. 2 / В. Ф. Травень .— 2-е изд., перераб. и доп. — М : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 517 с.
6. Органическая химия [Текст] : в 3 т. : учеб. пособие для вузов. Т. 3 / В. Ф. Травень .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2013 .— 388 с.

Литература предоставляется на кафедре:

7. И.И. Грандберг, Н.Л. Нам, Органическая химия, 11-е изд., стер., М. Лань, 2022. — 608 с.

#### Дополнительная литература

1. Органическая химия [Текст] : в 4 ч. Ч. 1 : учебник для вузов / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 3-е изд., испр. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2007 .— 567 с.
2. Органическая химия [Текст] : в 4 ч. Ч. 2 : учебник для вузов / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2007 .— 623 с.
3. Органическая химия [Текст] : в 4 ч. Ч. 3 : учебник для вузов / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010 .— 544 с.
4. Органическая химия [Текст] : в 4 ч. Ч. 4 : учебник для вузов / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2009 .— 726 с.

Литература предоставляется на кафедре:

1. И.Э. Нифантьев и П.В. Ивченко. Практический курс спектроскопии ядерного магнитного резонанса, [http://www.chem.msu.su/rus/teaching/nifantev/2006\\_NMR.pdf](http://www.chem.msu.su/rus/teaching/nifantev/2006_NMR.pdf)
2. Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл, Спектрометрическая идентификация органических соединений М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. — 557 с.
3. Ф.Л. Вайзман Основы органической химии СПб. Химия, 1995
4. А. Азимов, Краткая история химии М. Центрполиграф 2015
5. J. Clayden, N. Greeves, S. Warren. Organic Chemistry Oxford UP, 2001
6. P. Sykes. A guidebook to mechanism in organic chemistry. Pearson Education, 1986.
7. D. P. Weeks. Pushing Electrons : A Guide for Students of Organic Chemistry. Cengage Learning, 2013.
8. R. A. Jackson. Mechanisms in Organic Reactions. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. 2004.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

[www.chem.msu.su/rus/elibrary/edu\\_organic.html](http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/edu_organic.html)

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Пакет программ MS Office.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Биофизика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики департамент молекулярной и биологической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет
- 3 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** Д.М. Ройтерштейн, канд. хим. наук, доцент, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы органической химии» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия органической химии;
- основные свойства важнейших классов органических соединений и их применение;
- основные механизмы органических реакций;
- основные методы химической и спектральной идентификации органических веществ;
- основные приемы работы в лаборатории органической химии.

### уметь:

- изображать строение типичных представителей классов органических соединений по названию и называть их по структурным формулам на основе знания принципов номенклатуры и изомерии;
- выделять в молекуле реакционные центры, прогнозировать поведение органического соединения в конкретных условиях, исходя из его структуры и знания типичной реакционной способности функциональных групп;
- проводить простой химический эксперимент по синтезу, выделению, очистке и химической идентификации вещества;
- оформлять отчеты к лабораторным работам.

### владеть:

- методами определения возможности протекания химических превращений основных классов органических соединений в различных условиях;
- способами безопасного обращения с горючими и токсичными веществами и лабораторным оборудованием;
- методами приготовления растворов заданной концентрации.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде контрольных работ, домашних заданий, коллоквиумов.

Примеры заданий текущего контроля:

1. Исходя из ацетилена, пропанола и неорганических реагентов получите 1-бромпентан.
2. Для каждой пары соединений укажите, являются они энантиомерами, диастереомерами, структурными изомерами или идентичны.
3. Для представленного изомера винной кислоты нарисуйте проекционные формулы Ньюмена и Фишера и укажите конфигурацию всех хиральных центров.
4. Объясните, почему изобутан, содержащий следы изобутилена, при действии избытка дейтеросерной кислоты ( $D_2SO_4$ ) превращается в нонадейтероизобутан  $(CD_3)_3CH$ ?

5. Из ацетилена и других необходимых реагентов получите цис- и транс-гексены-3. Какой стереохимический результат взаимодействия этих соединений:

а) с водным раствором  $\text{KMnO}_4$  при комнатной температуре

б) с 50%-ным водным раствором пероксида водорода в муравьиной кислоте?

Приведите клиновидные проекции и формулы Фишера продуктов реакций. Укажите (R,S)-обозначения для асимметрических центров.

6. Как можно объяснить различные пути протекания приведенных реакций?

7. Из п-крезола, изобутилена и неорганических реагентов получите пищевой консервант (антиоксидант) 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол.

8. Какие из приведенных соединений можно отнести к ароматическим, неароматическим, антиароматическим?

9. Сравните реакционную способность пиридина и N-окиси пиридина в реакции электрофильного замещения.

10. Сравните основность анилина, п-нитроанилина, циклогексиламина, диэтиламина, пиперидина.

11. Получить  $\beta$ -Нафтолоранж из бензола и нафталина

12. Предложите способ получения пиридона-2 из пиридина.

13. Из м-анизидина и анилина получите азокраситель X. На ключевой стадии сборки скелета используйте бензидиновую перегруппировку.

#### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примеры вопросов экзаменационных билетов:

1. Понятие функциональной группы. Взаимопревращения соединений с разными функциональными группами. Гомология. Изомерия (скелетная, положения). Пространственная изомерия. Конфигурация, отличие от конформации. Асимметрический атом углерода, оптическая активность.

2. Энантиомеры и диастереомеры. Рацематы. Хиральность. Принцип R, S-номенклатуры. Соединения с двумя асимметрическими атомами углерода. Проекция Фишера.

3. Предельные углеводороды, строение понятие о конформациях и конформерах алканов. Заслоненная, заторможенная, скошенная конформации. Проекционные формулы Ньюмена. Конформации этана, бутана, их энергетические диаграммы.

4. Типы органических реакций. Понятия нуклеофил, электрофил. Классификация химических реакций по результату: присоединение, отщепление, замещение, перегруппировка, классификация по характеру реагента и типу разрыва связи: гетеролитические (нуклеофильные, электрофильные), гомолитические: (радикальные), молекулярные. Энергетический профиль реакции. Примеры реакций.

5. Химические свойства алканов: галогенирование (хлорирование, бромирование) с образованием галогеналканов. Механизм и энергетика цепных свободнорадикальных реакций галогенирования. Нитрование алканов. Относительная стабильность различных алкильных радикалов. Термический крекинг алканов.

6. Алкены. Природа двойной связи в алкенах. Геометрическая изомерия (определения и понятия цис-, транс- и Z-, E- номенклатуры). Каталитическое гидрирование алкенов. Термодинамическая стабильность алкенов на основе теплот гидрирования.

7. Электрофильное присоединение по двойной связи (AdE). Механизм реакций,  $\pi$ - и  $\sigma$ -комплексы, энергетический профиль реакции, бромониевые ионы. Правило Марковникова. Галогенирование, гидрогалогенирование. Гидратация.

8. Сопряженное присоединение. Окисление алкенов до оксиранов и диолов. Озонолиз алкенов, окислительное и восстановительное расщепление озонидов. Радикальные реакции алкенов: присоединение  $\text{HBr}$  по Харацу. Карбены. Реакции присоединения карбенов к алкенам.

9. Алкины. Электронное строение тройной связи в алкинах. Электрофильное присоединение к алкинам. Реакционная способность алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (Кучеров). Восстановление алкинов до цис- и транс-алкенов. C—H кислотность ацетилена. Ацетилениды натрия, магния и меди, их получение и использование в органическом синтезе.

10. Галогенсодержащие соединения. Галогеналканы, важнейшие примеры. Особенности электронного строения связи C-Hal. Индуктивный эффект. Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода. Понятие о нуклеофильности, нуклеофилы.
11. Классификация механизмов реакций нуклеофильного замещения. Основные характеристики SN1 и SN2 реакций. Реакции SN2-типа. Энергетический профиль реакций. Вальденовское обращение.
12. Реакции нуклеофильного замещения SN1-типа, зависимость от природы радикала, уходящей группы, растворителя. Примеры реакций. Карбокатионы, их устойчивость.
13. Реакции элиминирования,  $\alpha$ - и  $\beta$ -элиминирование. Классификация механизмов элиминирования: E1, E2. Правило Зайцева. Син- и анти- элиминирование. Влияние природы основания и уходящей группы на направление элиминирования. Конкуренция процессов E2 и SN2, E1 и SN1.
14. Алкадиены. 1,2-, 1,3- диены. Бутадиен-1,3, особенности строения, сопряжение двойных связей. Галогенирование и гидрогалогенирование 1,3-диенов. 1,2- и 1,4- присоединение.
15. Циклоалканы. Классификация алициклов. Энергия напряжения. Строение циклопропана, циклобутана, циклопентана, циклогексана. Конформации циклогексана. Аксиальные и экваториальные связи в конформации "кресло" циклогексана. Конформации моно- и дизамещенных производных циклогексана. Особенности химических свойств соединений с трехчленным циклом.
16. Ароматические углеводороды. Строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Круг Фроста. Концепция ароматичности, энергия резонанса. Правило Хюккеля. Ароматические катионы и анионы. Конденсированные ароматические углеводороды: нафталин, фенантрен, антрацен, азулен и др. Гетероциклические ароматические соединения.
17. Электрофильное замещение в ароматическом ряду. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Представления о механизме реакций,  $\pi$ - и  $\sigma$ -комплексах. Резонансные структуры. Энергетический профиль реакции.
18. Влияние заместителя на скорость и направление электрофильного замещения, связь с распределением электронной плотности. Ориентанты первого и второго рода. Нитрование бензола, механизм реакции. Получение полинитросоединений.
19. Электрофильное замещение в ароматическом ряду: Галогенирование, механизм реакции галогенирования аренов, катализ кислотами Льюиса. Сульфирование, механизм реакции, кинетический и термодинамический контроль в реакции сульфирования на примере нафталина. Понятие об ипсо-атаке и ипсо-замещении.
20. Электрофильное замещение в ароматическом ряду: алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу, полиалкилирование, побочные процессы - изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Ацилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Формилирование по Гаттерману-Коху и родственные реакции.
21. Нуклеофильное ароматическое замещение. Общие представления о механизме нуклеофильного замещения. Механизм отщепления-присоединения на примере превращения галогенбензолов в фенолы и ароматические амины. Механизм присоединения-отщепления. Комплекс Мейзенгеймера.
22. Ароматические углеводороды. Реакции с разрушением ароматической системы. Каталитическое гидрирование аренов, восстановление аренов по Берчу. Реакции, не затрагивающие ароматическую систему. Окисление алкилбензолов до карбоновых кислот, альдегидов и кетонов. Окисление конденсированных ароматических углеводородов. Замещение водорода в боковой цепи алкилбензолов на галоген. Бензильный радикал. Аллильный радикал. Аллильное галогенирование.  $\pi$ -Орбитали аллильной системы.
23. Соединения со связью углерод-металл (Металлоорганические соединения). Литий- и магнийорганические соединения, электронное строение связи М-С. Получение взаимодействием металла с алкилгалогенидами, переметаллирование. Равновесие Шленка. Реакции с углеводородами (C-H кислотами).
24. Спирты и простые эфиры. Одноатомные спирты, тиолы. Свойства спиртов, водородная связь. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген. Дегидратация спиртов. Окисление первичных спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, вторичных спиртов до кетонов. Реагенты окисления на основе хромового ангидрида и двуокиси марганца.



25. Двухатомные спирты. Этиленгликоль и глицерин. Пинаколиновая перегруппировка. Простые эфиры. Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами, образование гидропероксидов. Оксираны. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов. Циклические простые эфиры, краун-эфиры.
26. Фенолы. Фенолы как ОН-кислоты, влияние заместителей на кислотность фенолов. Кумольный процесс. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре фенолов (механизм): галогенирование, сульфирование, нитрование, алкилирование.
27. Карбоксилирование фенолятов щелочных металлов по Кольбе. Формилирование фенолов по Реймеру-Тиману, и Вильсмайеру. Перегруппировка Фриса. Перегруппировка аллиловых эфиров фенолов (Кляйзен). Окисление фенолов.
28. Альдегиды и кетоны. Электронное строение карбонильной группы, ее полярность и поляризуемость. Важнейшие альдегиды и кетоны. Формальдегид, ацетальдегид, ацетон, ароматические альдегиды и кетоны. Представления о механизме нуклеофильного присоединения по карбонильной группе. Кислотный и основной катализ.
29. Альдегиды и кетоны, присоединение воды, спиртов. Ацетали и полуацетали. Получение циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с илидами фосфора (Виттиг).
30. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Оксимы, гидразоны, фенилгидразоны. Основания Шиффа, уротропин. Реакции альдегидов и кетонов с металлоорганическими соединениями.
31. Кето-енольная таутомерия. Енолизация альдегидов и кетонов в реакциях галогенирования. Влияние структурных факторов и природы растворителя на положение кето-енольного равновесия и зависимость его от соотношения СН- и ОН-кислотности кетона и енола. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов в кислой и щелочной среде, механизм реакции. Бензоиновая конденсация. Аминометилование альдегидов и кетонов (Манних).
32. Реакции восстановления карбонильных соединений. Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления; восстановление карбонильной группы до  $\text{CH}_2$ -группы; реакции Кижнера-Вольфа и Клеменсена. Восстановительная димеризация альдегидов и кетонов.
33. Реакции окисления альдегидов, реагенты окисления. Диспропорционирование альдегидов по Канницаро. Восстановительное аминирование карбонильных соединений. Взаимодействие альдегидов и кетонов с формиатом аммония (реакция Лейкарта).
34.  $\alpha,\beta$ -Непредельные альдегиды и кетоны. Акролеин. Мезомерный эффект, сопряжение  $\text{C}=\text{O}$  и  $\text{C}=\text{C}$  связей. Реакции 1,2- и 1,4-присоединения литийорганических соединений. Восстановление непредельных карбонильных соединений.
35. Нитроалканы. Электронное строение нитрогруппы. Восстановление нитросоединений в амины. Амины. Амины как основания. Алкилирование и ацилирование аминов. Разложение гидроксидов тетраалкиламмония (элиминирование по Гофману).
36. Ароматические амины. Восстановление ароматических нитросоединений в кислой и щелочной среде. Сравнение основных свойств алифатических и ароматических аминов. Влияние на основность аминов заместителей в ароматическом ядре. Реакции электрофильного замещения в бензольном ядре ароматических аминов. Окисление и галогенирование аминов.
37. Дيازосоединения. Ароматические диазосоединения. Реакции диазотирования первичных ароматических аминов. Механизм, природа нитрозирующего агента. Строение и устойчивость солей диазония. Реакции диазосоединений с выделением азота: замена диазогруппы на гидроксильную, галоген-, циано- группу и водород.
38. Реакции диазосоединений без выделения азота: восстановление до арилгидразинов, азосочетание. Азосочетание как реакция электрофильного замещения. Азо- и диазосоставляющие, условия сочетания с аминами и фенолами. Алифатические диазосоединения.
39. Карбоновые кислоты. Электронное строение карбоксильной группы. Влияние заместителей в органическом радикале на кислотность карбоновых кислот. Галогенирование кислот по Геллю-Фольгарду-Зелинскому. Пиролитическая кетонизация, реакции Кольбе, Бородина-Хунсдиккера.
40. Производные карбоновых кислот. Галогенангидриды. Реакции галогенангидридов с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, гидразин, металлоорганические соединения). Восстановление по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие диазометана с галогенангидридами карбоновых кислот.

41. Сложные эфиры, реакция этерификации. Реакции сложных эфиров: гидролиз (механизм кислотного и основного катализа), аммонолиз, переэтерификация. Сложноэфирная конденсация (конденсация Кляйзена), взаимодействие с магнием- и литийорганическими соединениями, восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов комплексными гидридами металлов, восстановление по Буво-Блану, ацилоиновая конденсация.
42. Амиды карбоновых кислот. Гидролиз, восстановление до аминов, дегидратация амидов. Понятие о секстетных перегруппировках. Перегруппировки Гофмана, Курциуса. Нитрилы. Гидролиз, аммонолиз, восстановление комплексными гидридами металлов до аминов, взаимодействие с магнием- и литийорганическими соединениями.
43. Ангидриды карбоновых кислот. Реакции ангидридов кислот. Двухосновные карбоновые кислоты. Щавелевая, малоновая, янтарная кислоты. Ароматические дикарбоновые кислоты.
44. Реакции электрофильного замещения. Индол. Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола.
45. Гетероциклические соединения. Пятичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом (гетероциклопентадиены). Фуран, тиофен, пиррол. Ацидофобность фурана и пиррола. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование.
46. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин, электронное строение, сравнение с пятичленными гетероциклами. Основность пиридина. Реакции пиридина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование.
47. N-Оксиды пиридина и хинолина и их использование в реакции электрофильного замещения. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин), гидроксидом натрия. Гетероциклы с двумя гетероатомами в цикле (имидазол, пиразол, пиримидин, пурин).
48. Гидроксо- и оксо- кислоты, важнейшие примеры,  $\alpha/\beta$ - номенклатура. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе. Кето-енольная таутомерия эфиров  $\beta$ -кетокислот, амбидентный характер енолят-иона.  $\alpha,\beta$ -ненасыщенные кислоты. Фумаровая и малеиновая кислоты, их эфиры, малеиновый ангидрид.
49. Аминокислоты. Строение и свойства аминокислот.  $\alpha$ -аминокислоты,  $\beta$ -аминокислоты ( $\beta$ -аланин, аспарагин). Важнейшие аминокислоты, стереохимия аминокислот, D/L-номенклатура. Синтез аминокислот. Разделение рацемических смесей аминокислот. Пептиды и белки. Пептидная связь. Примеры ди- и трипептидов. Синтез пептидов, защитные группы при синтезе пептидов.
50. Углеводы. Классификация и номенклатура углеводов. Моносахариды и полисахариды. Виды моносахаридов. Пространственное строение моносахаридов. L- и D-углеводы. Формулы Фишера и Хеуорса. Кольчато-цепная таутомерия моносахаридов, мутаротация. Эпимеризация (превращение альдоз в 2-кетозы). Важнейшие реакции моносахаридов. Окисление альдоз до альдоновых и альдаровых кислот. Окислительное расщепление.
51. Углеводы. Удлинение и укорочение углеводной цепи. Дисахариды (биозы): мальтоза, целлобиоза, лактоза, амигдалоза, сахароза. Аномеры глюкозы и фруктозы,  $\alpha$ - и  $\beta$ -дисахариды. Восстанавливающие и невосстанавливающие углеводы. Особенности строения природных полисахаридов на примере целлюлозы и крахмала.

Пример экзаменационного билета:

1. Многоатомные спирты. Этиленгликоль и глицерин. Пинаколиновая перегруппировка. Простые эфиры. Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами, образование гидропероксидов. Оксираны. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов. Циклические простые эфиры, краун-эфиры.
2. Пептиды и белки. Пептидная связь. Примеры ди- и трипептидов. Уровни структурной организации белков. Синтез пептидов, защитные группы при синтезе пептидов.
3. Осуществите синтез изовалерианового альдегида (3-метилбутаналь), исходя из 3-метилбутена-1.

Пример экзаменационного билета:

1. Электрофильное замещение в ароматическом ряду. Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Представления о механизме реакций,  $\pi$ - и  $\sigma$ -комплексах. Резонансные структуры. Энергетический профиль реакции.
2. Углеводы. Классификация и номенклатура углеводов. Моносахариды и полисахариды. Виды моносахаридов. Пространственное строение моносахаридов. L- и D-углеводы. Формулы Фишера и Хеуорса. Кольчато-цепная таутомерия моносахаридов, мутаротация. Эпимеризация (превращение альдоз в 2-кетозы). Важнейшие реакции моносахаридов. Окисление альдоз до альдоновых и альдаровых кислот. Окислительное расщепление.
3. Получить  $\beta$ -Нафтолоранж из бензола и нафталина.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку.

Длительность экзамена для каждого студента не должна превышать двух астрономических часов с момента получения билета.

Дифференцированный зачет во 2 семестре выставляется на основе оценок за мероприятия текущего контроля (контрольные работы, домашние задания, коллоквиум).

Дифференцированный зачет в 3 семестре выставляется на основе оценок за лабораторные и контрольные работы после обязательного выполнения и защиты обучающимся всех предусмотренных программой лабораторных работ. При выставлении оценок за лабораторные работы учитываются чистота и выход препарата, оформление отчета, качество ответов на дополнительные вопросы по теме работы.