



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Шевчик

« 29 »

А. П. Шевчик

2022 г.



Программа кандидатского экзамена

1.4.3 «Органическая химия»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 1.4.3 Органическая химия.

Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, истории ее формирования и развития, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедрах органической химии и химической технологии органических красителей и фототропных соединений Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины «Органическая химия».

1. Порядок проведения кандидатского экзамена

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен как в устной, так и в письменной форме.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса из программы кандидатского экзамена по специальности и один вопрос из дополнительной программы, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы соискателя и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания вопросов экзаменационного билета.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

2. Основное содержание программы кандидатского экзамена

2.1 Химическая связь и строение органических соединений

А. Современные представления о природе связи (дублетно-октетная теория), типы связей – ионная, ковалентная, семиполярная, координационная. Теория электронных смещений, статические и динамические эффекты. Энергия, полярность и поляризуемость связей и групп.

Б. Основные положения квантовой химии. Уравнение Шредингера. Атом водорода. Понятие об атомных и молекулярных орбиталях, s- и p-приближении, методе Хюккеля и более строгих методах расчета. Правила взаимодействия орбиталей (соответствие

симметрии, интеграл перекрывания, расщепление уровней). Соотношение классической и квантовой теорий. Компромиссные подходы (локализованные связи, гибридизация, учет частичной делокализации на примере s,p-приближения).

В. Понятие о сопряжении в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе Хюккеля (аллильная система, бутadiен, их МО). Ароматичность: чисто химическое понимание, связанное с реакционной способностью, электронные концепции. Бензол, нафталин, азулен, ароматические гетероциклы, катионоидные и анионоидные ароматические системы (циклопентадиенил-анион, циклопропенильный и циклогептатриенильный катионы). Ароматические металлоорганические системы (металлоцены). Мезоионные соединения (сидноны). Антиароматичность.

Г. Стереохимия. Реальная геометрия органических молекул разных классов, типовые углы между связями. Взаимодействие несвязанных групп и атомов, Ван-дер-Ваальсовы радиусы.

Д. Конформация. Вращение вокруг связей разных типов: барьеры вращения, их типовые величины, симметрия барьера. Факторы, определяющие энергетическую выгодность различных конформеров (стерические, полярные, водородная связь). Влияние эффектов сопряжения на конформацию. Номенклатура конформеров.

Е. Конформационное поведение этана, бутана, циклогексана и его моно- и дизамещенных. Угловое напряжение в циклических системах. Средние циклы. Трансаннулярное и другие типы взаимодействия.

Ж. Связь конформации и реакционной способности. Стерический и стереоэлектронный контроль в различных типах реакций.

З. Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Барьеры вращения вокруг двойных связей, номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов. Атропоизомерия, относительность понятий конформации и конфигурации.

И. Энантиомерия, понятие о конфигурации. Ассиметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы. Номенклатура оптических изомеров.

К. Способы получения оптически активных веществ: разделение рацематов, асимметрический синтез.

Л. Понятие об асимметрическом неуглеродном атоме с пентакоординацией в пермутационном процессе. Хиральные амины, соли аммония, сульфоксиды, соли сульфония. Хиральные аллены.

М. Установление относительной и абсолютной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.

2.2 Общая теория реакций органических соединений

А. Общие принципы реакционной способности. Классификация реакций: по типу разрыва связей, по типу механизма. Принцип структурного соответствия переходного состояния и интермедиата (принцип Хэммонда).

Б. Теория переходного состояния. Гиперповерхность энергии, координата реакции и изменение энергии вдоль нее. Переходное состояние и интермедиат, промежуточные комплексы. Сложные многостадийные реакции. Свободная энергия активации, энтальпия и энтропия активации. Кинетика простых реакций, методы экспериментального изучения кинетики и механизма реакций.

В. Статический подход к проблеме реакционной способности. Оценка распределения электронной плотности на основе электронных эффектов.

Г. Эмпирический подход к реакционной способности: корреляционные уравнения, принцип линейности свободной энергии. Уравнения Гаммета и Тафта. Выводы о механизме на основе параметров корреляционных уравнений на примере реакций различных типов.

Д. Принцип ЖМКО. Примеры использования этого подхода.

Е. Сольватация. Процесс растворения и его физическая сущность. Типы сольватации. Классификация растворителей. Процессы диссоциации растворенного вещества. Ионные пары различных типов, ионизация. Экспериментальные доказательства существования органических ионов и ионных пар. Влияние сольватации на протекание химических реакций в разных растворителях, на кислотно-основные равновесия. Кислотность и основность соединений в растворе и газовой фазе. Краун-эфиры и их применение.

Ж. Основные типы промежуточных частиц.

Карбокатионы. Генерация карбокатионов в растворах (с помощью сверхкислот, образование при сольволизе тозилатов и галогенидов, дезаминировании) и в газовой фазе (масс-спектрометрия, ионы CH_3^+ и CH_5^+). Стабильность карбокатионов, влияние на нее различных видов сопряжения, пространственных и электронных факторов; влияние среды. Строение карбокатионов (спектры УФ- и ЯМР, геометрия), понятие о неклассических ионах на примере норборнил-катиона и фенолиевого катиона. Основные типы реагирования карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные перемещения в карбокатионах.

Карбанионы. Кислотность С–Н-связей. Органические соединения щелочных металлов. Стабилизация карбанионного центра, влияние на нее различных типов сопряжения с функциональными группами, стерических факторов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки.

Стабилизация анионов соседними ониевыми группами: сульфониевыми, фосфониевыми и сульфоксониевыми.

Карбены. Их электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов.

Изоэлектронные аналоги карбенов – нитрены, способы их генерации и основные свойства.

Свободные радикалы и родственные проблемы. Методы генерирования свободных радикалов (термолиз, фотолиз, радиолиз).

Электронное строение свободных радикалов. Принцип метода ЭПР, спектры типичных радикалов. Сущность метода химической поляризации ядер. Стабильные свободные радикалы, их типы. Типичные реакции свободных радикалов, цепные свободнорадикальные реакции.

Аутоокисление углеводородов, простых эфиров, альдегидов; практическая значимость этих реакций.

Катион- и анион-радикалы. Комплексы с переносом электрона, их электронная структура, типичные примеры.

2.3 Основные типы реакций в органической химии и их механизмы

А. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы $\text{S}_{\text{N}}1$ и $\text{S}_{\text{N}}2$, смешанный ион-парный механизм. Зависимость соотношения этих механизмов от структуры, полярности реагирующих веществ и природы растворителя. Сольволиз, зависимость его скорости от природы уходящей группы. Относительные скорости сольволиза типовых структур. Анхимерное участие и анхимерное (синартетическое) ускорение, участие соседних групп. Перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения.

Б. Нуклеофильное замещение при кратной связи и в ароматическом ядре. Типовые механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридизованного атома углерода (замещение и отщепление–присоединение). Проблема винилкатиона, сольволиз трифторметилсульфонатов.

В. Нуклеофильное замещение в ароматическом ядре: механизмы $\text{S}_{\text{N}}\text{Ar}$ (ареновый), механизм отщепления–присоединения (ариновый, дегидробензол), $\text{S}_{\text{N}}1$. Катализ переходными металлами при ароматическом нуклеофильном замещении (реакция Ульмана). Комплексы Мейзенгеймера. Нуклеофильное замещение в гетероциклах.

Г. Электрофильное замещение у атома углерода. Типы механизмов замещения у насыщенного атома углерода: S_E2 , S_E1 . Проблемы нуклеофильного катализа в электрофильном замещении. Типовые реакции. Влияние структуры и среды на ход реакции. Замещение у олефинового атома углерода.

Д. Электрофильное замещение в ароматическом кольце. Типовые механизмы (путь через π - и σ -комплексы, присоединение–отщепление). Генерирование электрофильных частиц, правила ориентации в реакциях электрофильного замещения в ароматическом ядре, роль пространственных и электронных факторов. Электрофильное замещение других (кроме водорода) групп. Типовые реакции электрофильного замещения в ядре бензола и в гетероциклах, их механизмы и кинетика. Кинетические изотопные эффекты.

Е. Реакции элиминирования. Механизмы гетеролитического отщепления: $E1$ и $E2$. Стереохимия и стереоэлектронные требования при $E2$ элиминировании. Зависимость скорости реакции и структуры образующихся при этом соединений от механизма.

Термическое син-отщепление (разложение ксантогенатов, пиролиз сложных эфиров). Декарбоксилирование β -кетокислот.

Ж. Присоединение по кратным связям. Электрофильное присоединение: сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, региоселективность присоединения (правило Марковникова), его объяснение. Присоединение к сопряженным кратным связям.

Нуклеофильное присоединение, его механизм. Реакция Михаэля.

Нуклеофильное присоединение по $C=O$ связи. Типовые реакции: присоединение оснований, псевдокислот, металлоорганических соединений. Кислотный и основной катализ присоединения. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получения ацеталей. Конденсации альдегидов и кетонов, их механизмы. Конденсация производных кислот.

З. Нуклеофильные перегруппировки. Перегруппировки в карбокатионных интермедиах. Генерация интермедиата, классификация перегруппировок по типам структуры и реагента: перегруппировки Демьянова, пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировки Вагнера и Мейервейна, механизм и стереоэлектронные требования.

Перегруппировки с миграцией к атому азота: Гофмана, Курциуса, Бекмана. Реакция Байера-Виллигера.

И. Синхронные процессы. Правила Вудварда-Гофмана, понятие о корреляционных диаграммах, теории граничных орбиталей, методе ВМО. Электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки. Конротаторное и дисротаторное замыкание циклов. Циклоприсоединение, классификация, понятие о супра- и антароповерхностном протекании циклоприсоединения, $[2+2]$ - и $[4+2]$ -циклоприсоединение. 1,3-Диполярное циклоприсоединение.

К. Двойственная реакционная способность и таутомерия, соотношение этих понятий. Двойственная реакционная способность анионов. Енолят-анионы. Правило Корнблюма; объяснение двойственной реакционной способности с позиций теории граничных орбиталей и концепции ЖМКО, кинетический и термодинамический контроль. Примеры таутомерии. Кето-енольное равновесие. Другие виды прототропной и иной таутомерии. Металлотропия.

Л. Основы фотохимии. Поглощение света веществом, синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций: диссоциация связей, $[2+2]$ -циклоприсоединение, фотореакции карбонильных соединений.

2.4 Принципы современного органического синтеза и методы определения строения органических соединений

А. Типы углеродных скелетов и основные пути их построения: реакции конденсации, металлоорганический синтез, реакции теломеризации, циклизации, карбеновый синтез.

Б. Характеристика химического, электронного и пространственного строения главных функциональных групп. Влияние углеродного скелета на свойства функций и влияние функций на свойства скелета. Взаимное влияние функций и его отражение в свойствах гетерофункциональных соединений.

Функциональные группы, основные пути введения и обмена функциональных групп.

В. Принципы использования физических методов установления строения. ЯМР, ЭПР, масс-спектрометрия, дипольные моменты, ИК- и электронная спектроскопия. Физические основы методов и принципы использования их в органической химии. Возможности методов.

Конкретные примеры комплексного применения химических, физико-химических и физических методов при определении строения органических веществ.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

Химическая связь и строение органических соединений

1. Современные представления о природе связи (дублетно-октетная теория), типы связей – ионная, ковалентная, семиполярная, координационная. Теория электронных смещений, статические и динамические эффекты. Энергия, полярность и поляризуемость связей и групп.

2. Основные положения квантовой химии. Уравнение Шредингера. Атом водорода. Понятие об атомных и молекулярных орбиталях, s- и p-приближении, методе Хюккеля и более строгих методах расчета. Правила взаимодействия орбиталей (соответствие симметрии, интеграл перекрывания, расщепление уровней). Соотношение классической и квантовой теорий. Компромиссные подходы (локализованные связи, гибридизация, учет частичной делокализации на примере s,p-приближения).

3. Понятие о сопряжении в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе Хюккеля (аллильная система, бутadiен, их МО). Ароматичность: чисто химическое понимание, связанное с реакционной способностью, электронные концепции. Бензол, нафталин, азулен, ароматические гетероциклы, катионоидные и анионоидные ароматические системы (циклопентадиенил-анион, циклопропенильный и циклогептатриенильный катионы). Ароматические металлоорганические системы (металлоцены). Мезоионные соединения (сидноны). Антиароматичность.

4. Стереохимия. Реальная геометрия органических молекул разных классов, типовые углы между связями. Взаимодействие несвязанных групп и атомов, Ван-дер-Ваальсовы радиусы.

5. Конформация. Вращение вокруг связей разных типов: барьеры вращения, их типовые величины, симметрия барьера. Факторы, определяющие энергетическую выгодность различных конформеров (стерические, полярные, водородная связь). Влияние эффектов сопряжения на конформацию. Номенклатура конформеров.

6. Конформационное поведение этана, бутана, циклогексана и его моно- и дизамещенных. Угловое напряжение в циклических системах. Средние циклы. Трансаннулярное и другие типы взаимодействия.

7. Связь конформации и реакционной способности. Стерический и стереоэлектронный контроль в различных типах реакций.

8. Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Барьеры вращения вокруг двойных связей, номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов. Атропоизомерия, относительность понятий конформации и конфигурации.

9. Энантиомерия, понятие о конфигурации. Ассиметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы. Номенклатура оптических изомеров.

10. Способы получения оптически активных веществ: разделение рацематов, асимметрический синтез.

11. Понятие об асимметрическом неуглеродном атоме с пентакоординацией в пермутационном процессе. Хиральные амины, соли аммония, сульфоксиды, соли сульфония. Хиральные аллены.

12. Установление относительной и абсолютной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.

Общая теория реакций органических соединений

13. Общие принципы реакционной способности. Классификация реакций: по типу разрыва связей, по типу механизма. Принцип структурного соответствия переходного состояния и интермедиата (принцип Хэммонда).

14. Теория переходного состояния. Гиперповерхность энергии, координата реакции и изменение энергии вдоль нее. Переходное состояние и интермедиат, промежуточные комплексы. Сложные многостадийные реакции. Свободная энергия активации, энтальпия и энтропия активации. Кинетика простых реакций, методы экспериментального изучения кинетики и механизма реакций.

15. Статический подход к проблеме реакционной способности. Оценка распределения электронной плотности на основе электронных эффектов.

16. Эмпирический подход к реакционной способности: корреляционные уравнения, принцип линейности свободной энергии. Уравнения Гаммета и Тафта. Выводы о механизме на основе параметров корреляционных уравнений на примере реакций различных типов.

17. Принцип ЖМКО. Примеры использования этого подхода.

18. Сольватация. Процесс растворения и его физическая сущность. Типы сольватации. Классификация растворителей. Процессы диссоциации растворенного вещества. Ионные пары различных типов, ионизация. Экспериментальные доказательства существования органических ионов и ионных пар. Влияние сольватации на протекание химических реакций в разных растворителях, на кислотно-основные равновесия. Кислотность и основность соединений в растворе и газовой фазе. Краун-эфиры и их применение.

19. Основные типы промежуточных частиц. Карбокатионы. Генерация карбокатионов в растворах (с помощью сверхкислот, образование при сольволизе тозилатов и галогенидов, дезаминировании) и в газовой фазе (масс-спектрометрия, ионы CH_3^+ и CH_5^+). Стабильность карбокатионов, влияние на нее различных видов сопряжения, пространственных и электронных факторов; влияние среды. Строение карбокатионов (спектры УФ- и ЯМР, геометрия), понятие о неклассических ионах на примере норборнил-катиона и фенолиевого катиона. Основные типы реагирования карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные перемещения в карбокатионах.

20. Основные типы промежуточных частиц. Карбанионы. Кислотность C–H-связей. Органические соединения щелочных металлов. Стабилизация карбанионного центра, влияние на нее различных типов сопряжения с функциональными группами, стерических факторов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Стабилизация анионов соседними ониевыми группами: сульфониевыми, фосфониевыми и сульфоксониевыми.

21. Основные типы промежуточных частиц. Карбены. Их электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов. Изоэлектронные аналоги карбенов – нитрены, способы их генерации и основные свойства.

22. Основные типы промежуточных частиц. Свободные радикалы и родственные проблемы. Методы генерирования свободных радикалов (термолиз, фотолиз, радиолиз). Электронное строение свободных радикалов. Принцип метода ЭПР, спектры типичных радикалов. Сущность метода химической поляризации ядер. Стабильные свободные радикалы, их типы. Типичные реакции свободных радикалов, цепные свободнорадикальные реакции.

23. Аутоокисление углеводов, простых эфиров, альдегидов; практическая значимость этих реакций.

24. Основные типы промежуточных частиц. Катион- и анион-радикалы. Комплексы с переносом электрона, их электронная структура, типичные примеры.

Основные типы реакций в органической химии и их механизмы

25. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S_N1 и S_N2 , смешанный ион-парный механизм. Зависимость соотношения этих механизмов от структуры, полярности реагирующих веществ и природы растворителя. Сольволиз, зависимость его скорости от природы уходящей группы. Относительные скорости сольволиза типовых структур. Анхимерное участие и анхимерное (синартетическое) ускорение, участие соседних групп. Перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения.

26. Нуклеофильное замещение при кратной связи и в ароматическом ядре. Типовые механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридизованного атома углерода (замещение и отщепление–присоединение). Проблема винилкатиона, сольволиз трифторметилсульфонатов.

27. Нуклеофильное замещение в ароматическом ядре: механизмы S_NAr (ареновый), механизм отщепления–присоединения (ариновый, дегидробензол), S_N1 . Катализ переходными металлами при ароматическом нуклеофильном замещении (реакция Ульмана). Комплексы Мейзенгеймера. Нуклеофильное замещение в гетероциклах.

28. Электрофильное замещение у атома углерода. Типы механизмов замещения у насыщенного атома углерода: S_E2 , S_E1 . Проблемы нуклеофильного катализа в электрофильном замещении. Типовые реакции. Влияние структуры и среды на ход реакции. Замещение у олефинового атома углерода.

29. Электрофильное замещение в ароматическом кольце. Типовые механизмы (путь через π - и σ -комплексы, присоединение–отщепление). Генерирование электрофильных частиц, правила ориентации в реакциях электрофильного замещения в ароматическом ядре, роль пространственных и электронных факторов. Электрофильное замещение других (кроме водорода) групп. Типовые реакции электрофильного замещения в ядре бензола и в гетероциклах, их механизмы и кинетика. Кинетические изотопные эффекты.

30. Реакции элиминирования. Механизмы гетеролитического отщепления: $E1$ и $E2$. Стереохимия и стереоэлектронные требования при $E2$ элиминировании. Зависимость скорости реакции и структуры образующихся при этом соединений от механизма. Термическое син-отщепление (разложение ксантогенатов, пиролиз сложных эфиров). Декарбокислирование β -кетокислот.

31. Присоединение по кратным связям. Электрофильное присоединение: сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, региоселективность присоединения (правило Марковникова), его объяснение. Присоединение к сопряженным кратным связям.

32. Нуклеофильное присоединение, его механизм. Реакция Михаэля. Нуклеофильное присоединение по $C=O$ связи. Типовые реакции: присоединение оснований, псевдокислот, металлоорганических соединений. Кислотный и основной катализ присоединения. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получения ацеталей. Конденсации альдегидов и кетонов, их механизмы. Конденсация производных кислот.

33. Нуклеофильные перегруппировки. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Генерация интермедиата, классификация перегруппировок по типам структуры и реагента: перегруппировки Демьянова, пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировки Вагнера и Мейервейна, механизм и стереоэлектронные требования.

34. Перегруппировки с миграцией к атому азота: Гофмана, Курциуса, Бекмана. Реакция Байера-Виллигера.

35. Синхронные процессы. Правила Вудварда-Гофмана, понятие о корреляционных диаграммах, теории граничных орбиталей, методе ВМО. Электроциклические реакции,

сигматропные перегруппировки. Конротаторное и дисротаторное замыкание циклов. Циклоприсоединение, классификация, понятие о супра- и антараповерхностном протекании циклоприсоединения, [2+2]- и [4+2]-циклоприсоединение. 1,3-Диполярное циклоприсоединение.

36. Двойственная реакционная способность и таутомерия, соотношение этих понятий. Двойственная реакционная способность анионов. Енолят-анионы. Правило Корнблума; объяснение двойственной реакционной способности с позиций теории граничных орбиталей и концепции ЖМКО, кинетический и термодинамический контроль. Примеры таутомерии. Кето-енольное равновесие. Другие виды прототропной и иной таутомерии. Металлотропия.

37. Основы фотохимии. Поглощение света веществом, синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций: диссоциация связей, [2+2]-циклоприсоединение, фотореакции карбонильных соединений.

Принципы современного органического синтеза и методы определения строения органических соединений

38. Типы углеродных скелетов и основные пути их построения: реакции конденсации, металлорганический синтез, реакции теломеризации, циклизации, карбеновый синтез.

39. Характеристика химического, электронного и пространственного строения главных функциональных групп. Влияние углеродного скелета на свойства функций и влияние функций на свойства скелета. Взаимное влияние функций и его отражение в свойствах гетерофункциональных соединений.

40. Функциональные группы, основные пути введения и обмена функциональных групп.

41. Принципы использования физических методов установления строения. ЯМР, ЭПР, масс-спектрометрия, дипольные моменты, ИК- и электронная спектроскопия. Физические основы методов и принципы использования их в органической химии. Возможности методов. Конкретные примеры комплексного применения химических, физико-химических и физических методов при определении строения органических веществ.

4. Рекомендуемая литература

а) печатные издания

1. Денисов, В.Я. Органическая химия / В.Я. Денисов, Д.А. Мурышкин, Т.В. Чуйкова. – Москва: Высшая школа, 2009. – 544 с. – ISBN 978-5-06-005743-0.

2. Петров, А.А. Органическая химия / А.А. Петров, Х.В. Бальян., А.Т. Трощенко. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: Альянс, 2015. – 624 с. – ISBN 978-5-903034-99-4.

3. Альбицкая, В.М. Задачи и упражнения по органической химии / В.М. Альбицкая, В.И. Серкова. – Москва: Альянс, 2014. – 207 с. – ISBN 978-5-903034-59-8.

4. Березин, Б.Д. Курс современной органической химии / Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – Москва: Высшая школа, 2003. – 768 с. – ISBN 5-06-003630-8.

5. Реутов, О.А. Органическая химия / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. – Москва: БИНОМ, 2004. – ISBN 5-94774-109-1. Ч. 1. – 567 с. – ISBN 5-94774-110-5; Ч. 2. – 623 с. – ISBN 5-94774-111-3; Ч. 3. – 544 с. – ISBN 5-94774-112-1; Ч. 4. – 726 с. – ISBN 5-94774-113-Х.

6. Марч, Дж. Органическая химия. В 4-х т. (пер. с англ. 3-го изд., 1984 г.) / Дж. Марч. – Москва: Мир, 1987-1988. Т. 1. – 381 с.; Т. 2. – 504 с.; Т. 3. – 459 с.; Т. 4. – 468 с.

7. Травень, В.Ф. Органическая химия / В.Ф. Травень. – Москва: Академкнига, 2004. Т. 1. – 728 с. – ISBN 5-94628-068-6; Т. 2. – 583 с. – ISBN 5-94628-172-0.

б) электронные издания

1. Шабаров, Ю.С. Органическая химия / Ю.С. Шабаров. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2011. – 848 с. – ISBN 978-5-8114-1069-9 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: [ЭБС Лань \(lanbook.com\)](http://lanbook.com) (дата обращения: 10.03.2022). – Режим доступа: по подписке.

2. Денисов, В.Я. Сборник задач по органической химии: Учебное пособие / В.Я. Денисов, Д.Л. Мурышкин, Т.Б. Ткаченко, Т.В. Чуйкова. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2014. – 848 с. – ISBN 978-5-8114-1582-3 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: [ЭБС Лань \(lanbook.com\)](http://lanbook.com) (дата обращения: 10.03.2022). – Режим доступа: по подписке.

3. Пресс, И.А. Основы органической химии для самостоятельного изучения: учебное пособие для вузов / И.А. Пресс. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2022. – 432 с. – ISBN 978-5-8114-9575-7 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: [ЭБС Лань \(lanbook.com\)](http://lanbook.com) (дата обращения: 10.03.2022). – Режим доступа: по подписке.

4. Щеголев, А.Е. Органическая химия. Механизмы реакций: учебное пособие для вузов / А.Е. Щеголев, Н.М. Чернов. – Издательство «Лань», 2020. – 132 с. – ISBN 978-5-8114-6642-9 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: [ЭБС Лань \(lanbook.com\)](http://lanbook.com) (дата обращения: 10.03.2022). – Режим доступа: по подписке.

5. Реутов, О.А. Органическая химия / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. – Москва: БИНОМ, 2004. – ISBN 5-94774-109-1. Ч. 1. – 567 с. – ISBN 5-94774-110-5; Ч. 2. – 623 с. – ISBN 5-94774-111-3; Ч. 3. – 544 с. – ISBN 5-94774-112-1; Ч. 4. – 726 с. – ISBN 5-94774-113-X // URL: [О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин | Химия \(vk.com\)](http://vk.com) (дата обращения 10.03.2022). – Режим доступа: свободный.

6. Смит, М. Органическая химия Марча. Реакции, механизмы, строение: углубленный курс для университетов и химических вузов. В 4-х т. 2-е изд. (пер. с англ. 7-го изд., 2012 г.) / М. Смит. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – ISBN 978-5-906828-12-5. Т. 1. – 458 с. – ISBN 978-5-906828-13-2; Т. 2. – 539 с. – ISBN 978-5-906828-14-9; Т. 3. – 550 с. – ISBN 978-5-906828-15-6; Т. 4. – 511 с. – ISBN 978-5-906828-16-3 // URL: [Органическая химия Дж. Марча \(К. Смит\).zip — Яндекс.Диск \(yandex.ru\)](http://yandex.ru). – Режим доступа: свободный.

в) Интернет-ресурсы:

Для углубления знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека СПбГТИ (ТУ) «БИБЛИОТЕХ»;
2. Информационно-справочные поисковые системы и базы данных в сети Интернет;
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.