

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт органического синтеза им.И.Я. Постовского  
Уральского отделения Российской академии наук  
(ИОС УрО РАН)

**ОДОБРЕНО**

Ученым советом  
ИОС УрО РАН  
«29» декабря 2011 г.  
Протокол № 12

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института органического синтеза  
им. И.Я. Постовского  
Уральского отделения РАН  
академик \_\_\_\_\_ В.Н. Чарушин  
«29» декабря 2011 г.

**ПРОГРАММА**

вступительного экзамена в аспирантуру ИОС УрО РАН

по специальности

**02.00.03 «Органическая химия»**

**Форма обучения – очная**

**Разработана:**

Зам. директора по научной работе ИОС УрО РАН, д.х.н., проф.  
Зав. лабораторией ИОС УрО РАН, д.х.н., проф.  
Зав. лабораторией ИОС УрО РАН, д.х.н.

В.И. Салоутиным  
В.П. Красновым  
Ю.Г. Ятлуком

**Екатеринбург - 2011**

## Введение

За основу настоящей программы взята примерная программа дисциплины "ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ", которая:

- подготовлена при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (акад. Н.С. Зефилов, проф. А.Л. Курц), Ростовского государственного университета (проф. Е.Б. Цупак), Омского государственного университета (доц. А.С. Фисюк - рецензент программы).

- одобрена Советом по химии Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию (Председатель В.В. Лунин, 29 апреля 2002 г.);

- утверждена департаментом Образовательных программ и стандартов профессионального образования (Руководитель В.И. Кружалин, 12 сентября 2002 г.)

рекомендована Минобразованием России для специальности 011000 - Химия

### 1. Общие вопросы

Предмет органической химии и основные этапы ее развития. Способы изображения молекул органических соединений, структурные и электронные формулы (Г. Льюис). Типы углеродного скелета, ациклические, циклические и гетероциклические соединения. Изомерия и ее виды. Гомология. Основные функциональные группы. Классификация органических соединений.

### 2. Основы номенклатуры органических соединений

Заместительная номенклатура, ИЮПАК. Понятия родоначальной структуры, характеристических групп. Названия нефункциональных заместителей, функциональных групп, предельных, непредельных, ароматических радикалов. Старшинство функциональных групп. Основные правила составления заместительных названий органических соединений, выбор и нумерация главной цепи, правило наименьших локантов. Названия основных классов органических соединений, сложных поли и гетерофункциональных соединений.

Основные положения теории строения органических соединений (А.М. Бутлеров), электронной теории, основные принципы квантовой органической химии. Валентность атомов. Типы гибридизации атома углерода в органических соединениях, теория взаимного отталкивания электронных орбиталей.  $\sigma$  и  $\pi$ Связи атомов углерода, физические характеристики связей: длина, валентные углы, энергия, полярность, поляризуемость, дипольный момент, потенциал ионизации. Гомолитический и гетеролитический разрыв связи.

Классификация реагентов и реакций. Промежуточные частицы (интермедиаты): радикалы, карбокатионы, карбанионы, карбены, нитрены, арины и др. Электронное и пространственное строение промежуточных частиц. Электронные эффекты заместителей. Индуктивный и мезомерный эффекты и способы изображения этих эффектов. Примеры групп с +I, I, +M и M-эффектами. Эффект гиперконъюгации (сверхсопряжения). Влияние электронных эффектов заместителей на стабильность и реакционную способность органических соединений и промежуточных частиц. Резонансные структуры, правила их построения.

Кислоты и основания (Й.Бренстед, Г.Льюис). Сопряженные кислоты и сопряженные основания. Кислотноосновные равновесия на примере спиртов, простых эфиров, карбоновых кислот, кетонов и аминов. Константа кислотности  $pK_a$ , константа основности  $pK_b$ . Влияние заместителей в молекуле на кислотность и основность органических соединений. Теория жестких и мягких кислот и оснований (ЖМКО).

### 3. Основы стереохимии

Способы изображения пространственного строения молекул с  $sp^3$ гибридизованным углеродом: клиновидные проекции, "лесопильные козлы", проекции Ньюмена. Конформации, конформеры. Заслоненная (*син*перипланарная), заторможенная (*анти*перипланарная) скошенная (*гош*) конформации.

Асимметрический атом углерода. Хиральность, условия, необходимые для возникновения хиральности. Конфигурация, отличие от конформации. Оптическая изомерия, оптическая активность. Энантимеры. Рацематы. Принцип R,Sноменклатуры. Определение порядка старшинства заместителей у хирального центра (правило Кана Ингольда Прелога). Абсолютная и относительная конфигурации. Проекционные формулы (Э.Фишер). Их построение, правила пользования ими (для соединений с одним асимметрическим атомом углерода). Способы разделения рацематов. Соединения с двумя хиральными центрами. Построение проекций Фишера. Диастереомеры. *Мезо*формы. *Эритро* и *трео*номенклатура. Изображение молекулы данного соединения с помощью различных проекционных формул. Переход от одной проекционной формулы молекулы к другой. Представление об оптической изомерии соединений, не содержащих асимметрического атома углерода.

Геометрическая изомерия соединений с двойной связью. *Цис, транс; Z, E* и *син, анти* номенклатура.

#### 4. Алканы

Гомологический ряд, изомерия и номенклатура. Природные источники алканов. Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, синтез через литийдиалкилкупраты, электролиз солей карбоновых кислот, восстановление карбонильных соединений, из галогеналканов (реакция Вюрца, протолиз реактивов Гриньяра). Природа C-C и C-H связей в алканах. Конформации этана, пропана, бутана и высших алканов. Энергетическая диаграмма конформационного состояния молекулы алкана.

Химические свойства: реакции галогенирования (хлорирование, бромирование, иодирование, фторирование). Энергетика цепных свободнорадикальных реакций галогенирования. Нитрование (М.И. Коновалов), сульфохлорирование и окисление. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов (дейтериевый обмен и галогенирование и нитрование в суперкислой среде).

#### 5. Алкены

Гомологический ряд, изомерия и номенклатура. Геометрическая изомерия (*цис, транс* и *Z, E* номенклатура). Природа двойной связи. Молекулярные орбитали этилена. Методы синтеза: элиминирование галогеноводорода из алкилгалогенидов, воды из спиртов, дегалогенирование *вицид*галогеналканов. Реакция Гофмана, Виттига, стереоселективное восстановление алкинов.

Химические свойства алкенов. Ряд стабильности алкенов, выведенный на основе теплот гидрирования. Гетерогенное и гомогенное гидрирование алкенов. Электрофильное присоединение ( $Ad_E$ ). Общее представление о механизме реакций,  $\pi$  и  $\sigma$  комплексы, ониевые ионы. Стерео и региоселективность. Правило В.В. Марковникова, индуктивный и мезомерный эффекты. Галогенирование: механизм, стереохимия. Процессы, сопутствующие  $Ad_E$  реакциям: сопряженное присоединение, перегруппировки промежуточных карбокатионов. Гидрогалогенирование: понятие о би и тримолекулярных механизмах. Гидратация. Промышленный метод синтеза этанола и пропанола-2. Гидрокси и алкоксимеркурирование. Метатезис алкенов. Регио и стереоселективное присоединение гидридов бора. Региоспецифические гидроборирующие реагенты. Превращение борорганических соединений в алканы, спирты, алкилгалогениды. Окисление алкенов до оксиранов (Н.А. Прилежаев) и до диолов по Вагнеру ( $KMnO_4$ ) и Криге ( $OsO_4$ ). Стереохимия гидроксирования алкенов. Озолиз алкенов, окислительное и восстановительное расщепление озонидов. Исчерпывающее окисление алкенов с помощью  $KMnO_4$  или  $Na_2Cr_2O_7$  в условиях межфазного катализа. Радикальные реакции: присоединение бромистого водорода по Харашу (механизм), присоединение  $H_2S$ ,  $RSH$  и тетрагалогенметанов к алкенам и аллильное галогенирование. Молекулярные орбитали аллильного радикала. Радикальная и координационная (металлокомплексная) полимеризация алкенов.

#### 6. Алкины

Гомологический ряд, номенклатура и изомерия. Природа тройной связи. Методы синтеза алкинов с помощью реакций отщепления, алкилирования терминальных ацетиленов. Получение ацетилена пиролизом метана.

Химические свойства алкинов. Электрофильное присоединение к алкинам. Сравнение реакционной способности алкинов и алкенов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация алкинов (М.Г. Кучеров), присоединение карбоновых кислот. Восстановление алкинов до *цис* и *транс* алкенов. Гидроборирование алкинов, синтез альдегидов и кетонов. Сп-кислотность ацетилена. Ацетилениды натрия и меди. Магнийорганические производные алкинов (Ж.И. Иоцич): их получение и использование в органическом синтезе.

Конденсация терминальных алкинов с кетонами и альдегидами (А.Е. Фаворский, В.Реппе). Ацетиленалленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди.

#### 7. Алкадиены

Типы диенов. Изолированные, кумулированные и сопряженные диены. Изомерия и номенклатура. Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрирование алканов, синтез Фаворского-Реппе, кроссочетание на металлокомплексных катализаторах.

Бутадиен-1,3, особенности строения. Молекулярные орбитали 1,3-диенов.

Химические свойства 1,3-диенов. Галогенирование и гидрогалогенирование 1,3-диенов. Аллильный катион, его орбитали. 1,2 и 1,4-присоединение, энергетический профиль реакции, термодинамический и кинетический контроль. Полимеризация диенов. Натуральный и синтетический каучуки. Реакция Дильса-Альдера с алкенами и алкинами, стереохимия реакции и ее применение в органическом синтезе. Участие

низших свободных (НСМО) и высших заполненных (ВЗМО) орбиталей реагентов в образовании переходного состояния реакции диенового синтеза.

Строение аллена, реакции присоединения к алленам.

## 8. Алициклические соединения

Циклоалканы и их производные. Классификация алициклов. Энергия напряжения циклоалканов и ее количественная оценка на основании сравнения теплот образования и теплот сгорания циклоалканов и соответствующих алканов. Типы напряжения в циклоалканах и подразделение циклов на малые, средние циклы и макроциклы. Строение циклопропана, циклобутана, циклопентана, циклогексана. Конформационный анализ циклогексана. Аксиальные и экваториальные связи в конформации "кресло" циклогексана. Конформации моно и дизамещенных производных циклогексана. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность на примере реакций замещения, отщепления и окисления.

Методы синтеза циклопропана, циклобутана и их производных. Особенности химических свойств соединений с трехчленным циклом. Синтез соединений ряда циклопентана и циклогексана. Реакции расширения и сужения цикла при дезаминировании первичных аминов (Н.Я. Демьянов). Синтез соединений со средним и большим размером цикла (сложноэфирная и ацилоиновая конденсации). Трансанулярные реакции в средних циклах.

Представление о природных полициклических системах терпенов и стероидов. Каркасные соединения: адамантан, кубан, призман, тетраэдран.

## 9. Арены

*Концепция ароматичности.* Ароматичность. Строение бензола. Формула Кекуле. Молекулярные орбитали бензола. Аннулены. Аннулены ароматические и неароматические. Круг Фроста. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Ароматические катионы и анионы. Конденсированные ароматические углеводороды: нафталин, фенантрен, антрацен, азулен и др. Гетероциклические пяти и шестичленные ароматические соединения (пиррол, фуран, тиофен, пиридин). Антиароматичность на примере циклобутадиена, циклопропениланиона, катиона циклопентаденилилия. Критерии ароматичности: квантовохимический (сравнение расчетных величин энергии делокализации на один  $\pi$ -электрон), энергетический (теплоты гидрирования) и магнитный.

Получение ароматических углеводородов в промышленности каталитический риформинг нефти, переработка коксового газа и каменноугольной смолы. Лабораторные методы синтеза: реакция Вюрца Фиттига и другие реакции *кросс*сочетания, алкилирование аренов по Фриделю Крафтсу, восстановление жирноароматических кетонов (реакция Кижнера Вольфа, реакция Клемменсена), протолиз арилмагнийгалогенидов.

Свойства аренов. Каталитическое гидрирование аренов, восстановление аренов по Бёрчу, фотохимическое хлорирование бензола. Реакции замещения водорода в боковой цепи алкилбензолов на галоген. Окисление алкилбензолов и конденсированных ароматических углеводородов до карбоновых кислот, альдегидов и кетонов.

## 10. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ряду

Классификация реакций ароматического электрофильного замещения. Общие представления о механизме реакций, кинетический изотопный эффект в реакциях электрофильного замещения водорода в бензольном кольце. Представление о  $\pi$  и  $\sigma$  комплексах. Структура переходного состояния. Изотопный обмен водорода как простейшая реакция электрофильного замещения. Арениевые ионы в реакциях электрофильного замещения. Влияние природы заместителя на ориентацию и скорость реакции электрофильного замещения. Электронодонорные и электроноакцепторные заместители. Согласованная и несогласованная ориентация двух или нескольких заместителей в ароматическом кольце.

Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование нафталина, бифенила и других аренов. Получение полинитросоединений. Понятие о *ипсо*атаке и *ипсо*замещении в реакциях нитрования.

Галогенирование. Галогенирующие агенты. Механизм реакции галогенирования аренов и их производных.

Сульфирование. Сульфлирующие агенты. Механизм реакции. Кинетический и термодинамический контроль в реакции сульфирования на примере фенола и нафталина. Обратимость реакции сульфирования. Превращения сульфогруппы.

Алкилирование аренов по Фриделю Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Побочные процессы изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Синтез диарил и триарилметанов. Триарилметилкатионы, анионы и радикалы. Методы их генерирования и стабильность.

Ацилирование аренов по Фриделю Крафтсу. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Формилирование по Гаттерману Коху и другие родственные реакции.

## 11. Нуклеофильное ароматическое замещение

Общие представления о механизме нуклеофильного замещения.

1. Механизм отщепленияприсоединения на примере превращения галогенбензолов в фенолы и ароматические амины. Методы генерирования и фиксации дегидробензола. Строение дегидробензола.
2. Механизм присоединенияотщепления  $S_NAr$ , примеры реакций и активирующее влияние электроноакцепторных заместителей. Анионные  $\sigma$ комплексы Мейзенгеймера и их строение.
3.  $S_N1$ Механизм ароматического нуклеофильного замещения в реакциях гидролиза катиона арендиазония.
4. Механизм  $S_{RN}1$  в ароматическом ряду и область его применения. Инициирование ионрадикальной цепи.

## 12. Галогенпроизводные углеводородов

Изомерия, номенклатура. Способы получения из спиртов, алканов, алкенов; замещением атома одного галогена атомом другого, хлорметилирование аренов.

Реакции нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода в алкилгалогенидах как метод создания связи углерод углерод, углерод азот, углерод кислород, углерод сера, углерод фосфор (получение алкилгалогенидов, спиртов, тиолов, простых эфиров, нитросоединений, аминов, нитрилов, сложных эфиров и др.). Классификация механизмов реакций нуклеофильного замещения. Основные характеристики  $S_N1$ ,  $S_N2$  реакций. Энергетический профиль реакций.

Реакции  $S_N2$ типа. Кинетика, стереохимия, вальденовское обращение. Понятие о нуклеофильности. Влияние природы радикала и уходящей группы субстрата, природы нуклеофильного агента и растворителя на скорость  $S_N2$  реакций. Принцип ЖМКО.

Метод межфазного переноса и его использование в органическом синтезе.

Реакции  $S_N1$ типа. Кинетика, стереохимия, зависимость  $S_N1$  процесса от природы радикала, уходящей группы, растворителя. Карбокатионы, факторы, определяющие их устойчивость. Перегруппировки карбокатионов. Методы генерирования карбокатионов. Понятие об ионных парах.

Методы получения галогеналканов из алканов, алкенов, спиртов.

## 13. Реакции элиминирования

Реакции элиминирования.  $\alpha$  и  $\beta$ Элиминирование. Классификация механизмов  $\beta$  элиминирования: E1, E2 и E1cb. Направление элиминирования. Правила Зайцева и Гофмана. Стереохимия элиминирования: *син* и *анти* элиминирование. Влияние природы основания и уходящей группы на направление отщепления. Конкуренция процессов E2 и  $S_N2$ , E1 и  $S_N1$ . Факторы влияющие на эту конкуренцию. Использование реакций  $\beta$ элиминирования в галогеналканах для синтеза алкенов, диенов и алкинов. Влияние конформационного положения функциональных групп в циклоалканах на их реакционную способность на примере реакций замещения, отщепления.

Реакции  $\alpha$ элиминирования. Генерирование карбенов. Карбены частицы с двухкоординированным атомом углерода. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Понятие о карбеноидах. Взаимодействие карбеноидов с алкенами.

Взаимодействие галогеналканов с металлами (образование реактивов Гриньяра, реакция Вюрца).

Винилгалогениды как соединения с пониженной подвижностью атома галогена.

## 14. Металлоорганические соединения

Литий и магнийорганические соединения. Методы синтеза: взаимодействие металла с алкил или арилгалогенидами. Представление о шкале СН кислотности углеводородов. Строение реактивов Гриньяра, равновесие с диалкилмагнием (уравнение В.Шленка). Литий и магнийорганические соединения в синтезе углеводородов, спиртов, альдегидов, кетонов, карбоновых кислот. Диалкил и диарилкупраты. Получение и применение этих комплексных соединений для синтеза предельных углеводородов, диенов, спиртов, несимметричных кетонов и в реакциях сопряженного присоединения к  $\alpha,\beta$ ненасыщенным карбонильным соединениям.

## 15. Гидроксипроизводные углеводов

Одноатомные спирты. Гомологический ряд, классификация, изомерия и номенклатура. Методы получения: из алкенов, карбонильных соединений, галогеналканов, сложных эфиров и карбоновых кислот.

Свойства спиртов. Спирты, как слабые ОНкислоты. Спирты, как основания Льюиса. Замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора, хлористого тионила). Механизмы  $S_N1$ ,  $S_N2$ , и стереохимия замещения, гидридные перегруппировки карбокатионов (ретропинаколиновая перегруппировка). Дегидратация спиртов. Окисление первичных спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, вторичных спиртов до кетонов. Реагенты окисления на основе хромового ангидрида и двуокиси марганца. Механизм окисления спиртов хромовым ангидридом.

Двухатомные спирты. Методы синтеза. Свойства: окисление, ацилирование, дегидратация. Окислительное расщепление 1,2-диолов (йодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.

Фенолы. Методы получения: щелочное плавление аренсульфонатов, замещение галогена на гидроксил, гидролиз солей арендиазония. Кумольный способ получения фенола в промышленности.

Свойства фенолов. Фенолы как ОНкислоты. Сравнение кислотного характера фенолов и спиртов, влияние заместителей на кислотность фенолов. Образование простых и сложных эфиров фенолов. Реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре фенолов: галогенирование, сульфирование, нитрование, нитрозирование, сочетание с солями диазония, алкилирование и ацилирование. Перегруппировка Фриса. Карбоксилирование фенолятов щелочных металлов по Кольбе. Формилирование фенолов по Реймеру Тиману, механизм образования салицилового альдегида. Формилирование фенолов по Вильсмайеру. Перегруппировка аллиловых эфиров фенолов (Л.Кляйзен). Окисление фенолов, в том числе пространственно затрудненных. Понятие об ароксильных радикалах.

## 16. Простые эфиры

Простые эфиры. Методы получения: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование алкенов, межмолекулярная дегидратация спиртов.

Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами. Гидропероксиды. Получение и свойства  $\alpha$ галогенэфиров. Виниловые эфиры их получение (из ацетилена и  $\alpha$ галогенэфиров)

Краунэфиры. Получение и применение в синтетической практике.

Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов.

## 17. Альдегиды и кетоны

Изомерия и номенклатура. Методы получения альдегидов и кетонов из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование, гидратация по Кучерову), на основе металлорганических соединений. Ацилирование и формилирование ароматических соединений. Промышленное получение формальдегида, ацетальдегида (Вакерпроцесс) и высших альдегидов (гидроформилирование).

Строение карбонильной группы, ее полярность и поляризуемость. Влияние природы и строения радикала на карбонильную активность.

Химические свойства. Общие представления о механизме нуклеофильного присоединения по карбонильной группе альдегидов и кетонов. Кислотный и основной катализ. Кислотность и основность карбонильных соединений.

Кетоенольная таутомерия. Енолизация альдегидов и кетонов в реакциях галогенирования, изотопного обмена водорода и рацемизации оптически активных кетонов. Кислотный и основной катализ этих реакций.

Кетоенольная таутомерия кетонов, 1,3-дикетонов и 1,3-кетозэфиров. Влияние структурных факторов и природы растворителя на положение кетоенольного равновесия и зависимость его от соотношения СН и ОН кислотности кетона и енола. Двойственная реакционная способность енолятионов. Интерпретация данных в рамках принципа ЖМКО.

Алкилирование и ацилирование енаминов.

Альдольнокротоновая конденсация альдегидов и кетонов в кислой и щелочной среде, механизм реакций. Направленная альдольная конденсация разноименных альдегидов с использованием литиевых, борных енолятов и кремниевых эфиров енолов. Конденсация альдегидов и кетонов с малоновым эфиром и другими соединениями с активной метиленовой группой. Аминометиление альдегидов и кетонов (Манних). Бензоиновая конденсация.

Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления; восстановление С=О группы до СН<sub>2</sub> группы: реакции КижнераВольфа и Клемменсена. Ионрадикальная димеризация альдегидов и кетонов. Окисление альдегидов, реагенты окисления. Окисление кетонов перкислотами по Байеру Веллигеру. Диспропорционирование альдегидов по Канниццаро (прямая и перекрестная реакции)

$\alpha,\beta$ Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения: конденсации, окисление аллиловых спиртов. Сопряжение карбонильной группы с двойной углеродуглеродной связью. Реакции 1,2 и 1,4присоединения литийорганических соединений, триалкилборанов, диалкил и диарилкупратов, аминов, цианистого водорода, галогеноводородов. Сопряженное присоединение енолятов и енаминов (Михаэль).

Восстановление  $\alpha,\beta$ непредельных карбонильных соединений.

## 18. Карбоновые кислоты и их производные

*Классификация, номенклатура, изомерия.* Методы синтеза: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов; гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот; синтез на основе металлоорганических соединений; синтеза на основе малонового и ацетоуксусного эфиров. Получение муравьиной кислоты и уксусной кислот.

Строение карбоксильной группы и карбоксилатиона. Физикохимические свойства кислот: ассоциация, диссоциация. Кислотность, ее зависимость от индуктивных эффектов заместителей, от характера и положения заместителей в алкильной цепи и бензольном ядре.

Галогенирование кислот по Гелю Фольгарду Зелинскому. Пиролитическая кетонизация, электролиз солей карбоновых кислот по Кольбе, декарбоксилирование по Хундиккеру.

*Галогенангидриды.* Получение с помощью галогенидов фосфора, тионилхлорида, оксалилхлорида, бензоилхлорида. Свойства: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, гидразин, металлоорганические соединения). Восстановление до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие диазометана с галогенангидридами карбоновых кислот (реакция Арндта Эйстердта)

*Ангидриды.* Методы получения: дегидратация кислот с помощью P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и фталевого ангидрида; ацилирование солей карбоновых кислот хлорангидридами. Реакции ангидридов кислот с нуклеофилами. Реакция Перкина.

*Кетен.* Получение и свойства.

*Сложные эфиры.* Методы получения: этерификация карбоновых кислот (механизм), ацилирование спиртов и их алкоголятов ацилгалогенидами и ангидридами, алкилирование карбоксилатионов, реакции кислот с диазометаном, алкоголиз нитрилов. Методы синтеза циклических сложных эфиров лактонов. Реакции сложных эфиров: гидролиз (механизм кислотного и основного катализа), аммонолиз, переэтерификация; взаимодействие с магнием и литийорганическими соединениями, восстановление до спиртов и альдегидов комплексными гидридами металлов; сложноэфирная (Л.Кляйзен) и ацилоиновая конденсации.

Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе. Кетоенольная таутомерия эфиров 1,3кетокислот и 1,3дикетонов, амбидентный характер енолятиона.

*Амиды.* Строение карбамоильной группы. Методы получения: ацилирование аммиака и аминов, пиролиз карбоксилатов аммония, гидролиз нитрилов, перегруппировка оксимов по Бекману. Синтез циклических амидов лактамов. Свойства: гидролиз, восстановление до аминов, дегидратация амидов. Понятие о секстетных перегруппировках. Перегруппировки А.Гофмана, Т.Курциуса. Взаимодействие амидов с азотистой кислотой (реакция Буво).

*Нитрилы.* Методы получения: дегидратация амидов кислот (с помощью P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SOCl<sub>2</sub>, POCl<sub>3</sub>), алкилирование цианидиона. Свойства: гидролиз, аммонолиз, восстановление до аминов, взаимодействие с магнием и литийорганическими соединениями. Реакция Риттера, образование имидатов.

Производные угольной кислоты:

фосген, мочевины и ее производные, эфиры угольной кислоты, изоцианаты, уретаны, семикарбазид, кантогенаты. Получение и основные свойства.

Двухосновные кислоты. Методы синтеза: окислительное расщепление циклоолефинов и циклических кетонов, окисление полиалкилбензолов. Главные представители: щавелевая кислота, диэтилоксалат в сложноэфирной конденсации. Малоновая кислота: синтезы с малоновым эфиром, реакция Михаэля, конденсации с альдегидами (Кнёвенагель). Янтарная кислота, ее ангидрид, имид, Nбромсукцинимид. Адипиновая кислота. Конденсация Дикмана. Ацилоиновая конденсация эфиров дикарбоновых кислот как метод синтеза средних и макроциклов.

Фталевая и терефталевая кислоты, промышленные методы получения. Фталевый ангидрид, фталимид и его использование в синтезе.

$\alpha,\beta$ Непредельные кислоты. Методы синтеза: дегидратация  $\beta$ оксикислот, реакция Кнёвенагеля, реакция Виттига, реакция Перкина, синтез коричных кислот.

Реакции присоединения по двойной C=C связи. Стереохимия присоединения галогена и гидроксирования перкислотами по Вагнеру ( $\text{KMnO}_4$ ).

Фумаровая и малеиновая кислоты.

Ацетилендикарбоновая кислота.

Аминокислоты. Основные методы синтеза аминокислот. Методы избирательного введения и удаления защитных групп. Методы создания пептидной связи.

## 19. Хиноны

Получение *o* и *p*бензо и нафтохинонов. Свойства хинонов: получение моно и диоксимов, присоединение хлористого водорода, анилина, уксусного ангидрида, спиртов, реакция с диенами. Сопоставление свойств хинонов и  $\alpha,\beta$ непредельных кетонов. Восстановление хинонов. Хлоранил, его использование для окисления и получение. Хингидрон. Комплексы с переносом заряда (КПЗ). Семихиноны. Понятие об анионрадикалах. Гидрохинон как ингибитор свободнорадикальных реакций. Антрахинон: получение, представление о свойствах и применение. Ализарин.

## 20. Нитросоединения

Нитроалканы. Методы синтеза из алкилгалогенидов (амбидентный характер нитритиона), нитрование алканов по Коновалову. Строение нитрогруппы. Свойства нитроалканов: кислотность и таутомерия нитроалканов, реакции нитроалканов с азотистой кислотой, галогенами, конденсация с карбонильными соединениями, восстановление в амины. Таутомерия нитроалканов.

Ароматические нитросоединения. Восстановление нитроаренов в кислой и щелочной среде.

Промежуточные продукты восстановления нитрогруппы (нитрозосоединения, арилгидроксиламины, азокси, азо и гидразосоединения). Бензидиновая перегруппировка. Восстановление одной нитрогруппы в полинитроаренах. Образование комплексов с переносом заряда .

## 21. Амины

Классификация, изомерия, номенклатура аминов. Методы получения: алкилирование аммиака и аминов по Гофману, фталимида калия (Габриэль), восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса. Восстановительное аминирование карбонильных соединений. Взаимодействие альдегидов и кетонов с формиатом аммония (Лейкарт).

Строение аминов, химические свойства. Амины как основания. Сравнение основных свойств первичных, вторичных, третичных алифатических и ароматических аминов. Влияние на основность аминов заместителей в ароматическом ядре. Алкилирование и ацилирование аминов. Термическое разложение гидроксидов тетраалкиламмония по Гофману. Идентификация и разделение первичных, вторичных и третичных аминов с помощью бензолсульфохлорида (проба Хинсберга).

Взаимодействие первичных, вторичных и третичных алифатических и ароматических аминов с азотистой кислотой. Окисление и галогенирование аминов. Реакции электрофильного замещения в бензольном ядре ароматических аминов, защита аминогруппы.

## 22. Диазосоединения

Общие представления об алифатических диазосоединениях. Диазометан, диазоуксусный эфир,  $\alpha$  диазокарбонильные соединения.

Ароматические диазосоединения. Реакции диазотирования первичных ароматических аминов. Условия диазотирования в зависимости от строения амина. Механизм, природа нитрозирующего агента. Строение и устойчивость солей диазония. Кислотноосновные равновесия с участием катиона арендиазония.

Реакции диазосоединений с выделением азота: замена диазогруппы на гидроксил, галоген, циан, нитрогруппу и водород. Реакции арилирования ароматических соединений солями арендиазония (Гомберг).

Реакции диазосоединений без выделения азота: восстановление до арилгидразинов, азосочетание. Азосочетание как реакция электрофильного замещения. Азо и диазосоставляющие, условие сочетания с аминами и фенолами. Азокрасители.



## 23. Гетероциклические соединения

Классификация гетероциклов, номенклатура.

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

*Индол.* Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование.

*Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин, хинолин и изохинолин.* Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру Миллеру. Ароматичность пиридина, молекулярные орбитали пиридина. Пиридин и хинолин как основания. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. NO<sub>2</sub> окись пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин) и фениллитием. Активация метильной группы в 2 и 4-метилпиридинах и хинолинах. 2-Метилпиридин и хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

## 24. Аминокислоты, пептиды и белки

Номенклатура аминокислот. Природные аминокислоты. Хиральность аминокислот, образующих протеины. Кислотноосновные свойства, амфотерность аминокислот. Изоэлектрическая точка. Синтезы α-аминокислот и разделение рацемических форм.

Свойства аминокислот: по аминогруппе, карбоксилу, окисление аминокислот.

Номенклатура пептидов. Основные принципы синтеза полипептидов; защита аминогруппы и активация карбоксильной группы. Твердофазный синтез пептидов. Общие принципы определения строения пептидов и белков. Первичная, вторичная и третичная структура белков. Понятие о ферментах и ферментативном катализе.

## 25. Углеводы

*Моносахариды и полисахариды.* Классификация и стереохимия моносахаридов. Альдозы (альдотреозы, альдопентозы, альдогексозы) и кетозы. Стереохимия альдоз и кетоз в проекциях Фишера. Циклические полуацетали альдогексоз — глюкопиранозы и глюкофуранозы. α и β-Аномеры. Формулы Хеуорса для аномерных моносахаридов. Таутомерия циклических и открытых форм в растворах моносахаридов, мутаротация глюкозы. Конформации пиранозного цикла. Реакции моносахаридов. Получение гликозидов как особой формы циклических ацеталей. Синтез простых и сложных эфиров моносахаридов. Окисление альдоз до альдоновых кислот, лактонизация альдоновых кислот. Исчерпывающее окисление моносахаридов иодной кислотой. Образование озазонов при взаимодействии с фенилгидразином. Синтез моносахаридов по Килиани Фишеру и дегградация по Волю Руффу.

Дисахариды (биозы): мальтоза, целлобиоза, лактоза, сахароза. Полисахариды — целлюлоза и крахмал.

*Нуклеиновые кислоты.* Нуклеиновые основания, нуклеозиды и нуклеотиды. Первичная структура ДНК и РНК. Нуклеотидный состав ДНК и РНК. Вторичная структура ДНК. Биологическая функция ДНК. Виды РНК и ее роль в синтезе белка.

## 26. Физические и физикохимические методы исследования в органической химии

Инфракрасная спектроскопия. Природа ИК спектров, способы их изображения, характеристические частоты поглощения.

Электронная спектроскопия. Природа спектров, типы электронных переходов, их энергетические характеристики. Понятие о хромофорных группировках, способ изображения УФ спектров.

Спектры протонного магнитного резонанса. Природа, основные характеристики: химический сдвиг, интенсивность, мультиплетность сигналов протонов; спинспиновое взаимодействие.

Массспектрометрия. Основные принципы, молекулярный ион, изотопный состав ионов, основные пути фрагментации важнейших классов органических соединений.

### **Литература** ***Основная***

**Шабаров Ю.С.** Органическая химия. М.: Химия. 1994. Т.1,2.

**Терней А.** Современная органическая химия. М.: Мир, 1981. Т.1,2.

**Робертс Дж., Кассерио М.** Основы органической химии. М.: Мир, 1978. Т.1,2.

Органикум: В 2 т. М., 1992. Т. 1,2.

**Моррисон Р., Бойд Р.** Органическая химия. М.: Мир, 1974.

**Несмеянов А.Н., Несмеянов А.Н.** Начала органической химии. М.: Мир, 1974. Т.1,2.

**Нейланд О.Я.** Органическая химия. М.: Высш. шк., 1990.

### ***Дополнительная***

**Сайкс П.** Механизмы реакций в органической химии. М.: Химия, 1991.

**Керри Ф., Сандберг Р.** Углубленный курс органической химии. М.: Химия, 1981.

**Марч Дж.** Органическая химия: В 4 т. М., 1987-1988. Т. 14.

**Рейнгард В., Хофман В.** Механизмы химических реакций. М.: Химия, 1979.

**Казицына Л.А.** Применение УФ, ИК и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974.