

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Г.Прохоренко

30 июня 2023 г.

Регистрационный № УД-14132/уч.



ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальностей:

1-31 05 01 Химия (по направлениям)

Направления специальности:

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

1-31 05 01-02 Химия (научно-педагогическая деятельность)

1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

1-31 05 02 Химия лекарственных соединений

1-31 05 03 Химия высоких энергий

1-31 05 04 Фундаментальная химия

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021, учебных планов № G-31-1-231/уч, № G-31-1-232/уч, № G-31-1-233/уч от 22.03.2022; ОСВО 1-31 05 02-2021, учебного плана № G-31-1-235/уч от 22.03.2022; ОСВО 1-31 05 03-2021, учебного плана № G-31-1-236/уч от 22.03.2022; ОСВО 1-31 05 04-2021, учебного плана G-31-1-237/уч от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

И.В.Минеева, доцент кафедры органической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;

В.Е.Исаков, доцент кафедры органической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.С.Безбородов, профессор кафедры органической химии учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», доктор химических наук;

М.Н.Ничик, ученый секретарь учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», кандидат химических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой органической химии химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 18 от 23.06.2023);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 29.06.2023)

Зав.кафедрой
к.х.н., доцент



Т.А.Шевчук

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель данной учебной дисциплины – сформировать достаточный базис знаний по химии углеводородов и их производных, необходимый для подготовки на современном уровне квалифицированных специалистов, обучающихся по специальностям 1-31 05 01 «Химия (по направлениям)», 1-31 05 02 «Химия лекарственных соединений», 1-31 05 03 «Химия высоких энергий», 1-31 05 04 «Фундаментальная химия».

Задачи учебной дисциплины:

- Изучение особенностей строения, химических свойств, важнейших методов получения и идентификации основных классов органических соединений.
- Развитие у студентов логического мышления, систематического и аналитического подхода, особенно в процессе понимания течения органических реакций на основе изучения их механизма, а также взаимосвязи строения органических соединений с их реакционной способностью и взаимных превращений различных классов органических соединений, умения творчески решать поставленные задачи.
- Формирование представлений о роли органических соединений во всех сферах современной жизни человека и других живых организмов, в целом, природы.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Органическая химия» государственного компонента.

Связи с другими учебными дисциплинами: изучение дисциплины «Органическая химия» базируется на знании неорганической, аналитической, физической химии. Приобретенные студентами в результате освоения дисциплины знания, умения и навыки нужны для успешного освоения дисциплин «Тонкий органический синтез», «Биохимия», «Высокомолекулярные соединения», «Свободные радикалы в химии, биологии и медицине», «Фармацевтическая химия».

Требования к компетенциям

Освоение дисциплины «Органическая химия» должно обеспечить формирование следующих компетенций – для всех специальностей – базовые профессиональные компетенции (БПК):

БПК-6. Характеризовать состав, строение и свойства представителей основных классов органических соединений, механизмы важнейших органических реакций, планировать и осуществлять эксперимент по синтезу простых органических веществ, оптимальных условий протекания химических процессов.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- современную классификацию и номенклатуру органических соединений;

- состав, строение и свойства основных классов органических соединений;

- основные теоретические представления органической химии;

- основные физико-химические методы исследования органических соединений;

уметь:

- оценивать реакционную способность веществ на основе их строения и функциональности, представлять схемы механизмов органических реакций;

- планировать и осуществлять эксперимент по синтезу простых органических соединений с использованием методических указаний и литературных источников;

- представлять итоги выполненной работы в виде отчетов, рефератов и докладов;

владеть:

- необходимым объемом теоретических и практических знаний по органической химии, требуемых для выполнения профессиональных обязанностей и изучения смежных дисциплин;

- экспериментальными навыками и приемами работы с органическими веществами,

- современной химической терминологией, номенклатурой, основными способами изображения химической структуры и пространственного строения органических соединений.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 3 и 4 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Органическая химия» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 530 часов, в том числе 318 аудиторных часов, лекции – 120 часов, лабораторные занятия – 132 часа, семинарские занятия – 66 часов. **Из них:**

3 семестр:

Лекции – 60 часов, лабораторные занятия – 66 часов, семинарские занятия – 24 часа, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов + 2 часа ДОТ.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 7 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен.

4 семестр:

Лекции – 60 часов, лабораторные занятия – 66 часа, семинарские занятия – 26 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов + 2 часа ДОТ.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 8 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Общие представления в органической химии

Тема 1.1. Введение

Предмет органической химии. Органические соединения, их многообразие. Роль органических соединений в современной жизни общества. Основные сырьевые источники органических соединений: нефть, природный газ, уголь, сланцы, растительные и животные сырьевые источники. Тонкий органический, промышленный и микробиологический синтез. Экологические проблемы производства и потребления органических соединений. Методы выделения, очистки и идентификации органических соединений.

Тема 1.2. Строение, классификация и номенклатура органических соединений

Теории строения органических соединений: основные положения теории радикалов, теории типов, унитарной теории, теории А.М. Бутлерова. Значение теории строения для развития органической химии. Способы изображения органических соединений.

Классификация органических соединений: по углеродному скелету и по структурным элементам. Классификация атомов углерода в насыщенных соединениях.

Номенклатура органических соединений, основ. Принципы формирования названий по номенклатуре IUPAC. Родоначальная структура (основа), структурные элементы, характеристические группы и нефункциональные заместители, выбор и нумерация главной цепи, локанты. Принципы составления названий по радикально-функциональной номенклатуре IUPAC.

Тема 1.3. Изомерия органических соединений

Типы изомерии: структурная и пространственная. Структурная изомерия и ее разновидности. Структурные формулы как средство отображения строения органических соединений.

Способы графического изображения пространственного строения молекул: перспективные (клиновидные) проекции, "лесопильные козлы", проекции Ньюмена, Фишера: принципы построения и правила пользования ими. Молекулярные модели.

Пространственная изомерия (стереоизомерия) органических соединений. Конфигурационная и конформационная изомерия. Понятия хирального центра, хиральных и ахиральных молекул, оптической активности. Стереоизомерия органических соединений с одним и двумя асимметрическими атомами углерода (энантиомерия и диастереомерия). Эритро- и трео-изомеры, мезо-форма. Число стереоизомеров у соединений с n асимметрическими С-атомами.

Относительная и абсолютная конфигурация. *R,S*-Номенклатура. Конфигурационные ряды (*D,L*-номенклатура). Способы разделения рацематов. Стереохимическая чистота органических соединений. Энантиомерный (диастереомерный) избыток, оптическая чистота и методы их установления.

Тема 1.4. Электронные представления в органической химии

Типы связей в молекулах органических соединений. Ионная и ковалентная связь. Донорно-акцепторная связь. Водородная связь. Основные характеристики ковалентной связи: энергия диссоциации связи, теплота образования соединения из атомов и теплота сгорания, длина связи, полярность и поляризуемость.

Квантово-механические представления о химической связи. Метод валентных связей (ВС) и молекулярных орбиталей (МО). Классификация ковалентных связей: σ - и π -связи, связывающие и разрыхляющие МО. Гибридные состояния атома углерода. Локализованные и делокализованные (сопряженные) ковалентные связи. Энергия делокализации (сопряжения). Типы сопряженных систем: π, π -, n, π -, σ, π -сопряженные системы (гиперконъюгация). Условия образования сопряженных систем и способы графического изображения делокализованных связей.

Электронные смещения в молекулах органических соединений: индуктивный (I) и мезомерный (M) эффекты. Способы изображения электронных эффектов.

Тема 1.5. Реакционная способность органических соединений

Кислоты и основания в органической химии. Общие положения протолитической теории кислот и оснований Бренстеда – Лоури и теории Льюиса. Количественная характеристика силы кислот и оснований: pK_a , pK_B , pK_{BH^+} .

Представление о механизмах реакций органических соединений. Гомо-и гетеролитический разрыв ковалентных связей, промежуточные частицы (интермедиаты): свободные радикалы, карбокатионы, карбанионы, карбены.

Классификация органических реакций: а) по характеру превращения: реакции замещения, присоединения, элиминирования, циклоприсоединение, перегруппировки; б) по способу разрыва и образования связи: гетеролитические, гомолитические и перициклические реакции. Понятие о субстрате и реагенте. Классификация реагентов: нуклеофильные, электрофильные, радикальные. Символ химической реакции.

Теория переходного состояния. Постулат Хэммонда. Энергетический профиль одно- и двухстадийной реакции. Скоростьлимитирующая стадия реакции. Термодинамически и кинетически контролируемые химические реакции. Катализ.

Раздел 2. Углеводороды

Тема 2.1. Алканы

Гомологический ряд линейных алканов, номенклатура и изомерия. Названия алкильных групп. Природные источники алканов. Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, восстановление различных классов органических соединений, реакция Вюрца и родственные процессы (реакция Кори – Хауса), протолиз металлоорганических соединений, декарбоксилирование и электролиз солей карбоновых кислот (реакция Кольбе).

Электронное и пространственное строение алканов, длины связей и

валентные углы (sp^3 -гибридизация). Конформационная изомерия алканов: заслоненная, заторможенная, скошенная (гош-) конформации. Представление об относительных энергиях конформационных изомеров алканов.

Физические свойства алканов и их зависимость от длины углеродной цепи и степени ее разветвленности.

Химические свойства алканов. Общая характеристика реакционной способности. Общие представления о механизме цепных свободнорадикальных реакций замещения в алканах: галогенирование, сульфохлорирование, нитрование алканов (реакция Коновалова). Сравнение региоселективности реакций хлорирования и бромирования, относительная стабильность алкильных радикалов. Окисление и дегидрирование алканов. Термолиз алканов. Основные способы промышленной переработки углеводородов нефти.

Основные пути использования алканов.

Тема 2.2. Алициклические углеводороды

Номенклатура и классификация циклоалканов по размеру цикла, количеству циклов, их относительному расположению.

Виды напряжений циклов. Конформации и пространственное строение циклоалканов: циклопропана, циклобутана, циклопентана и циклогексана. Конформации циклогексана и его производных, экваториальные и аксиальные положения заместителей. Стереохимия моно- и дизамещенных циклоалканов. Физические свойства циклоалканов.

Способы получения алициклических углеводородов из ациклических предшественников. Реакции циклоприсоединения как важный метод синтеза трех-, четырех- и шестичленных карбоциклов: присоединение карбенов к кратным связям, димеризация алкенов, диеновый синтез. Гидрирование ароматических углеводородов.

Сравнение химических свойств циклопропана, циклобутана, циклопентана и циклогексана. Стереохимия реакций присоединения к циклогексенам. Общие представления о средних циклах и макроциклах.

Полициклические насыщенные углеводороды. Номенклатура и типы бициклических систем: соединения с изолированными циклами, спираны, конденсированные и мостиковые бициклы. Декалины и их пространственное строение. Представление о природных циклических системах терпенов и стероидов: ментол, пинены, камфора, холестерин. Каркасные соединения (адамantan). Представление о катенанах и ротаксанах.

Тема 2.3. Алкены

Классификация, номенклатура алкенов. Структурная и пространственная изомерия. *Z*-,*E*-Номенклатура. Способы введения двойной связи: дегидрирование алканов, частичное (парциальное) гидрирование алкинов, дегидрогалогенирование алкилгалогенидов и дегидратация спиртов (правило Зайцева), термическое разложение четвертичных аммониевых оснований (реакция Гофмана), и *N*-оксидов третичных аминов (реакция Коупа), восстановительное сочетание (реакция МакМарри) и олефинирование карбонильных соединений (реакция Виттига), метатезис алкенов.

Физико-химические параметры кратных связей (длина, энергия, поляризуемость). Электронное (sp^2 -гибридизация) и пространственное строение алкенов.

Химические свойства алкенов. Общие представления о реакционной способности алкенов. Проявление в теплотах гидрирования относительной стабильности структурных и геометрических изомеров алкенов.

Теоретические основы реакций электрофильного присоединения по связи $C=C$; общие представления о AdE -механизме. Региоселективность этих реакций: правило Марковникова и его современная интерпретация. Кабокатионы, их строение и факторы, влияющие на устойчивость. Стереохимия электрофильного присоединения. Присоединение галогенов, галогеноводородов, смешанных галогенидов, воды, спиртов. Реакции сольватомеркурирования.

Оксосинтез. Гидроборирование и его использование для восстановления и гидратации алкенов.

Реакции с участием свободных радикалов. Особенности радикального присоединения бромоводорода к несимметрично замещенным алкенам (присоединение по Харацу). Теломеризация алкенов.

Реакции восстановления Гетерофазное каталитическое гидрирование, гомогенное гидрирование.

Реакции окисления $C=C$ связи: эпоксицирование (реакция Прилежаева), *син*-дигидроксилирование (перманганатом калия по Вагнеру и тетраоксидом осмия), методы *анти*-дигидроксилирования. Окисление терминальных алкенов в карбонильные соединения, катализируемое солями палладия. Озонолиз алкенов, окислительное и восстановительное расщепление озонидов.

Реакции алкенов по аллильному положению: галогенирование, окисление, окислительный аммонолиз. Представление об электронном строении и устойчивости аллильного радикала, катиона и аниона.

Основные пути использования алкенов. Полимеризация алкенов как важный метод получения высокомолекулярных соединений.

Тема 2.4. Алкадиены

Классификация, номенклатура и изомерия. Важнейшие 1,3-диены и способы их получения реакциями дегидрирования, дегидрогалогенирования, дегидратации. Получение 1,3-бутадиена из этилового спирта (Лебедев). Синтезы на основе ацетиленов и его гомологов (реакции Реппе, Фаворского, различные варианты сочетания алкинов и продуктов их превращений).

Особенности электронного строения 1,3-бутадиена: сопряжение кратных связей (π, π -сопряжение). Представление о делокализованных π -МО сопряженных диенов. Пространственное строение сопряженных диенов (*s-цис*- и *s-транс*-конформации). Физические свойства диенов.

Химические свойства 1,3-диенов: каталитическое гидрирование, электрофильное присоединение галогенов и галогеноводородов. Образование в этих реакциях продуктов 1,2- и 1,4-присоединения. Представление о кинетическом и термодинамическом контроле состава продуктов.

Реакция Дильса — Альдера (диеновый синтез) как пример

перициклического процесса. Понятие о правилах Вудворда — Хофмана; представление о разрешенных и запрещенных по симметрии реакциях циклоприсоединения с позиций рассмотрения граничных МО реагентов.

Полимеризация и циклоолигомеризация 1,3-диенов. Природный и синтетический каучуки. Гуттаперча. Вулканизация каучука. Понятие об изопреноидах. Каротиноиды.

Аллены: электронное и пространственное строение. Представление об энантиомерии соединений, не содержащих асимметрического атома углерода. Особенности реакций присоединения к алленам.

Тема 2.5. Алкины

Классификация, номенклатура и изомерия алкинов. Карбидный и пиролизный методы получения ацетилена, применение ацетилена в синтезе гомологов. Способы образования тройной связи, основанные на реакциях дегидрогалогенирования.

Электронное строение алкинов (sp-гибридизация). Физические свойства алкинов.

Химические свойства алкинов. Сравнение реакционной способности алкинов и алкенов. Способы стереоселективного восстановления алкинов в алкены: каталитическое гидрирование, восстановление натрием в жидком аммиаке. Гидроборирование алкинов в синтезе алкенов, диенов, альдегидов. Региоселективные гидроборирующие агенты.

Реакции электрофильного и нуклеофильно присоединения по тройной связи алкинов: галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (реакция Кучерова), применение в синтезе практически важных винильных производных. Оксосинтез с использованием алкинов.

Реакции с участием C-H связи терминальных алкинов: кислотные свойства терминальных алкинов, ацетилениды металлов, реактивы Иоцича. Использование алкинов и ацетиленидов металлов в органическом синтезе, реакции Фаворского и Реппе. Изомеризация алкинов, ацетилен-алленовая перегруппировка.

Алкины как диенофилы. Циклоолигомеризация алкинов. Окислительное сочетание терминальных алкинов (реакция Глазера). Полиацетилен.

Основные пути применения алкинов.

Тема 2.6. Одноядерные ароматические углеводороды (арены)

Классификация аренов. Номенклатура и изомерия гомологов бензола. Получение ароматических углеводородов в промышленности: каталитический риформинг нефти, переработка коксового газа и каменноугольной смолы. Физические свойства бензола и его гомологов.

Электронное строение бензольного кольца и особенности химических свойств бензола: относительная устойчивость к окислению, склонность к реакциям замещения, теплоты реакций гидрирования и сгорания бензола, его образование в реакции диспропорционирования циклогексена и циклогексадиена («необратимый катализ» Зелинского). Понятие об ароматичности и ее критериях, правило Хюккеля. Небензоидные ароматические системы: циклопропенилий и тропилий-катионы,

циклопентадиенил-анион, азулен, аннулены.

Химические свойства аренов. Реакции, протекающие с потерей ароматичности: хлорирование на свету, озонирование, окисление, гидрирование бензола, восстановление натрием в жидком аммиаке до дигидробензола (восстановление по Берчу).

Реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду: нитрование, сульфирование, галогенирование, алкилирование, ацилирование (реакция Фриделя-Крафтса). Общая схема и механизм реакций $S_E(Ar)$: π - и σ -комплексы (аренониевые ионы). Влияние заместителя на скорость и направление S_E -реакций. Классификация заместителей: электронодонорные и электроноакцепторные, активирующие и дезактивирующие, ориентанты I и II рода. Согласованная и несогласованная ориентация заместителей в дизамещенных производных бензола. Примеры S_E -реакции производных бензола, содержащих электронодонорные или электроноакцепторные заместители в кольце. Значение реакций электрофильного замещения для функционализации и промышленной переработки аренов.

Алкилбензолы. Способы получения с использованием реакций алкилирования и ацилирования бензола, реакция Вюрца — Фиттига и другие процессы кросс-сочетания, восстановление жирноароматических кетонов. Химические свойства. Реакции электрофильного замещения в бензольном кольце алкилбензолов и особенности ориентации в этих реакциях. Протонирование полиалкилбензолов, образование стабильных аренониевых ионов. Дезалкилирование, диспропорционирование, изомеризация алкилбензолов. Реакции радикального замещения и окисления в боковой цепи. Причины устойчивости бензильных радикалов. Озонолиз алкилбензолов.

Стирол, стильбены, фенилацетилен.

Тема 2.7. Многоядерные арены

Общие представления о производных дифенилметана, трифенилметана, дифенила. Атропоизомерия в ряду дифенила.

Нафталин. Источники нафталина и других многоядерных углеводородов. Номенклатура и изомерия производных нафталина, его электронное строение и ароматичность. Химические свойства нафталина: каталитическое гидрирование и восстановление натрием в жидком аммиаке. Окисление нафталина и его производных. Реакции электрофильного замещения в нафталиновом ядре. Сульфирование нафталина в условиях кинетического и термодинамического контроля.

Антрацен, фенантрен: электронное строение и ароматичность, особенности химических свойств.

Раздел 3. Гомофункциональные соединения

Тема 3.1. Галогенопроизводные углеводородов

Моногалогенозамещенные алканы, их номенклатура и изомерия. Способы образования связи углерод-галоген при насыщенном атоме углерода: замещение атома водорода, реакции присоединения по кратной связи,

замещение гидроксильной группы. Особенности синтеза фторалканов.

Полярность и поляризуемость связи C—Hal. Физические свойства галогеналканов.

Химические свойства галогеналканов. Реакции нуклеофильного замещения атома галогена как метод получения органических соединений различных классов (спиртов, простых и сложных эфиров, тиолов, сульфидов, аминов, нитроалканов, нитрилов, соединений фосфора). Представление об «идеализированных» механизмах реакций нуклеофильного замещения S_N1 и S_N2 , экспериментальных подходах к их установлению. Кинетика, стереохимия, энергетический профиль, влияние природы субстрата, реагента и растворителя на скорость реакций S_N1 и S_N2 -типов. Анхимерное содействие. Перегруппировки карбокатионов в ходе S_N1 реакций. Орбитальный и зарядовый контроль региоселективности реакций амбидентных нуклеофилов (правило Корнблюма). Смешанный и ион-парный механизмы.

Реакции элиминирования (дегидрогалогенирование) в синтезе алкенов. Механизмы $E1$, $E2$ и $E1cB$. Теория переменного переходного состояния при механизме $E2$. Региоселективность элиминирования. Правило Зайцева. Элиминирование по Гофману. Стереохимические особенности реакций элиминирования. Конкуренция реакций замещения и элиминирования. Факторы, определяющие предпочтительное протекание процессов элиминирования или замещения.

Восстановление моногалогеналканов (замещение галогена на водород). Окисление первичных галогеналканов (Корнблюм).

Полигалогенопроизводные простейших углеводов: ди-, три- и тетрахлорметаны, гексахлорциклогексан, фреоны. Способы получения и применение.

Соединения с повышенной подвижностью атома галогена. Аллил- и бензилгалогениды, способы их получения и особенности химических свойств. Аллильные перегруппировки. Хлорметилирование ароматических соединений. Ди- и трифенилхлорметаны. Стабилизированные радикалы и карбокатионы.

Соединения с пониженной подвижностью атома галогена. Винилхлорид и хлоропрен. Способы их получения, химические свойства и применение. Полихлорированные и полифторированные производные этилена. Тефлон.

Ароматические галогенпроизводные, способы получения: галогенирование ароматических углеводов, синтез из солей диазония. Реакции нуклеофильного замещения атома галогена в галогенаренах. Механизм отщепления-присоединения. Генерирование и фиксация дегидробензола. Механизм присоединения-отщепления, примеры реакций и активирующее влияние электроноакцепторных заместителей. Анионные σ -комплексы Мейзенгеймера и их строение. Викариозное замещение.

Тема 3.2. Металлоорганические соединения

Способы получения из галогенпроизводных и углеводов, обладающих СН-кислотностью. Роль растворителя в синтезе реактивов Гриньяра. Равновесие Шленка. Природа связи углерод—металл. Химические

свойства магний-, цинк- и литийорганических соединений: взаимодействие с протонодонорными соединениями, галогенопроизводными углеводородов, галогенами, кислородом, карбонильными соединениями, производными карбоновых кислот, оксиранами и диоксидом углерода. Использование в синтезе других элементоорганических соединений. Диалкил- и диарилкупраты.

Особенности реакций органических соединений переходных металлов. Примеры реакций сочетания (образования С—С связи) при участии галогенопроизводных, катализируемые комплексными соединениями переходных металлов.

Тема 3.3. Спирты

Классификация, номенклатура, изомерия спиртов.

Одноатомные насыщенные спирты. Основные способы получения спиртов: гидратация алкенов, гидролиз галогенпроизводных углеводородов, восстановление карбонильных соединений и сложных эфиров, синтезы с использованием металлоорганических соединений. Промышленные способы получения простейших алифатических спиртов, циклогексанола.

Строение спиртов. Физические свойства спиртов.

Химические свойства спиртов: кислотно-основные свойства, замещение гидроксильной группы на галоген действием галогеноводородов и галогенангидридов минеральных кислот, дегидратация; рассмотрение этих реакций с позиций общих представлений о механизмах нуклеофильного замещения и отщепления в алифатическом ряду. Способы активации ОН группы в реакциях замещения и элиминирования. Синтез, свойства, синтетическое использование алкиловых эфиров минеральных кислот. Диметилсульфат как метилирующий реагент. Эфиры сульфоновых кислот (сульфонаты). Спирты и алкоголяты как нуклеофильные агенты, их взаимодействие с галогенопроизводными углеводородов (синтез простых эфиров по Вильямсону). Присоединение спиртов к олефинам, ацетиленовым соединениям, взаимодействие с карбонильными соединениями, карбоновыми кислотами и их производными. Дериватизация спиртов с целью защиты гидроксильной группы.

Методы окисления спиртов. Реакция Опенауэра.

Ненасыщенные спирты. Аллиловый спирт. Методы синтеза, химические свойства и их особенности, связанные с аллильным положением гидроксильной группы. Эпоксидирование аллиловых спиртов по Шарплессу. Понятие об асимметрическом синтезе. Пропаргиловый спирт. Виниловый спирт и его производные. Винацетат и полимеры на его основе. Природные ненасыщенные спирты.

Бензиловый спирт, ди- и трифенилкарбинолы, методы синтеза и химические свойства.

Тема 3.4. Многоатомные спирты

Гликоли, способы их получения, физические и химические свойства: окисление тетраацетатом свинца и иодной кислотой, взаимодействие с гидроксидом меди и борной кислотой, дегидратация, пинаколиновая перегруппировка. Этиленгликоль, ди- и полиэтиленгликоли, глицерин,

пентаэритрит, ксилит, сорбит, инозит. Эфиры многоатомных спиртов и азотной кислоты.

Тема 3.5. Фенолы

Классификация, изомерия и номенклатура фенолов. Фенол и его гомологи. Нафтолы. Многоатомные фенолы.

Способы введения гидроксильной группы в ароматическое ядро: щелочное плавление солей сульфокислот, гидролиз галогенопроизводных, замена аминогруппы на гидроксил через соли диазония, кумольный способ получения фенола.

Строение молекулы фенола. Физические свойства фенолов.

Химические свойства. Причины повышенной кислотности фенолов по сравнению с алифатическими спиртами, влияние заместителей на кислотность фенолов. Получение фенолятов, простых и сложных эфиров фенолов. Перегруппировка Кляйзена аллиловых эфиров фенолов.

Реакции электрофильного замещения: галогенирование, сульфирование, нитрование, алкилирование. Перегруппировка Фриса сложных эфиров фенолов как метод С-ацилирования фенолов. Конденсация фенолов с формальдегидом, фенолформальдегидные смолы. Специфические реакции электрофильного замещения, характерные для фенолов и фенолятов: карбоксилирование (реакция Кольбе — Шмитта), нитрозирование, азосочетание, введение ацильной и формильной групп (реакции Гаттермана, Хеша, Раймера — Тимана, Вильсмайера — Хаака).

Гидрирование и окисление фенолов. Стабильные феноксильные радикалы. Фенольные стабилизаторы полимерных материалов. Основные пути использования замещенных фенолов.

Тема 3.6. Простые эфиры

Классификация, номенклатура, изомерия простых эфиров.

Диалкиловые эфиры, способы получения, основанные на реакциях присоединения спиртов к алкенам, взаимодействия алкилгалогенидов с алкоголями, дегидратации спиртов. Использование этих реакций для защиты ОН группы.

Взаимодействие с протонными кислотами и кислотами Льюиса. Реакции расщепления и окисления простых эфиров. Образование гидропероксидов, их обнаружение и разложение.

Виниловые эфиры, их получение и гидролиз. Жирноароматические и ароматические простые эфиры.

Циклические простые эфиры. Тетрагидрофуран. 1,4-Диоксан. Краун-эфиры, комплексообразование с ионами металлов, применение в межфазном катализе. Оксираны, способы получения реакциями окисления олефинов (реакция Прилежаева) и циклизации галогенгидринов. Взаимодействие оксиранов с галогеноводородами, водой, спиртами, этиленгликолем, аммиаком и аминами, магнийорганическими соединениями, регионаправленность этих реакций (правило Красуского). Изомеризация оксиранов под действием кислот и оснований. Эпихлоргидрин.

Тема 3.7. Органические соединения серы

Классификация и номенклатура. Тиоспирты (меркаптаны), тиоэфиры (сульфиды), сульфоксиды, сульфоны, сульфокислоты и их производные. Основные способы получения и химические свойства. Сульфониевые соли и илиды серы, использование в реакциях эпоксидирования и циклопропанирования.

Тема 3.8. Карбонильные соединения: получение и реакции по карбонильной группе

Классификация, изомерия и номенклатура. Альдегиды и кетоны, промышленные методы синтеза важнейших представителей. Общие способы образования карбонильной группы: окисление алканов и алкиларенов, озонлиз и каталитическое окисление олефинов, оксосинтез, гидратация алкинов (реакция Кучерова, гидроборирование–окисление), гидролиз геминальных дигалогенидов и виниловых эфиров, окисление и дегидрирование спиртов, первичных алкил- и бензилгалогенидов, тозилатов, окислительное расщепление гликолей, изомеризация оксиранов и пинаколиновая перегруппировка. Синтез альдегидов и кетонов из карбоновых кислот и их производных: восстановление хлорангидридов (реакция Розенмунда–Зайцева) и нитрилов, реакции производных карбоновых кислот с металлоорганическими соединениями, пиролиз солей карбоновых кислот и его каталитические варианты.

Синтез макроциклических кетонов (работы Ружички). Мускон, циветон. Получение ароматических карбонильных соединений ацилированием аренов (реакция Фриделя–Крафтса и родственные процессы).

Электронное строение карбонильной группы. Физические свойства альдегидов и кетонов.

Химические свойства. Общие представления о механизме реакций нуклеофильного присоединения по карбонильной группе альдегидов и кетонов, роль кислотного и основного катализа, относительная реакционная способность альдегидов и кетонов. Стереохимические аспекты нуклеофильного присоединения к хиральным альдегидам и кетонам (правило Крама, модель Фелкина–Ана). Присоединение гетероатомных нуклеофилов: гидратация, образование полуацеталей, ацеталей и их тиоаналогов, бисульфитных производных, *гем*-дигалогенидов. Применение этих процессов для защиты, восстановления и обращения полярности карбонильной группы, а также выделения и очистки карбонильных соединений. Циклоолигомеризация и полимеризация альдегидов (триоксан, паральдегид, параформ). Взаимодействие с азотцентрированными нуклеофилами: реакции с первичными и вторичными аминами (имины, енамины), получение оксимов, гидразонов, азинов, замещенных гидразонов и семикарбазонов. Особенности реакции формальдегида с аммиаком (уротропин). Действие уротропина на бензилгалогениды (реакция Соммле). Геометрическая изомерия оксимов; перегруппировка Бекмана и родственные процессы. Восстановление оксимов, иминов. Восстановительное аминирование карбонильных соединений (реакция Лейкарта–Валлаха). Катализируемое основанием разложение гидразонов как способ восстановления карбонильных соединений (реакция

Кижнера–Вольфа). Взаимодействие карбонильных соединений с C-нуклеофилами: цианидами, металлоорганическими соединениями, алкинами, илидами фосфора (реакция Виттига и ее модификации) и серы, алкенами и фенолами. Бензоиновая конденсация.

Тема 3.9. Реакции карбонильных соединений по углеводородной части молекулы

CН-Кислотность карбонильных соединений и кето-енольная таутомерия. Реакции с участием α -метиленового звена альдегидов и кетонов: галогенирование и галоформное расщепление, нитрозирование, алкилирование. Альдольно-кетоновая конденсация и ее механизм при кислотном и основном катализе. Конденсация Кляйзена–Шмидта. Способы управления региоселективностью перекрестной альдольной конденсации. Использование сильных пространственно затрудненных оснований (LDA) для генерирования енолятов. Использование синтетических эквивалентов енолятов (енаминов, силиловых эфиров енолов). Конденсация альдегидов и кетонов с соединениями других типов, содержащих активную метиленовую группу (реакция Кневенагеля). Реакция Манниха.

Реакции электрофильного замещения в ароматических альдегидах и кетонах.

Тема 3.10. Окислительно-восстановительные реакции карбонильных соединений

Окисление альдегидов до карбоновых кислот, окисление кетонов без разрыва и с разрывом углерод-углеродных связей. Реакция Байера–Виллигера. Способы окисления по α -положению к карбонильной группе.

Каталитическое гидрирование карбонильных соединений, восстановление комплексными гидридами металлов, спиртами в присутствии алкоголятов алюминия (равновесие Меервейна–Понндорфа–Верлея, реакция Тищенко), амальгамированным цинком и соляной кислотой (реакция Клемменсена), восстановление кетонов металлами с образованием пинаконов. Металл-кетилы. Реакция МакМарри. Взаимодействие неенолизирующихся альдегидов со щелочами (реакции Канниццаро).

Тема 3.11. Дикарбонильные соединения. α,β -Непредельные карбонильные соединения. Хиноны

Классификация дикарбонильных соединений. Особенности химических свойств 1,2-, 1,3- и 1,4-дикарбонильных соединений. Глиоксаль, диацетил и его диоксим, бензил. Ацетилацетон (таутомерия, хелатные металлические комплексы).

Общие методы синтеза α,β -непредельных альдегидов и кетонов. Электронное строение и связь с реакционной способностью α,β -непредельных карбонильных соединений. Химические свойства α,β -непредельных альдегидов и кетонов: реакции 1,2- и 1,4-присоединения воды, спиртов, галогеноводородов, аммиака и аминов, циановодорода, металлоорганических соединений и CН-активных соединений (реакция Михаэля). Аннелирование (Робинсон). Реакции мягкого и жесткого окисления,

в том числе эпоксидирование пероксидами в присутствии оснований (реакция Вейца–Шеффера). Восстановление α,β -непредельных альдегидов и кетонов.

Хиноны. Номенклатура, классификация. Способы получения *o*- и *p*-бензо- и нафтохинонов, 9,10-антрахинона. Свойства хинонов: получение моно- и диоксимов, присоединение хлороводорода, анилина, реакция с диенами. Сопоставление свойств хинонов и α,β -непредельных кетонов. Окислительно-восстановительные свойства хинонов. Хингидрон. 2,3-Дихлор-5,6-дициано-1,4-бензохинон (DDQ). Представление о природных соединениях ряда хинонов.

Кетены. Способы получения. Химические свойства кетенов: ацилирование кетенами нуклеофильных реагентов, димеризации.

Тема 3.12. Карбоновые кислоты

Алифатические и ароматические одноосновные карбоновые кислоты и их производные: классификация и номенклатура.

Способы получения: реакции окисления углеводов, спиртов и карбонильных соединений, реакции гидролиза нитрилов и сложных эфиров, синтеза с использованием магний- и литийорганических реагентов, оксида углерода(II), малонового эфира (Конрад), галоформная реакция. Природные источники карбоновых кислот. Высшие карбоновые (жирные) кислоты: пальмитиновая, стеариновая.

Физические свойства карбоновых кислот, образование ассоциатов. Строение карбоксильной группы.

Химические свойства. Кислотно-основные свойства, влияние строения ОН- кислот их на кислотные свойства. Реакции карбоновых кислот и их производных: реакции декарбоксилирования, восстановления, СН-кислотность, α -галогенирование (реакция Гелля–Фольгарда–Зелинского). Реакции замещения ароматических карбоновых кислот в бензольном кольце.

Общие представления о реакциях ацилирования (нуклеофильного замещения у ацильного С-атома) и их механизме, роль кислотного и основного катализа. Влияние строения субстрата на скорость реакции ацилирования.

Тема 3.13. Производные карбоновых кислот

Соли карбоновых кислот. Способы получения. Химические свойства: гидролиз, реакции декарбоксилирования и ее каталитические варианты, анодное окисление карбоксилат-анионов (реакция Кольбе), действие галогенов на серебряные соли (реакция Бородина–Хунсдиккера), соли как нуклеофильные реагенты. Мыла.

Галогенангидриды. Способы получения. Химические свойства: реакции с нуклеофилами и использование хлорангидридов в качестве ацилирующих средств, ацилирование по Шоттен–Бауману, восстановление в альдегиды, реакции с магнийорганическими соединениями, реакция Арндта–Эйстера.

Ангидриды карбоновых кислот. Способы получения. Химические свойства: реакции ацилирования, реакция Перкина.

Сложные эфиры. Способы получения: реакции ацилирования спиртов и фенолов с использованием карбоновых кислот (реакция этерификации и ее механизм), ангидридов, хлорангидридов, кетенов и другие методы. Химические свойства сложных эфиров. Реакции гидролиза с использованием кислотного и

основного катализа, классификация механизмов по Ингольду. Переэтерификации, взаимодействие сложных эфиров с аминами, с реактивами Гриньяра, особенности его протекания в присутствии алкоксидов титана (реакция Кулинковича). Восстановление сложных эфиров комплексными гидридами металлов, щелочными металлами в спиртах (метод Буво–Блана). Ацилоиновая конденсация. Реакции с участием α -С-атома: сложноэфирная конденсация (реакция Кляйзена), конденсация с кетонами. Важнейшие представители сложных эфиров и их использование.

Амиды. Способы получения из карбоновых кислот и их производных, из оксимов (перегруппировка Бекмана). Строение амидной группы. Химические свойства амидов. Основность и кислотность, гидролиз амидов, алкилирование и ацилирование. Генерирование и перегруппировка ацилнитренов (реакция Гофмана и родственные ей превращения азидов и гидроксамовых кислот). Реакция амидов с азотистой кислотой. Восстановление амидов. Важнейшие представители амидов и их использование.

Нитрилы. Способы получения: из галогенпроизводных углеводородов, амидов карбоновых кислот и альдоксимов. Химические свойства: гидролиз в кислой и щелочной среде, алкоголиз, взаимодействие с третичными спиртами (реакция Риттера), восстановление нитрилов, реакции с металлоорганическими соединениями.

Нитрилоксиды. Способы получения. Реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения.

Тема 3.14. Дикарбоновые кислоты. Непредельные карбоновые кислоты. Общие методы синтеза дикарбоновых кислот, способы получения важнейших представителей.

Химические свойства. Кислотность и отношение к нагреванию в зависимости от взаимного расположения карбоксильных групп. Реакции конденсации производных дикарбоновых кислот: сложноэфирная конденсация диэтилоксалата, конденсация Дикмана, ацилоиновая конденсация, реакция Кневенагеля. Малоновый эфир: получение и химические свойства. Синтезы на основе малонового эфира для получения карбоновых кислот (синтезы Конрада) и циклических соединений. Важнейшие представители дикарбоновых кислот и их практическое применение.

Непредельные карбоновые кислоты и их производные. Способы получения α,β -непредельных карбоновых кислот. Электронное строение, взаимное влияние карбоксильной группы и связи $C=C$. Химические свойства. Кислотность. Реакции 1,2- и 1,4-присоединения к α,β -непредельным карбоновым кислотам и их производным: присоединение воды, аммиака и аминов, галогеноводородов. Реакции диенового синтеза, окисления, восстановления и полимеризации. Полиметилметакрилат, полиакрилонитрил.

Ненасыщенные жирные кислоты. Природные источники и практическое значение олеиновой, линолевой, линоленовой, арахидоновой кислот. Понятие о простагландинах. Липиды, жиры, масла.

Непредельные дикарбоновые кислоты. Малеиновая и фумаровая кислоты. Зависимость их химических свойств от пространственного строения.

Малеиновый ангидрид и ацетилендикарбоновая кислота в диеновом синтезе.

Тема 3.15. Производные угольной кислоты

Способы получения и химические свойства фосгена, мочевины, эфиров угольной и хлоругольной кислот, изоцианатов, уретанов, семикарбазида, ксантогенатов, гуанидина.

Тема 3.16. Нитросоединения.

Классификация, номенклатура, изомерия нитросоединений. Способы получения нитросоединений: нитрование углеводородов, обмен атома галогена на нитрогруппу, окисление аминов и оксимов, синтез ароматических нитросоединений, из аминов через соли диазония.

Физические свойства нитросоединений. Строение нитрогруппы, характеристика реакционной способности нитросоединений.

Химические свойства. Восстановление нитрогруппы: влияние условий проведения реакции на строение образующихся продуктов восстановления (реакция Зинина. Продукты неполного восстановления ароматических нитросоединений: нитрозосоединения (димеризация), фенилгидроксиламин, азоксибензол, азобензол, гидразобензол. Бензидиновая перегруппировка.

Реакции нитроалканов с участием α -углеродного атома: С-Н-кислотность и таутомерия первичных и вторичных алифатических нитросоединений, гидролитическое расщепление нитроалканов и солей нитроновых кислот (реакция Нефа). Реакции первичных и вторичных нитроалканов с азотистой кислотой (нитрозирование), конденсация с карбонильными соединениями (реакция Анри), алкилирование. Синтез нитрилоксидов. Реакции ароматических нитросоединений по бензольному кольцу (S_E - и S_N -реакции): электрофильное замещение и влияние нитрогруппы как заместителя на скорость и ориентацию в этих реакциях; нуклеофильное замещение в нитроаренах.

Тема 3.17. Амины.

Классификация, номенклатура аминов.

Способы получения. Реакции нуклеофильного замещения в ряду галоген- и гидроксипроизводных углеводородов, восстановления нитросоединений, азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, перегруппировки *N*-галогенамидов по Гофману, азидов по Курциусу, фталимидный метод (синтез Габриэля). Замещение гидроксигруппы на аминогруппу в 2-нафтоле (реакция Бухерера).

Физические свойства аминов. Строение алифатических и ароматических аминов. Инверсия асимметрического N-атома.

Характеристика реакционной способности аминов, роль неподеленной электронной пары азота. Химические свойства. Кислотные и основные свойства аминов, влияние строения соединения на его основность. Проявление нуклеофильных свойств аминов в реакциях алкилирования с галогенуглеводородами, спиртами, эпоксидами и в реакциях ацилирования производными карбоновых кислот. Реакции аминов с карбонильными соединениями, с азотистой кислотой и другими реагентами.

Окисление алифатических и ароматических аминов. Разложение *N*-

оксидов третичных аминов с образованием олефинов (реакции Коупа).

Особенности химических свойств четвертичных аммониевых производных. Реакция разложения четвертичных аммониевых оснований с образованием олефинов (реакция Гофмана). Четвертичные аммониевые соли как катализаторы межфазного переноса.

Реакции электрофильного замещения в ароматических аминах. Способы защиты аминогруппы.

Сульфаниловая кислота и сульфаниламидные препараты.

Тема 3.18. Диазо- и азосоединения

Классификация, номенклатура диазо- и азосоединений.

Арендiazониевые соли, их образование диазотированием ароматических аминов (реакция Грисса). Факторы, влияющие на реакцию диазотирования. Физические свойства и строение солей диазония, условия относительную устойчивость.

Реакции солей диазония, протекающие с выделением азота, их использование для получения функциональных производных ароматических соединений и для удаления аминогруппы. Арилирование ароматических и ненасыщенных соединений. Реакции солей диазония, протекающие без выделения азота: восстановление до арилгидразинов, азосочетание как реакция электрофильного замещения. Азо- и диазосоставляющие, условия сочетания с аминами и фенолами. Азокрасители.

Диазосоединения алифатического ряда. Диазометан, диазоуксусный эфир: получение и химические свойства. Синтезы на их основе: циклопропанирование кратной связи, метилирование ОН групп в карбоновых кислотах, спиртах, фенолах, взаимодействие с карбонильными соединениями и хлорангидридами карбоновых кислот (синтез Арндта–Эйстера).

Тема 3.19. Органические соединения фосфора

Типы органических соединений фосфора, фосфины, эфиры фосфористой и фосфорной кислот. Фосфониевые соли и илиды фосфора. Использование органических соединений фосфора в промышленности и тонком органическом синтезе.

Раздел 4. Гетерофункциональные соединения

Тема 4.1. Углеводы

Номенклатура и классификация углеводов.

Моносахариды, важнейшие пентозы и гексозы. Стереизомерия, конфигурационные ряды. Физические свойства. Пиранозные и фуранозные формы, α - и β -аномеры. Формулы Хеуорса. Конформационная изомерия. Кольчато-цепная таутомерия. Мутаротация. Эпимеризация.

Химические свойства моносахаридов: реакции, протекающие при участии карбонильной и гидроксильной группы. Окисление, восстановление, образование фенилгидразонов и озаонов, переходы от низших моносахаридов к высшим и обратно (синтез Килиани–Фишера, деградация по Волю), алкилирование, ацилирование. Гликозиды.

Дисахариды. Классификация, номенклатура. Химические свойства.

Полисахариды: целлюлоза и крахмал.

Тема 4.2. Гидроксикарбоновые кислоты

Классификация, номенклатура, изомерия гидроксикислот. Общие и специфические способы получения алифатических α -, β -, γ - гидроксикислот. Циангдриновый синтез, из аминокислот, реакции гидролиза, окисления и восстановления соответствующих исходных, реакция Реформатского. Синтез гидроксibenзойных кислот карбоксилированием фенолятов по Кольбе–Шмитту. Аспирин. Химические свойства. Реакции по OH- и COOH-группе. Реакции замещения OH группы в α -гидроксикислотах и их стереохимические особенности. Работы Вальдена. Направленность процесса дегидратации в зависимости от взаимного расположения карбоксильной и гидроксигруппы. Лактиды, лактоны. Важнейшие представители алифатических и ароматических гидроксикарбоновых кислот: гликолевая, молочная, яблочная, винная кислоты и салициловая, пара-гидроксibenзойная, галловая кислоты.

Тема 4.3. Оксокарбоновые кислоты

Классификация, номенклатура, изомерия оксокислот. Способы получения пировиноградной (α -) и ацетоуксусной (β -оксокислота) кислоты. Химические свойства. Кислотность. Декарбоксилирование и декарбонилирование пировиноградной кислоты.

Ацетоуксусный эфир как типичный представитель β -кетозэфиров, его SN-кислотность, таутомерия, двойственная реакционная способность. Реакции по кето-форме: с циановодородом, гидроксиламином и производными гидразина. Реакции по енольной форме: бромирование, ацилирование, алкилирование, образование хелатов. Декарбоксилирование. Синтез кетонов и карбоновых кислот на основе ацетоуксусного эфира (кетонное и кислотное расщепление). Конденсация Кневенагеля, присоединение по Михаэлю.

Тема 4.4. Аминокислоты

Классификация, номенклатура, изомерия аминокислот.

α -Аминокислоты. Стереохимия и конфигурационные ряды. Физические свойства. Общие и специфические способы получения α -аминокислот: синтезы из альдегидов и кетонов (синтез Штреккера), галоген- и кетокислот. Методы синтеза β -аминокислот, основанные на реакциях непредельных и дикарбоновых кислот (метод Родионова).

Химические свойства аминокислот. Кислотно-основные свойства аминокислот и зависимость их строения от pH среды. Изоэлектрическая точка. Реакции с участием карбоксильной группы: образование производных, декарбоксилирование. Реакции с участием аминогруппы: алкилирование (образование бетаинов), ацилирование, взаимодействие с азотистой кислотой. Превращения аминокислот, протекающие при нагревании, и зависимость их результата от взаимного расположения функциональных групп. Дегидратация α -аминокислот с образованием дикетопиперазинов. Качественные реакции α -аминокислот.

Важнейшие представители АК. γ -Аминомасляная кислота. Антраниловая и *n*-аминобензойная кислоты. Капролактамы и его техническое значение.

Пептиды и белки, их структура и классификация, биологическая роль. С- и N-концевые аминокислоты. Методы установления первичной структуры белков. Представление о пептидном синтезе.

Раздел 5. Гетероциклические соединения.

Тема 5.1. Классификация гетероциклических систем

Классификация, номенклатура (система Ганча–Видмана).

Тема 5.2. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом

Фуран, тиофен, пиррол, их ароматичность. Способы получения: синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (метод Пааля–Кнорра), из углеводов, взаимопревращения пятичленных гетероциклов (цикл Юрьева). Физические свойства.

Химические свойства. Реакции электрофильного замещения в фуране, пирроле, тиофене: нитрование, сульфирование, ацилирование, бромирование и др. Ацидофобность фурана и пиррола. Кислотные свойства пиррола и их использование в синтезе. Реакции восстановления и циклоприсоединения.

Индол и его производные. Методы построения индольного ядра, основанные на использовании ароматических аминов и арилгидразонов (синтез Фишера). Регионаправленность реакций электрофильного замещения в индоле.

Тема 5.3. Пятичленные гетероциклы с двумя гетероатомами

Пиразол, имидазол, бензимидазол. Таутомерия и кислотно-основные свойства азолов. Соли 1,3-диалкилимидазолия.

Тема 5.4. Шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом

Пиридин и его гомологи. Номенклатура и изомерия производных. Способы получения: из 1,5-дикарбонильных соединений, синтез Ганча.

Химические свойства. Ароматичность и основность пиридинового цикла. Проявление нуклеофильных свойств: реакции с электрофилами по атому азота. Особенности реакций электрофильного замещения в ядре пиридина. Аминирование как реакция нуклеофильного замещения (реакция Чичибабина). СН-Кислотность алкилпиридинов и связанные с ней свойства. Окисление пиридина и его гомологов. N-оксид пиридина и его свойства.

Хинолин и изохинолин. Методы построения хинолинового ядра (синтезы Скраупа и Дебнера–Миллера). Основность и нуклеофильность хинолина, реакции электрофильного замещения.

Азотсодержащие гетероциклы в природе. Понятие об алкалоидах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Общие представления в органической химии	12		2	12			
1.1	Введение.	2						Опрос
1.2	Строение, классификация и номенклатура органических соединений.	2			6			Опрос, отчет по лабораторным работам
1.3	Изомерия органических соединений	4						Опрос
1.4	Электронные представления в органической химии	2		2				Опрос, учебная дискуссия
1.5	Реакционная способность органических соединений	2			6			Опрос, отчет по лабораторным работам
2	Углеводороды	28		14	24		6	
2.1	Алканы	4		2			2 (ДОТ)	Опрос, учебная дискуссия. Контрольная работа по разделу 1, теме 2.1.
2.2	Алициклические углеводороды	2		2				Опрос, учебная дискуссия
2.3	Алкены	8		2	12			Опрос, учебная дискуссия, отчеты по лабораторным работам
2.4	Алкадиены	2		2				Опрос, учебная дискуссия

2.5	Алкины	4		2			2	Опрос, учебная дискуссия, контрольная работа по темам 2.2-2.5
2.6	Одноядерные ароматические углеводороды (арены)	6		2	12			Опрос, учебная дискуссия, отчеты по лабораторным работам
2.7	Многоядерные арены	2		2			2	Опрос, учебная дискуссия, контрольная работа по темам 2.6-2.7
3	Гомофункциональные соединения	66		28	84		8	
3.1	Галогенопроизводные углеводородов	8		4	12			Опрос, учебная дискуссия, решение открытых эвристических заданий, отчет по лабораторным работам
3.2	Металлоорганические соединения	2						Опрос
3.3	Спирты.	4		2	12			Опрос, учебная дискуссия Отчет по лабораторным работам
3.4	Многоатомные спирты	2						Опрос
3.5	Фенолы	2		2			2	Опрос, учебная дискуссия, контрольная работа по темам 3.1–3.5
3.6	Простые эфиры.	2			6			Опрос, Отчет по лабораторным работам
3.7	Органические соединения серы							
3.8	Карбонильные соединения: получение и реакции по карбонильной группе	10		4	12			Опрос, учебная дискуссия, отчет по лабораторным работам
3.9	Реакции карбонильных соединений по углеводородной части молекулы	4		2	12			Опрос, учебная дискуссия, решение открытых эвристических заданий, отчет по лабораторным работам
3.10	Окислительно-восстановительные реакции карбонильных соединений	2		2				Опрос, учебная дискуссия, решение открытых эвристических заданий,

3.11	Дикарбонильные соединения. α,β - Непредельные карбонильные соединения. Хиноны	2				2	Опрос, контрольная работа по темам 3.8-3.11
3.12	Карбоновые кислоты	4		2			Опрос, учебная дискуссия
3.13	Производные карбоновых кислот	4		2	12		Опрос, учебная дискуссия, отчет по лабораторным работам
3.14	Дикарбоновые кислоты.	4		2			Опрос, учебная дискуссия
3.15	Непредельные карбоновые кислоты Производные угольной кислоты	2				2	Опрос, контрольная работа по темам 3.12-3.15
3.16	Нитросоединения	4		2	6		Опрос, учебная дискуссия, отчет по лабораторным работам, контрольная работа
3.17	Амины.	4		2			Опрос, учебная дискуссия
3.18	Диазо- и азосоединения	4		2	12	2	Опрос, учебная дискуссия, отчет по лабораторным работам, контрольная работа по темам 3.16- 3.18
3.19	Органические соединения фосфора	2					Опрос
4	Гетерофункциональные соединения	10		4		2	
4.1	Углеводы	4		2			Опрос, учебная дискуссия
4.2	Гидроксикарбоновые кислоты	2		2			Опрос, учебная дискуссия
4.3	Оксокарбоновые кислоты	2					Опрос
4.4	Аминокислоты	2					Опрос,
5	Гетероциклические соединения	4		2	12		
5.1	Классификация гетероциклических систем.						
5.2	Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом	4		2	12	2 (ДОТ)	Опрос, учебная дискуссия, отчет по лабораторным работам., контрольная работа по разделам 4, 5
5.3	Пятичленные гетероциклы с двумя гетероатомами						
5.4	Шестичленные гетероциклы с одним						

	гетероатомом							
	ИТОГО (за уч. год)	120		50	132		12 4 (ДОТ)	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

Учебники:

1. Реутов, О. А. Органическая химия : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению и специальности "Химия": в 4 ч. / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. - 9-е изд. - Москва : Лаборатория Знаний, 2021.
2. Травень, В. Ф. Органическая химия. В 3-х томах / В. Ф. Травень – М.: Лаборатория знаний, 2021.
3. Органическая химия : учебник для вузов / Н. А. Тюкавкина, С.Э. Зурабян, В.Л. Белобородов. Под ред. Н. А. Тюкавкиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 640 с.

Задачники и практические руководства:

4. Ильина Н. А., Бекиш А. В., Исаков В. Е., Коник Ю. А. Лабораторные работы по органической химии: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. – Минск: БГУ, 2020.
5. Агрономов А.Е. Сборник задач по органической химии. – М.: Изд. МГУ, 2000. – 160 с.
6. Курц А. Л., Ливанцов М. В., Чепраков А. В., Ливанцова Л. И., Зайцева Г. С., Кабачник М. М. Задачи по органической химии с решениями. – М.: БИНОМ, 2004. – 264 с.
7. Органикум: в 2 т. / Х. Беккер [и др.]; пер. с нем. – М. : Мир, 2008.
8. Практикум по органической химии: учеб. для высш. шк. / В. И. Теренин [и др.]; под ред. Н. С. Зефирова. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 568 с.
9. Травень В. Ф., Сухоруков А. Ю., Пожарская Н. А. Задачи по органической химии. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 263 с.
10. Травень, В. Ф., Щекотихин А. Е. Практикум по органической химии: учеб. пособие – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 592 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Агрономов А. Е. Избранные главы органической химии. М.: МГУ, 1990. – 560 с.
2. Шабаров Ю.С. Органическая химия. – СПб.: Лань, 2011. – 848 с.
3. Гауптман З., ГрEFE Ю., Ремане Х. Органическая химия. М.: Химия, 1979. – 831 с.
4. Ли Дж. Дж. Именные реакции. Механизмы органических реакций. – М.: Бином: Лаборатория знаний, 2006. – 456 с.
5. Моррисон Р., Бойд Р. Органическая химия. – М.: Мир, 1974. – 1093 с.
6. Нейланд О. Я. Органическая химия. – М.: Высшая школа, 1990. – 751 с.
7. Потапов В. М. Стереохимия. – М.: Химия, 1988. – 464 с.
8. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. – М.: Химия, 1991. – 448 с.

9. Титце Л., Айхер Т. Препаративная органическая химия. М.: Мир, 2017. – 704 с.
10. Тюкавкина Н. А., Зурабян С. Э., Белобородов В. Л. Органическая химия: учебник для вузов: в 2 кн. Кн. 2: Специальный курс. – М.: Дрофа, 2009. – 592 с.
11. Brown W. H., Iverson B. L., Anslyn E. V., Foote C. S. Organic Chemistry. – Cengage Learning: Australia, Brazil, Japan, Korea, Mexico, Singapore, Spain, United Kingdom, United States, 2013. – 1318 p.
12. Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P. Organic Chemistry. – Oxford: University Press, 2001, – 1512 p.
13. Loudon M., Parise J. Organic Chemistry – W. H. Freeman and Company, New York, 2016. – 1595 p.
14. Morrison R. Th., Boyd R. N. Organic chemistry. – Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi – 110 001, 2002, – 2262 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Отметка за выполнение заданий для самостоятельной работы (домашних заданий, выдаваемых к практическим занятиям).

Отметка за ответы на семинарских и практических занятиях может включать правильность и полноту ответа, наличие аргументов, конкретных примеров и т.д.

Отметка за выполнение письменных заданий по темам (контрольной работы, теста или письменного опроса) включает: правильность и полноту ответов на поставленные вопросы.

Отметка за отчет по выполненным лабораторным работам может включать: правильность выполнения эксперимента по приведенной методике, корректность интерпретации наблюдений, выход и чистоту продукта, правильность и полноту оформления отчета.

Отметка за выполнение эвристических (открытых) заданий может включать: способность к анализу и обобщению учебного материала, и как результат – способность прогнозировать свойства органических соединений на основе полученных знаний.

Отметка за участие в учебной дискуссии может включать оценку активности студента в целенаправленном обмене мнениями, идеями при обсуждении открытых заданий, заданий повышенной сложности в ходе практических занятий.

Формами промежуточной аттестации по дисциплине «Органическая химия» учебным планом предусмотрены два зачета и два экзамена.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

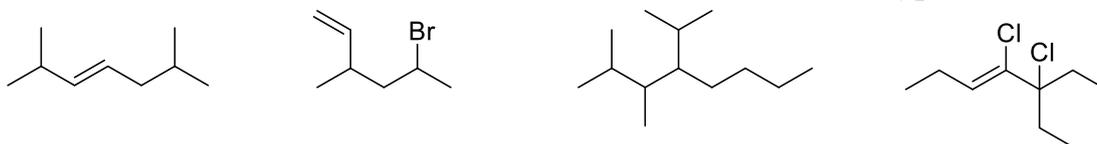
- выполнение заданий для самостоятельной работы, ответы на семинарских занятиях, участие в учебной дискуссии, в решении открытых эвристических заданий – 20%;
- отчеты по лабораторным работам – 20%;
- выполнение контрольных работ по темам (или теста) – 60%.

Итоговая рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости в семестре и экзаменационной оценки с учетом весовых коэффициентов 30% и 70% соответственно.

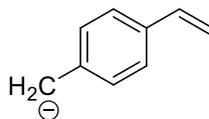
Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов (УСР)

Тема 2.1. Алканы. (2 часа ДО)

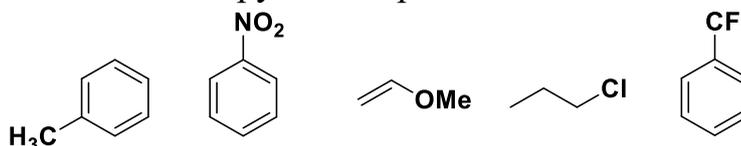
1. Назовите соединения по систематической номенклатуре:



2. Напишите все возможные резонансные структуры для предложенного соединения:

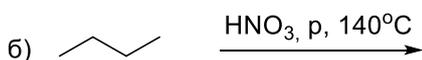


3. Что такое индуктивный и мезомерный эффект. Отметьте каким эффектом обладают выделенные группы в предложенных соединениях:



4. Для (S)-2-дейтеробутана приведите перспективную форму записи, а также проекционную формулу Фишера.

5. Напишите продукты следующих реакций:



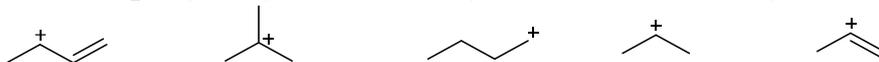
6. Напишите структурные формулы двух основных продуктов монобromирования пентана при УФ-облучении. Какой из этих алкилбромидов может существовать в виде энантиомеров? Изобразите его S-изомер с помощью перспективной формулы и проекции Фишера. Рассмотрите механизм реакции

бромирования на примере получения одного из выбранных Вами алкилбромидов.

Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 2.5. Алкины. (2 часа)

1. Расположите в ряду по увеличению устойчивости следующие катионы:



2. Составьте уравнения следующих реакций, в случаях помеченных * приведите механизм:

– **1-метилциклопентена**

а)* с Br_2 в метаноле; **б)** с $\text{BH}_3 \cdot \text{THF}$, затем $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaOH}$, H_2O ; **в)*** с HBr в присутствии $(\text{PhCOO})_2$; **г)*** с O_3 в хлористом метиле, затем $\text{Zn}/\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$;

– **(Z)-3-метилпентена-2**

а) с OsO_4/Py , затем $\text{NaHSO}_3/\text{H}_2\text{O}$ (приведите проекционную формулу Фишера для образующегося диастереомера); **б)** с HBr в диэтиловом эфире; **в)** IN_3 ($\text{AgN}_3 + \text{I}_2$) в эфире (с учетом стереохимии реакции); **г)*** с мета-хлорпербензойной кислотой в хлористом метиле (с учетом стереохимии реакции).

– **фенилацетилена**

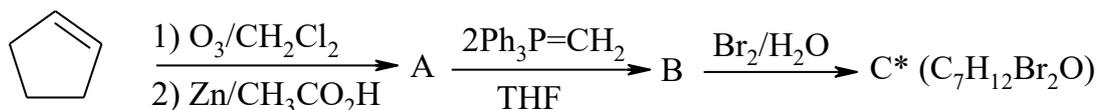
а)* с $\text{HgSO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ в воде; **б)** с MeMgI в эфире, затем n -бутилбромид в ТГФ

– **изопрена**

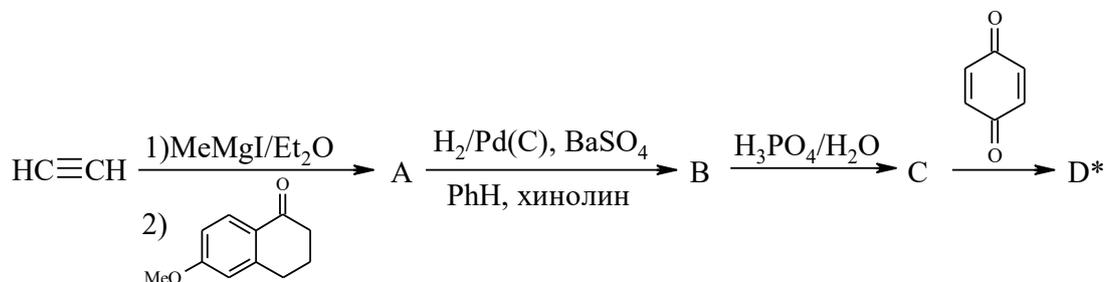
а) с Br_2 в четыреххлористом углероде при -20°C ; при 60°C ; **б)** с ацетилендикарбоновой кислотой в бензоле.

3. Дополните схемы превращений, в случаях, отмеченном * приведите механизм реакции:

а)



б)



4. Предложите метод синтеза (E)-2-метилгекс-3-ена из ацетилена и соответствующих алкилгалогенидов, используя любые доступные реагенты. Какие продукты могут образоваться при взаимодействии этого соединения с HCl в диэтиловом эфире, приведите механизм этих реакций.

5. Алкен **А** при взаимодействии с 30 % перекисью водорода в муравьиной кислоте и последующем гидролизе водным гидроксидом натрия образует 1,2-диол **Б**, являющийся мезо-формой. При восстановительном озонолитическом разрыве соединения **А** образуется бутаналь (C_3H_7CHO). Приведите структуры соединений **А** и **Б**, проекционную формулу Фишера диола **Б** и его перспективную проекцию. Напишите уравнения упомянутых реакций и механизм первой реакции (взаимодействие **А** с 30 % перекисью водорода в муравьиной кислоте).

Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 2.7. Многоядерные арены. (2 часа)

1. Нарисуйте основной продукт (продукты) мононитрования следующих соединений. Ответ поясните. На пример первого соединения приведите подробный механизм реакции:

а) бромбензол; **б)** п-хлортолуол; **в)** 2-гидроксибензойная (салициловая) кислота; **г)** п-трет-бутилтолуол; **д)** п-метоксихлорбензол

2. Составьте уравнения следующих реакций, в случаях, помеченных * приведите механизм:

- толуола

а) с $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , CH_3CO_2H , $100\text{ }^\circ C$; **б)*** с $n\text{-BuCl}/AlCl_3$, $0\text{ }^\circ C$; **в)*** Br_2/NBS , $(PhCOO)_2$, CCl_4 , $80\text{ }^\circ C$; **г)** уксусный ангидрид/ $AlCl_3$, затем Zn/HCl ; **д)*** H_2SO_4 (к), кипячение; **е)** с HNO_3/H_2SO_4 .

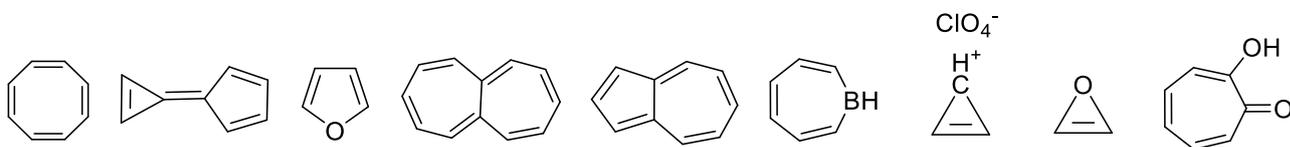
- нафталина

а) с Cl_2/Fe ; **б)** O_2/V_2O_5 , $400\text{ }^\circ C$; **б)*** с Na , NH_3 , CH_3OH , $-33\text{ }^\circ C$; **в)** с H_2SO_4 (к.) при $40\text{ }^\circ C$; при $170\text{ }^\circ C$;

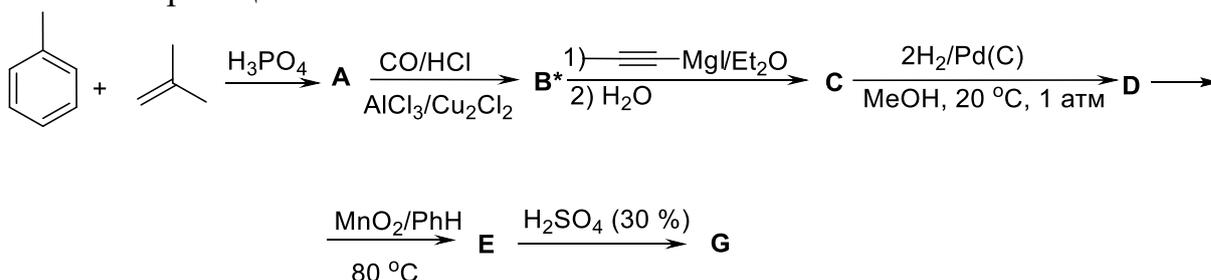
- фенола

а) с HNO_3 (конц.), $100\text{ }^\circ C$; **б)** с избытком Br_2 в воде;

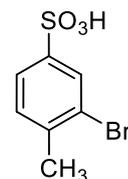
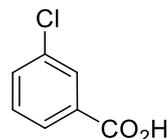
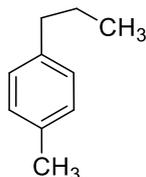
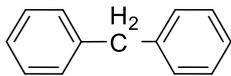
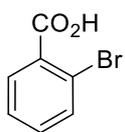
3. Сформулируйте правило Хюккеля и предположите, можно ли ожидать проявления ароматических свойств у приведенных соединений (в каждом случае укажите N_π и тип структуры – ароматическая или нет):



4. Дополните схему превращений, в случае, отмечено * приведите механизм реакции:



5. Предложите рациональные методы синтеза указанных соединений из толуола и любых необходимых органических и неорганических веществ. Составьте схемы реакций, укажите условия их проведения.

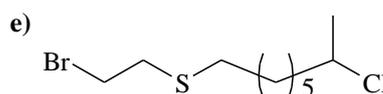
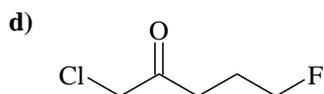
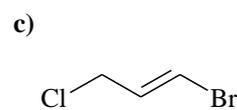
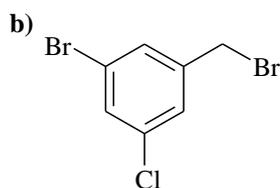
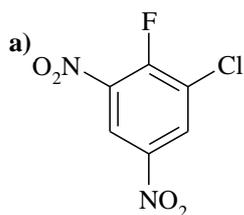


6. Взаимодействие N,N-диметиланилина с оксидом углерода (CO) в условиях реакции Гаттермана приводит к образованию соединения состава $C_{25}H_{31}N_3$, являющегося лейкооснованием красителя кристаллического фиолетового. Приведите структуру этого соединения и механизм его образования. Какова структура упомянутого красителя, который получают действием HCl на лейкооснование?

Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 3.5. Фенолы. (2 часа)

1. Какой атом галогена предпочтительно подвергается замещению при взаимодействии следующих соединений с 1 молем этоксида натрия в этаноле? Ответ поясните.



2. Напишите основные продукты реакций. В случаях, отмеченных звездочкой, приведите механизм реакции.

- 1-хлорбутана с:

а) тиофенолятом натрия (PhSNa) в ДМСО*; б) магнием в эфире, затем с CO_2 ; в) водным раствором NaOH; г) ацетиленидом серебра; д) диизопропил амидом лития в ТГФ*; е) $NaNO_2$ в ДМФА;

- 2-метил-2-бромпентана с:

а) муравьиной кислотой*; б) метилатом натрия в метаноле при нагревании;

- 2-метил-бутан-2-ола с:

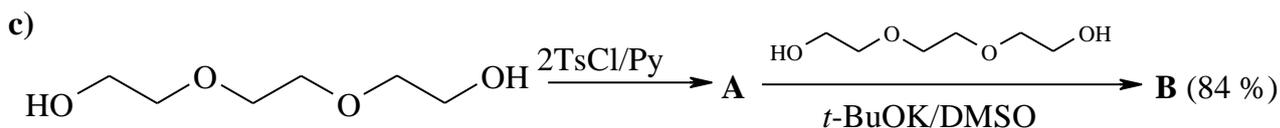
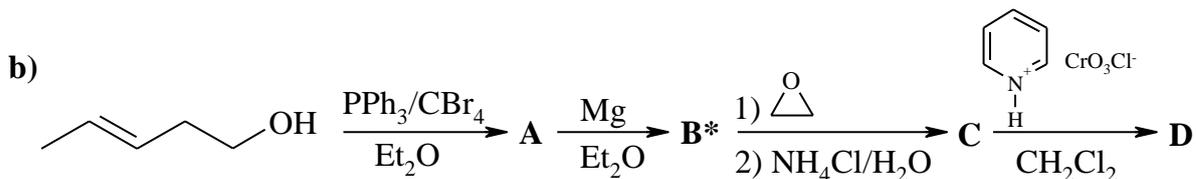
а) конц. $H_2SO_4^*$, затем $KMnO_4$ в воде при $0\text{ }^\circ\text{C}$ и $pH = 7-8$; б) гидрид натрия в ТГФ, затем 1-бромпропан; в) HBr (48 %) при $0-5\text{ }^\circ\text{C}$;

- п-крезола с:

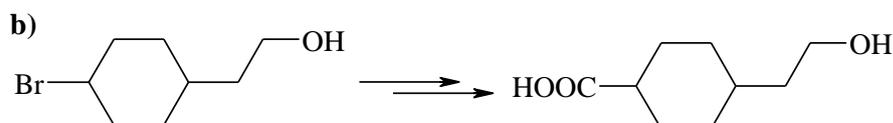
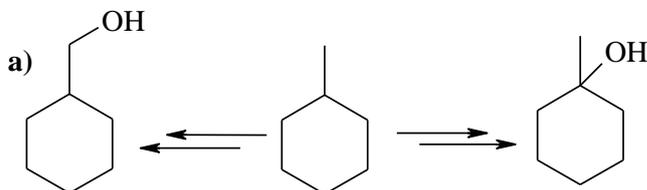
а) Br_2 в CCl_4 ; б) аллилбромидом в ДМСО в присутствии K_2CO_3 , затем нагревание*; в) $CHCl_3$, NaOH/ H_2O ;

3. Приведите продукты в следующих цепочках превращений. В случаях,

отмеченных звездочкой, приведите механизм реакции.



4. Предложите наиболее рациональные пути осуществления следующих превращений:

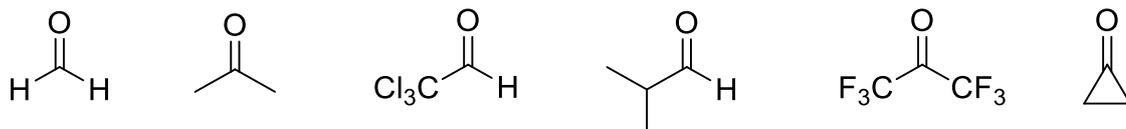


5. Установите структуру соединения $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$ (**A**), если известно, что при действии на него метилмагнийиодида происходит выделение метана, а при реакции с хлороводородом образуется соединение $\text{C}_4\text{H}_9\text{OCl}$ (**B**), которое при нагревании со спиртовым раствором щелочи превращается в винилэтиловый эфир. Кроме того, нагревание **A** с избытком HI приводит к образованию иодистого этила и 1,2-дииодэтана. Приведите схемы всех упомянутых реакций.

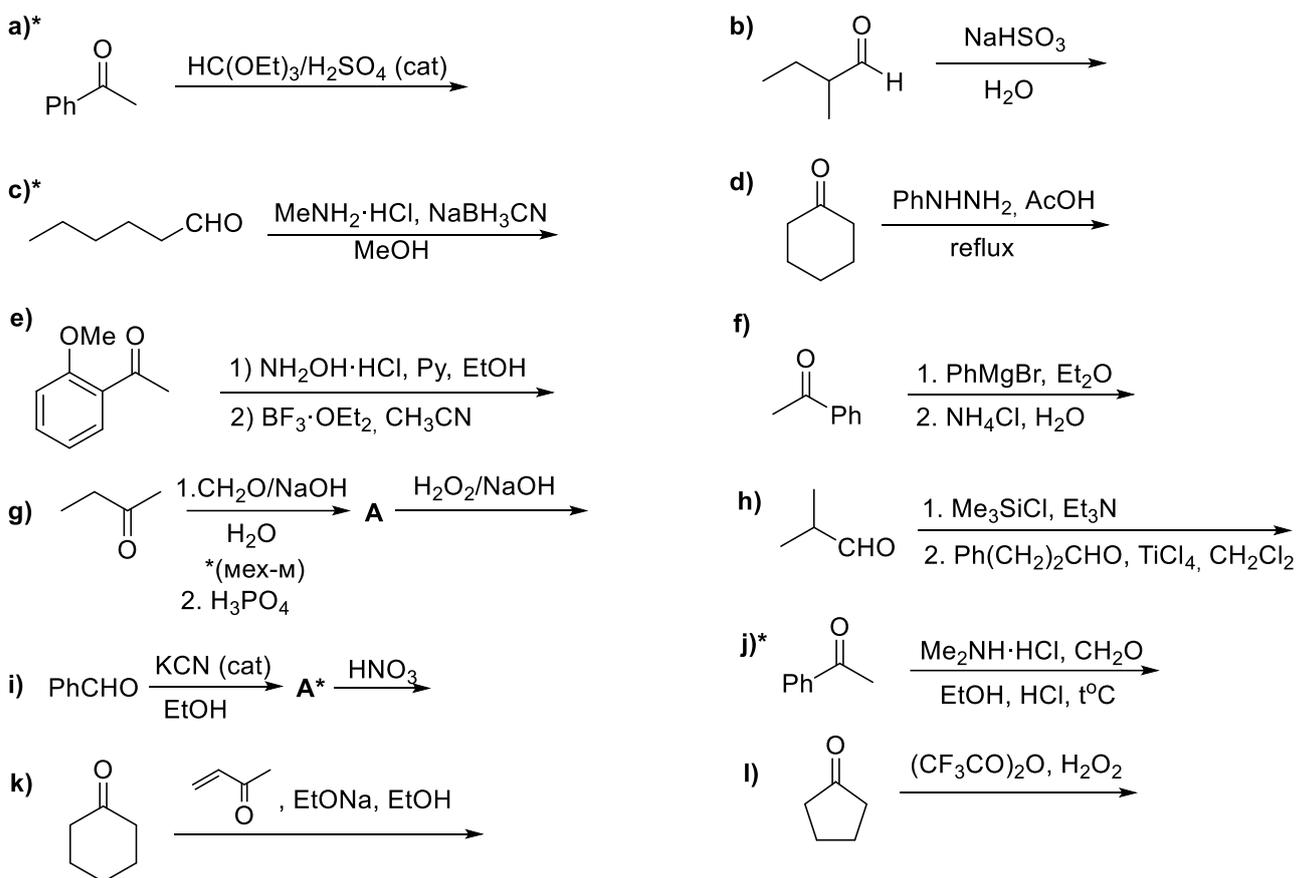
Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 3.11. Дикарбонильные соединения. α,β -Непредельные карбонильные соединения. Хиноны. (2 часа)

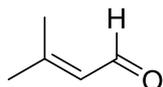
1. Предскажите состояние равновесия (будет оно смещено вправо или влево) реакции приведенных ниже карбонильных соединений с водой. Ответ поясните.



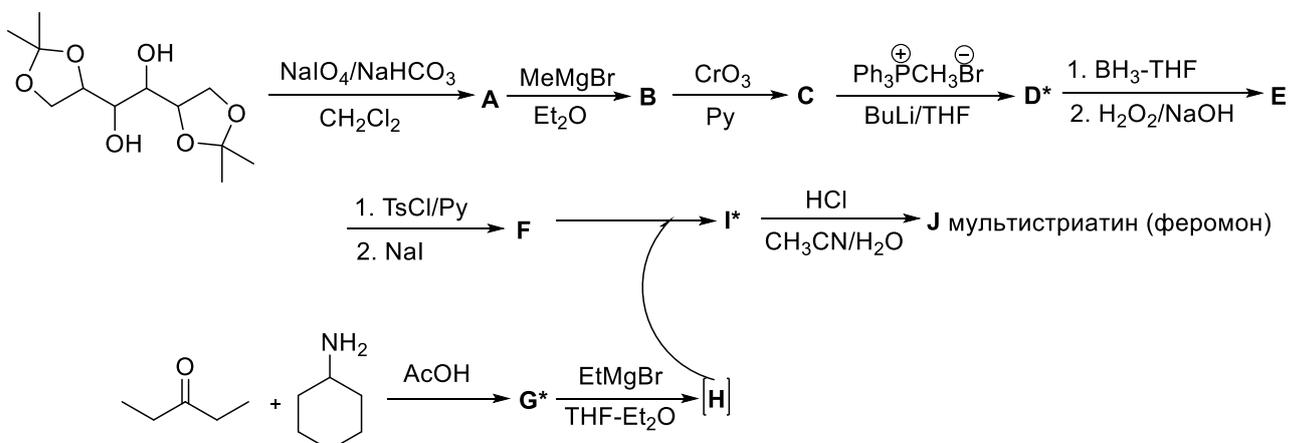
2. Составьте уравнения следующих реакций, в случаях, помеченных * приведите механизм:



3. Предложите 2 схемы синтеза приведенного ниже альдегида из ацетона и любых доступных реагентов, назовите его, используя номенклатуру IUPAC. Напишите продукты взаимодействия этого соединения: а) с метиллитием в диэтиловом эфире и б) с метилмагнийхлоридом в тетрагидрофуране в присутствии однохлористой меди.

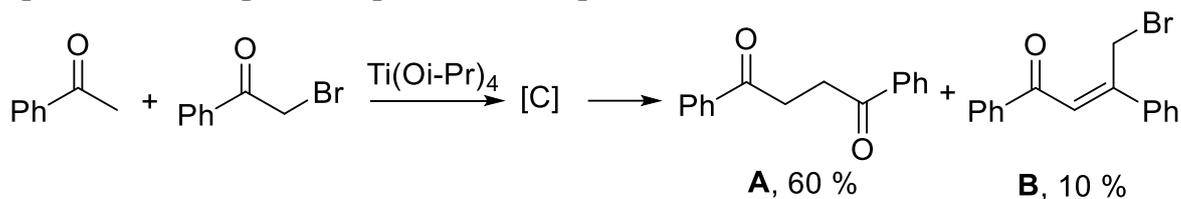


4. Дополните схему превращений, для стадий, помеченных *, приведите механизм:



5. Взаимодействие ацетофенона с α -бромацетофеноном в присутствии основания приводит к образованию 1,4-дикетона **A**, а также побочного продукта **B**. Предложите механизм этой реакции, которая протекает с

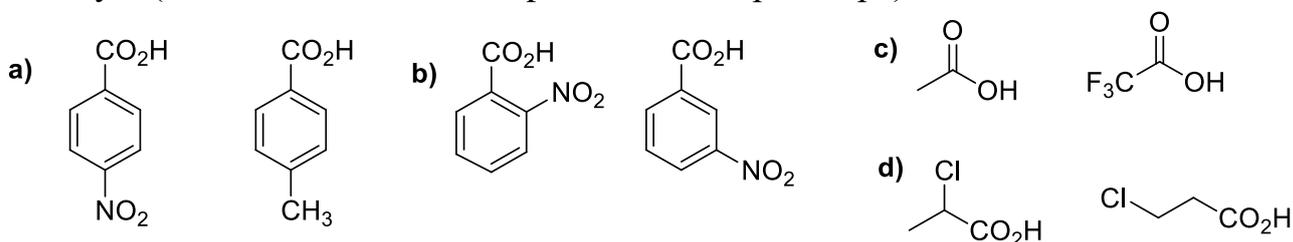
образованием интермедиата **C** на начальной стадии процесса, дальнейшие превращения которого и приводит к образованию обоих конечных соединений.



Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 3.15. Непредельные карбоновые кислоты. Производные угольной кислоты. (2 часа)

1. В каждой паре приведенных ниже карбоновых кислот укажите более сильную (с меньшим значением рКа в водном растворе). Ответ поясните.



2. Составьте уравнения следующих реакций, в случаях помеченных * приведите механизм:

- **Фенилуксусной кислоты с:**

a)* EtOH (абс., изб.), H₂SO₄ (кат.), кипячение; **b)** NH₃, затем нагревание; **c)** SOCl₂, кипячение; затем Et₂NH (2 экв.) в диоксане; **d)** с HgO/Br₂, CCl₄, кипячение.

- **Этилового эфира адипиновой кислоты с:**

a)* с EtONa/EtOH, кипячение; **b)** MeMgBr (изб.) в Et₂O, затем NH₄Cl/H₂O; **c)*** NaOH, H₂O, кипячение; **d)*** с Na в ксилоле при кипячении;

- **п-Метоксибензоилхлорида с:**

a) PhOH в водном растворе NaOH; **b)** избытком diazometана в диэтиловом эфире, затем влажный Ag₂O.

- **2-Фенилацетамида с:**

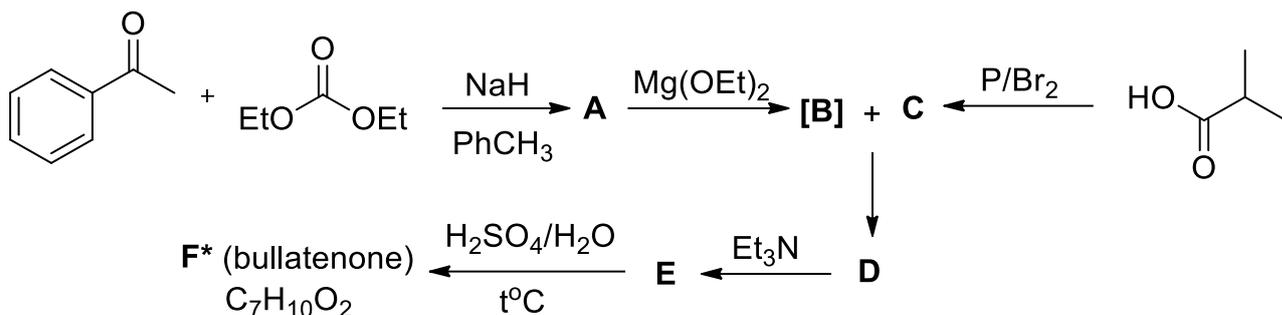
a) P₂O₅ при нагревании; затем EtMgBr в Et₂O и обработка водой; **б)*** NaOCl (Cl₂/NaOH), H₂O.

- **Бензальдегида с:**

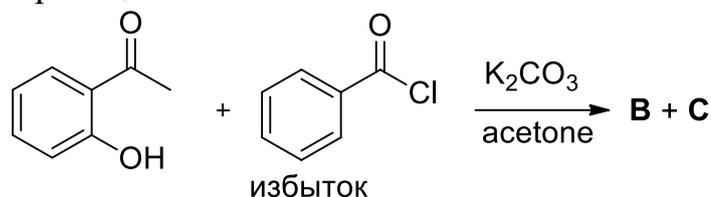
a) натрмалоновым эфиром в EtOH; **б)** уксусным ангидридом и плавленным ацетатом натрия при 180-200 °С.

3. Используя ацетон, метанол и любые неорганические реагенты предложите два способа синтеза 2,2-диметилпропановой (пивалиновой) кислоты.

4. Дополните схемы превращений, в случаях, отмеченных * приведите механизм реакции:



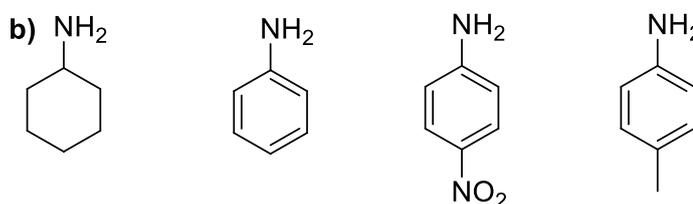
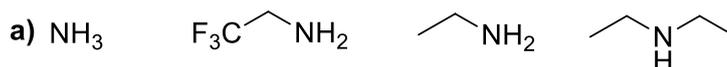
5. Взаимодействие 1-(2-гидроксифенил)этанона (А) с избытком бензоилхлорида в присутствии K_2CO_3 во влажном ацетоне при кипячении приводит к смеси двух конденсированных гетероциклических соединений (замещенных флавонов) В ($C_{15}H_{10}O_2$) и С ($C_{22}H_{14}O_3$) в соотношении 3:1. Использование же абсолютно сухого ацетона в изолированном от паров воды приборе приводит к преобладанию продукта С в реакционной смеси (1:4). Приведите структуры продуктов этой реакции, механизм их образования, а также попробуйте объяснить, почему в присутствии воды так резко меняется селективность этой реакции.



Форма контроля – аудиторная контрольная работа.

Тема 3.18. Диазо- и азосоединения. (2 часа)

1. Расположите приведенные ниже амины в порядке увеличения их основности. Ответ поясните.



2. Составьте уравнения следующих реакций, в помеченных * случаях приведите механизм:

- **Анилина:**

а) с уксусным ангидридом, затем HNO_3/H_2SO_4 , $0^\circ C$; б) с H_2SO_4 , $200^\circ C$; в) * с $NaNO_2/H_2SO_4$, H_2O , $0^\circ C$, затем кипячение; д) с H_2SO_4 , $20^\circ C$.

- **п-Нитрофенилдиазоний хлорида:**

а) с $NaBF_4$, *затем $200^\circ C$; б) с KI в воде; в) * с $NaNO_2/Cu$ в воде; г) с CH_3OH , CH_3CO_2Na ; д) * с $NaOH$, бензол-вода, $5^\circ C$.

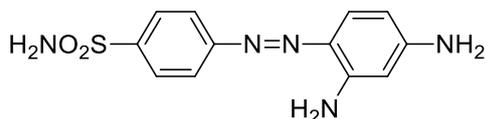
- **Нитробензола:**

а) *с Zn (5 экв.)/NaOH, H₂O, затем H₂SO₄ (конц.); **б)** с Zn/NH₄Cl (H₂O, pH~ 7.5-8.5), 65°C, затем H₂SO₄/H₂O.

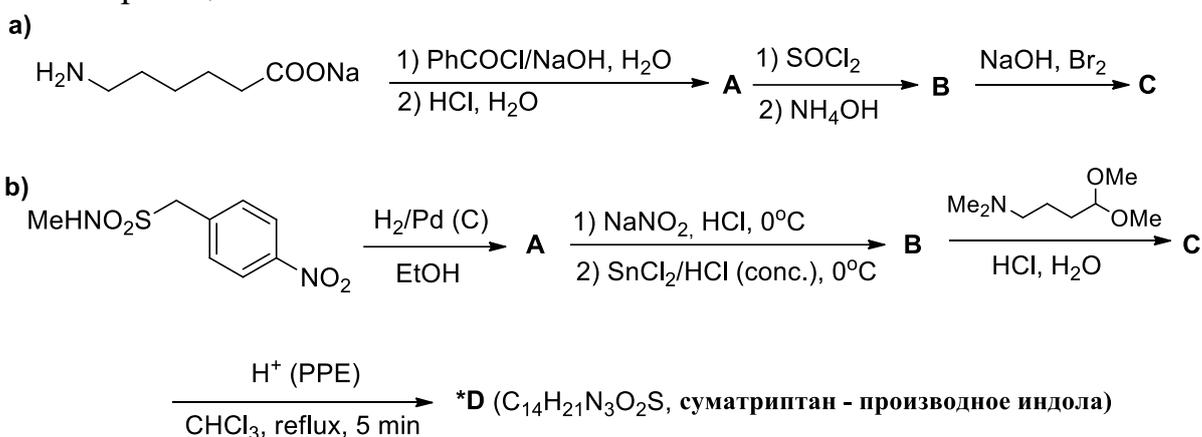
- **Нитрометана:**

*с бензальдегидом в спиртовом растворе KOH.

3. Используя нитробензол, уксусную кислоту и любые доступные неорганические реагенты, предложите метод синтеза стрептоцида красного (рубурола):



4. Дополните схемы превращений, в случае, отмеченном * приведите механизм реакции:



5. Взаимодействие циклогексанона с diazometаном в эфире приводит к двум изомерным соединениям **A** и **B** состава C₇H₁₂O в соотношении 4 к 1. Проведение этой реакции в присутствии кислоты Льюиса (например AlBr₃) позволяет практически полностью подавить образование побочного продукта **B**. Приведите структуры соединений **A** и **B** и механизм их образования. Поясните роль кислоты Льюиса как ингибитора нежелательной побочной реакции.

Раздел 5. Гетероциклические соединения. (2 часа ДО)

1. Напишите структурные формулы следующих соединений.

а) α-ацетилтиофена; б) пирослизевой кислоты; в) N-метилпиррола; г) α-тиофенсульфо кислоты; д) индола; е) β-метилпиридина (β-пиколина); ж) 4-нитропиридин N-оксида; з) γ-пиридона; и) 8-гидроксихинолина;

2. Напишите уравнения или схемы синтеза следующих соединений из приведенных веществ или указанными методами.

а) пиррол → метиловый эфир пиррол-2- карбоновой кислоты б) фуран → 5-нитро-2-ацетилфуран в) 2,5-диметилпиррол по реакции Пааля-Кнорра г) тиофен из элементарной серы; 3.1 д) индол → 1-метилиндол-3-сульфо кислота; е) этиловый эфир 2,4-диметилпиррол-3-карбоновой кислоты по реакции Кнорра ж) этиловый эфир 2,4-диметилфуран-3- карбоновой кислоты по методу Фейста-Бенари; з) 2-метилхинолин по Дебнеру-Миллеру; и) хинолин → хинолин-6-сульфоная кислота;

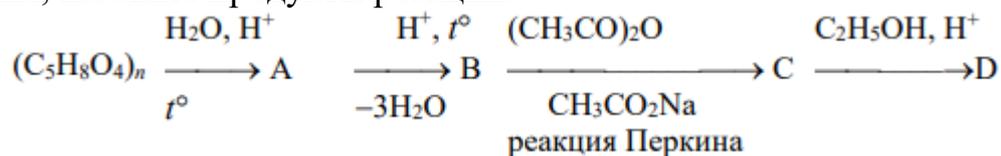
3. Расположите следующие соединения в порядке уменьшения их основности, дайте пояснения:

а) анилин; б) пиперидин; в) пиррол; г) пиридин; д) метиламин.

4. Для приведенных веществ напишите уравнения реакций с указанными реагентами, дайте названия продуктам.

Фуран: а) пиридинсульфотриоксид ($\text{Py} \cdot \text{SO}_3$); б) $\text{CH}_3\text{COONO}_2$ (10°C); Br_2 , диоксан, $t^\circ < 0^\circ\text{C}$; г) $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ (кат. BF_3); д) H_2 / Ni ($t^\circ = 50^\circ\text{C}$)

5. Напишите уравнения следующих реакций, укажите условия их проведения, назовите продукты реакций.



Образцы открытых (эвристических) заданий

Тема 2.2. Алкены. Реакции присоединения

1. Объясните следующие данные о региоселективности реакции:

аллилбромид + $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ 3-бром-2-хлорпропанол-1 (40%) + 1-бром-3-хлорпропанол-2 (32%) + 2-бром-3-хлорпропанол-1 (28%)

2. Прокомментируйте данные о стереохимии следующих реакций:

При взаимодействии (*E*)-1-фенилпропена (А) с Cl_2 (CCl_4 , 0°C) образуется смесь *син*- и *анти*-диастереомерных продуктов присоединения с выходом 46% и 38% соответственно. При взаимодействии соединения (А) с Br_2 в аналогичных условиях выходы *син*- и *анти*-диастереоизомерных продуктов присоединения составляют 12% и 88% соответственно.

Тема 3.1. Галогенпроизводные углеводов.

1. Напишите уравнения реакций и приведите их механизмы. Сравните распределение зарядов в исходных соединениях и активированном комплексе и выберите в каждом случае наиболее подходящий растворитель для осуществления реакции (этанол или ацетон):

а) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaI} \rightarrow$ б) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{Me}_3\text{N} \rightarrow$

2. (*R*)-2-Бромоктан при сольволизе в 40% водном ацетоне образует рацемический спирт. Рассмотрите механизм, стереохимию и кинетику реакции. Попробуйте оценить, изменится ли отношение *R* : *S*-изомеров для продукта при использовании (*R*)-2-хлор- и (*R*)-2-иодоктанов в качестве субстратов. Используйте представления об ион-парном механизме.

3. Как изменится скорость приведенных ниже реакций при замене протонного растворителя (MeOH , $\epsilon = 33$) апротонным (ацетонитрил $\text{MeC}\equiv\text{N}$, $\epsilon = 38$)? Для какой из упомянутых реакций это изменение ожидается меньшим?

а) $\text{MeCl} + \text{MeOK} \rightarrow$ б) $\text{MeI} + \text{MeOK} \rightarrow$

Тема 3.9. Реакции карбонильных соединений с участием углеводородных радикалов

1) Предположите, почему 1,2-циклогександион почти на 100%

существует в енольной форме.

2) Из пропанола-1 и ацетальдегида, используя на одной из стадий синтез Гриньяра, получите изомерные амиловые (пентиловые) спирты, которые дают положительный иодоформный тест.

3) Покажите, каким образом приведенные ниже соединения могут быть синтезированы из указанных веществ с использованием альдольной конденсации как одной из промежуточных стадий в процессе синтеза:

а) (*E*)-бут-2-ен-1-ол из уксусного альдегида, б) 2-метилпентан из ацетона, в) 2-метилпентан-3-он из пропанола.

Примерная тематика семинарских занятий

1 часть

1. Строение, классификация, номенклатура и изомерия органических соединений. Электронные представления в органической химии. Реакционная способность органических соединений.
2. Алканы.
3. Ациклические углеводороды.
4. Алкены. Способы получения. Механизм реакции электрофильного присоединения. Реакции присоединения.
5. Алкены. Реакции окисления. Реакции с участием свободных радикалов.
6. Алкины. Алкадиены.
7. Ароматические углеводороды: ароматичность и реакции электрофильного замещения. Реакции электрофильного замещения. Влияние заместителей.
8. Многоядерные арены.
9. Алкилгалогениды. Способы получения. Механизмы реакций нуклеофильного замещения. Реакции нуклеофильного замещения.
10. Алкилгалогениды. Реакции элиминирования.
11. Спирты. многоатомные спирты. Фенолы.
12. Простые эфиры.

2 часть

1. Синтез карбонильных соединений и их реакции с гетероатомными нуклеофилами.
2. Реакции карбонильных соединений с углеродными нуклеофилами.
3. Реакции карбонильных соединений при участии α -метиленового звена.
4. α,β -Непредельные карбонильные соединения. Хиноны.
5. Карбоновые кислоты, соли, ангидриды, хлорангидриды.
6. Сложные эфиры, амиды, нитрилы карбоновых кислот.
7. Дикарбоновые, непредельные карбоновые кислоты.
8. Нитросоединения. Синтез и свойства.
9. Амины: синтез и свойства.
10. Диазо- и азосоединения.

11. Кетокарбоновые кислоты. Синтезы на основе ацетоуксусного эфира.
12. Углеводы. Строение и свойства моносахаридов.
13. Гетероциклы.

**Примерная тематика лабораторных занятий
1 часть – 66 часов**

№ занятия	Тема	Количество часов, количество работ
1	Методы очистки органических веществ: сублимация, перекристаллизация	6 ч., 1 работа
2	Методы очистки органических веществ: перегонка, экстракция	6 ч, 1 работа
3–4	Реакции получения алкенов. Реакции электрофильного присоединения к двойной связи. Реакции циклоприсоединения как метод синтеза карбоциклов. Реакции син- и анти-дигидроксилирования	12 ч, 1 работа
5–6	Реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду: бромирование нитрование, сульфирование, алкилирование, ацилирование одно- и многоядерных аренов.	12 ч, 1 работа
7–8	Реакции нуклеофильного замещения атома галогена в алифатическом ряду. Получение простых эфиров, аминов. Реакции элиминирования	12 ч, 1 работа
9–10	Реакции замещения ОН-группы в спиртах на галоген. Окисление спиртов	12 ч, 1 работа
11	Получение простых эфиров дегидратацией спиртов.	6 часов 1 работа

2 часть – 66 часов

№ занятия	Тема	Количество часов, количество работ
1–2	Реакции нуклеофильного присоединения карбонильных соединений. Окислительно-восстановительные реакции карбонильных соединений	12 ч, 1 работа
3–4	Реакции карбонильных соединений по углеводородной части молекулы.	12 ч, 1 работа
5–6	Реакции производных карбоновых кислот.	12 ч, 1 работа
7–9	Полное и частичное восстановление нитроаренов. Диазотирование ароматических аминов и реакции солей диазония.	18 ч, 2 работы
10-11	Синтез гетероциклических производных.	12 ч, 1 работа

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию

При организации образовательного процесса используются **эвристический, практико-ориентированный подходы.**

Использование эвристического подхода предполагает:

- демонстрацию многообразия органических соединений, выявление в которых простейших структурных фрагментов позволяет прогнозировать их свойства на основе полученных в ходе освоения дисциплины знаний;

Использование практико-ориентированного подхода предполагает:

- освоение содержания предмета «Органическая химия» через решение практических задач;
- приобретение навыков выполнения лабораторных работ по синтезу, выделению и очистке органических соединений, необходимых для профессиональной деятельности;

При организации лабораторных и семинарских занятий используется метод **учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине

Рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы студентов:

- проработка теоретического материала при подготовке к семинарским, практическим и лабораторным занятиям;
- выполнение домашних заданий при подготовке к семинарским и практическим занятиям;
- выполнение контрольных работ;
- решение обучающих и контролирующих тестов для самоконтроля по изучаемым темам;
- письменные отчеты по выполненным лабораторным работам с их устной защитой;
- подготовка к зачету и экзамену по дисциплине;

Для организации самостоятельной работы по дисциплине «Органическая химия» создан на платформе «Moodle» одноименный электронный курс в СДО химфака БГУ. Контент последнего включает содержание учебной дисциплины, рекомендованные программой учебные пособия, таблицы и иллюстрационный материал к отдельным разделам, домашние задания для выполнения к практическим занятиям по прорабатываемым темам дисциплины, данные по результатам контрольных работ, текущей успеваемости и рейтингу студентов, перечень вопросов к зачету, типы заданий письменного экзамена.

При составлении заданий УСР по учебной дисциплине учитывался

принцип «от простого – к сложному». Так, сначала идут задания, формирующие достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания, а затем – задания, формирующие компетенции на уровне воспроизведения, и далее задания, формирующие компетенции на уровне применения полученных знаний.

Примерный перечень вопросов к зачету

Для получения зачета необходимо выполнить все лабораторные работы и отчитаться за них (в рамках защиты лабораторной работы).

Осенний семестр

1. Чистое органическое вещество и его константы (т. пл., т. кип., n_D^{20}). Способы определения этих констант.

2. Методы выделения и очистки органических веществ. Экстракция. Высушивание. Перегонка при обычном и пониженном давлении, перегонка с водяным паром. Дефлегматоры и их назначение. Возгонка.

3. Перекристаллизация из воды и органических растворителей. Приемы фильтрования.

4. Хроматографические методы очистки и анализа органических веществ. Тонкослойная и колоночная хроматография. Определение R_f соединения.

5. Присоединение электрофильных реагентов по связи $C=C$. Правило Марковникова и его интерпретация. Кабокатионы, их строение и факторы, влияющие на устойчивость. Стереохимия реакций электрофильного присоединения.

6. Реакции циклоприсоединения с участием ненасыщенных соединений: присоединение карбенов, диеновый синтез (реакция Дильса-Альдера).

7. Окислительное присоединение по двойной связи (эпоксидирование, *син*- и *анти*-дигидроксилирование).

8. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду, обобщенный механизм. σ - и π -Комплексы.

9. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление реакций электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.

10. Реакции галогенирования ароматических соединений в кольцо и в боковую цепь. Различия в механизмах этих реакций, влияние реагентов и условий на механизм реакции галогенирования.

11. Нитрующие агенты. Нитроний-катион. Условия нитрования бензола и его гомологов, нафталина. Особенности нитрования фенолов и ароматических аминов. Реакция нитрования как важный метод получения азотсодержащих органических соединений.

12. Сульфирование бензола и его гомологов, нафталина, антрацена, фенола и нафтолов, анилина. Обратимость реакции сульфирования. Особенности выделения и идентификации сульфокислот. Использование сульфогрупп в качестве ориентирующих и защитных группировок.

13. Алкилирование ароматических соединений. Алкилирующие реагенты (спирты,

галогеналканы, олефины). Катализаторы и механизм их действия. Побочные процессы при алкилировании по Фриделю–Крафтсу: изомеризация, полиалкилирование, дезалкилирование (ипсо-замещение). Использование алкильных групп в качестве ориентирующих и защитных группировок.

14. Способы получения алкилбензолов с использованием реакций ацилирования бензола, реакции Вюрца–Фиттига и других процессов кросс-сочетания. Алкилирование ароматических аминов, фенолов карбонильными соединениями. Красители трифенилметанового ряда (малахитовый зеленый, бриллиантовый зеленый, фенолфталеин, флуоресцеин).

15. Ацилирование аренов. Ацилирующие реагенты (галогенангидриды, ангидриды), катализаторы в реакциях ацилирования ароматических соединений. Особенности ацилирования фенолов. Перегруппировка Фриса.

16. Формилирование ароматических соединений. Реакции Реймера–Тимана, Вильсмейера, Гаттермана (реагенты, условия, область применения).

17. Общие представления о механизмах реакций нуклеофильного замещения атома галогена. Механизмы S_N1 и S_N2 . Влияние строения субстрата, природы нуклеофила и уходящей группы на скорость реакций S_N1 и S_N2 .

Анхимерное содействие. Нуклеофильность и основность. Амбидентные ионы как нуклеофилы. Влияние растворителей разных типов. Межфазный катализ. Стереохимические особенности реакций нуклеофильного замещения.

18. Синтетически важные реакции нуклеофильного замещения атома галогена. Получение нитрилов, изонитрилов, нитросоединений, нитритов, аминов, меркаптанов, простых и сложных эфиров. Синтез иод- и фторалканов. Гидролиз галогенопроизводных, склонных к реакциям S_N1 -типа. Конкуренция процессов нуклеофильного замещения и 1,2-элиминирования.

19. Реакции нуклеофильного замещения ОН- группы и способы ее активации (протонирование, превращение в эфиры сильных кислот). Представления о механизмах и стереохимии реакций нуклеофильного замещения в спиртах и активированных эфирах. Синтезы на основе реакций нуклеофильного замещения ОН-группы в спиртах: получение алкилгалогенидов, простых и сложных эфиров.

20. Формирование двойной связи посредством реакций элиминирования. Стереохимия и направление реакций элиминирования (по Зайцеву и по Гофману).

21. Причины устойчивости бензольного ядра к действию окислителей. Реакции радикального замещения и окисления в боковой цепи алкиларенов, региоселективность этих реакций. Использование реакций бензильного окисления в синтезе альдегидов, кетонов ароматического ряда и бензойных кислот.

22. Реакции окисления бензола и его гомологов, протекающие с разрушением ароматического ядра: озонлиз бензола и алкилбензолов, окисление бензола до малеинового ангидрида, нафталина до фталевой кислоты, антрацена до 9,10-антрахинона. Окисление фенолов и анилинов до хинонов, условия и механизм.

23. Окисление и дегидрирование спиртов. Способы окисления первичных спиртов до альдегидов и до карбоновых кислот, вторичных спиртов до кетонов. Реакция Оппенауэра.

Весенний семестр

1. Магнийорганический синтез. Условия образования магнийорганических соединений из алкил-, алкенил-, арилгалогенидов. Побочные реакции при синтезе магнийорганических реагентов. Особенности взаимодействия магния с полигалогенидами. Строение магнийорганических соединений. Равновесие Шленка.

2. Присоединение реактивов Гриньяра к карбонильной группе, использование в синтезе спиртов (реакции с альдегидами, кетонами, сложными эфирами). Механизм и побочные реакции, возможные при взаимодействии реактивов Гриньяра с альдегидами и кетонами.

3. Синтез альдегидов и кетонов с помощью реактивов Гриньяра и производных карбоновых кислот (хлорангидридов, ангидридов, амидов, нитрилов, ортоформиатов). Особенности взаимодействия Li-, Mg- и Cu-органических реагентов с α,β -ненасыщенными карбонильными соединениями.

4. Общие представления о механизме реакций нуклеофильного присоединения к карбонильной группе, роль кислотного и основного катализаторов. Реакции с азотсодержащими нуклеофилами: образование оснований Шиффа, енаминов, оксимов, гидразонов, замещенных гидразонов и семикарбазонов. Использование оксимов в синтезе амидов (перегруппировки оксимов), нитрилоксидов. Использование гидразонов для восстановления карбонильной группы. Реакции восстановительного аминирования карбонильной группы. Особенности реакций формальдегида и других простейших альдегидов с аммиаком и первичными аминами. Уротропин, его использование в реакциях аминирования и окисления галогенпроизводных (Соммле, Делепин).

5. Реакции карбонильных соединений с водой и спиртами, образование гидратов, полуацеталей, ацеталей. Использование ортомуравьиного эфира (триметокси- и триэтоксиметана) в синтезе ацеталей. Способы смещения равновесия в синтезе ацеталей. Образование S-ацеталей (дитианов и дитиоланов). Использование ацеталей и S,S-ацеталей для защиты и для обращения полярности карбонильной группы.

6. 1,2- и 1,4- Присоединение к α,β -непредельным карбонильным соединениям. Реакция Михаэля. Типичные михаэлевские доноры и акцепторы. Присоединение воды, спиртов, тиолов, аммиака и аминов. Еноляты в реакции Михаэля.

7. Реакция этерификации: механизм кислотного катализа, способы проведения (для смещения равновесия). Получение сложных эфиров из других производных карбоновых кислот (солей, хлорангидридов, ангидридов, реакцией переэтерификации) и из кетонов (реакцией Байера-Виллигера). Пути использования сложных эфиров.

8. Получение амидов из карбоновых кислот и аммиака или аминов,

условия проведения реакции. Получение амидов из других производных карбоновых кислот (хлорангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов) и из оксимов (перегруппировкой Бекмана).

9. Обобщенный механизм взаимопревращений производных карбоновых кислот. Относительная активность различных производных карбоновых кислот как ацилирующих агентов. Использование амидов в синтезе аминов (восстановление, перегруппировка Гофмана).

10. Окисление альдегидов до карбоновых кислот, окисление кетонов с разрывом углерод-углеродных связей, реакция Байера–Виллигера. α -Окисление кетонов, использование оксида селена(IV).

11. Восстановление карбонильной группы в альдегидах, кетонах, карбоновых кислотах и сложных эфирах до спиртовой. Селективное восстановление карбонильной группы или двойной связи в α,β -непредельных альдегидах и кетонах. Восстановление карбонильных соединений до пинаконов (пинаконовое сочетание), восстановительное сочетание до алкенов (МакМарри).

12. Восстановление сложных эфиров до альдегидов. Ацилоиновая конденсация. Восстановление амидов и нитрилов до аминов или до альдегидов.

13. Кето-енольная таутомерия карбонильных соединений. Еноляты как амбидентные нуклеофилы, факторы, влияющие на направление атаки электрофила по С- или О-атому.

14. Альдольно-кетоновая конденсация, ее механизм при кислотном и основном катализе. Конденсация Клайзена – Шмидта. Конденсации альдегидов и кетонов с соединениями других типов, содержащих активную метиленовую группу (реакция Кневенагеля, Анри).

15. Использование пространственно затрудненных оснований для генерирования енолятов. Енамины и силиловые эфиры енолов как синтетические эквиваленты енолятов. Реакция Манниха.

16. α -Галогенирование альдегидов и кетонов в кислой и щелочной средах. Галоформное расщепление. Другие гетероэлектрофилы в реакциях с енолами и енолятами: α -нитрозирование, селенирование кетонов, использование в синтезе.

17. 1,3-Дикарбонильные соединения как активированные метиленовые компоненты в реакциях альдольного типа. Реакция Кневенагеля, ее механизм.

Алкилирование 1,3-дикарбонильных соединений. Синтез карбоновых кислот на основе малонового эфира (Конрад). Синтез кетонов и карбоновых кислот на основе ацетоуксусного эфира. Кетонное и кислотное (сложноэфирное) расщепление алкилзамещенных β -кетоэфиров.

18. Способы получения аминов и родственных соединений, основанные на реакциях восстановления нитросоединений. Реакция Зинина, неполное восстановление нитрогруппы в нитроаренах в кислой и щелочной средах. Свойства продуктов неполного восстановления нитросоединений. Восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений (иминов, оксимов) и карбоновых кислот (амидов, нитрилов) до аминов.

19. Арендиазониевые соли в органическом синтезе. Диазотирующие

реагенты. Условия diazotирования и контроль за ходом реакции. Побочные процессы при diazotировании и методы их предотвращения. Особенности diazotирования диаминов, аминифенолов. Строение diazosоединений. Diazотаты.

20. Замена diazogруппы на гидроксо-, амино-, циано-, нитрогруппы, галоген, водород, арильный, алкенильный радикалы, представление о механизмах этих реакций. Реакции diazosоединений без выделения азота: восстановление, азосочетание, diaзо- и азокомпоненты. Условия азосочетания с аминами и фенолами. Азокрасители. pH Индикаторы, причины изменения окраски азокрасителя при изменении pH.

Перечень вопросов к экзамену

Типы заданий письменного экзамена

1. Сравнить кислотно-основные свойства органических веществ, относящихся к изучаемым классам, охарактеризовать их реакционную способность.

2. Описать строение молекул или промежуточных частиц с помощью резонансных структур. Охарактеризовать сравнительную устойчивость интермедиатов и объяснить региоселективность изучаемых органических реакций.

3. Дать систематические и тривиальные названия представителей изучаемых классов органических соединений в рамках программы. Применить правила стереохимической номенклатуры.

4. Написать реакции, характеризующие химические свойства органических соединений, относящихся к изучаемым классам (на примерах простых представителей). Привести схемы механизмов основных реакций в рамках программы, при необходимости указать их стереохимические особенности.

5. Дополнить цепочки превращений с участием органических веществ.

6. На основе полученных знаний о свойствах изучаемых классов органических соединений:

- предложить рациональные схемы синтеза целевых органических соединений из заданных исходных;
- объяснить образование (предложить механизм) органического соединения заданной структуры в указанных условиях;
- предложить (определить) строение молекулы органического соединения на основе его свойств.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Высокомолекулярные соединения	Кафедра высокомолекулярных соединений	Замечаний нет	Изменений не требуется, протокол № 18 от 23.06.2023

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры органической химии Белорусского государственного университета (протокол № ____ от _____ г.)

Заведующий кафедрой
к.х.н., доцент

_____ Т.А.Шевчук

УТВЕРЖДАЮ
Декан химического факультета,
к.х.н., доцент

_____ А.В.Зураев