

УТВЕРЖДЕНА

заместитель директора
по образовательной деятельности
АНОО ВО «Университет «Сириус»

О. Д. Федоров

_____ 2026 г.



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

для поступающих на обучение по образовательной программе
высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре по научной специальности

1.4.3 Органическая химия

СОГЛАСОВАНО:

Председатель Ученого совета, директор
научного центра трансляционной медицины

Р.А. Иванов

Руководитель приёмной комиссии

Б.Е. Кадлубович

Two handwritten signatures in blue ink are present. The upper signature is for R.A. Ivanov and the lower, larger signature is for B.E. Kadlubovich. Both signatures are written in a cursive style.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительных испытаний предназначена для лиц, поступающих на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.4.3 Органическая химия (далее – образовательная программа).

В программу вступительных испытаний включено описание форм и процедур вступительных испытаний, представлено содержание тем и критерии оценки.

Вступительные испытания проводятся в следующей форме:

- письменный экзамен;
- резюме;
- исследовательское предложение.

Письменное вступительное испытание оценивается по 30-балльной шкале. Резюме и исследовательское предложение оцениваются по 10-балльной шкале. Язык проведения письменного экзамена – русский, материалы резюме и мотивационного эссе принимаются на русском языке.

Проведение вступительных испытаний осуществляется с применением дистанционных технологий.

Продолжительность письменного экзамена: 120 минут.

1. Цель и задачи вступительных испытаний

Цель проведения вступительных испытаний – отбор наиболее подготовленных поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности «Органическая химия», а также определение уровня их теоретической и практической базы для ведения самостоятельной научно-исследовательской деятельности и подготовки кандидатской диссертации.

Основные задачи вступительных испытаний:

- выявление и оценка уровня сформированности глубоких фундаментальных и профессиональных компетенций поступающего в области химии;
- определение уровня готовности к проведению самостоятельных фундаментальных и прикладных научных исследований (в том числе в рамках НИОКР), а также к работе в академических институтах, вузах и высокотехнологичных R&D центрах химического профиля;
- выяснение познавательной и мотивационной сферы поступающего, его нацеленности на решение актуальных научных проблем;
- выявление научных и профессиональных интересов в конкретных направлениях органической химии (нефтехимия, химия гетероциклов, элементоорганическая химия, медицинская химия, материаловедение и др.);
- определение уровня научно-технической эрудиции, умения работать с современной научной литературой и уровня языковой подготовки (владение профильным иностранным языком)

Целью вступительных испытаний является проверка следующих знаний, умений и навыков

Знания:

- глубокое знание теоретических основ органической химии, включая современные представления о природе химической связи, стереохимии и конформационном анализе;

- знание современных методов органического синтеза (включая методы асимметрического синтеза, металлокомплексного катализа, зеленой химии и др.);
- знание тонких механизмов, кинетики, термодинамики и закономерностей протекания важнейших органических реакций, а также методов их установления;
- знание физико-химических (инструментальных) методов установления структуры и чистоты органических соединений (ЯМР ^1H и ^{13}C , ИК- и УФ-спектроскопия, масс-спектрометрия, рентгеноструктурный анализ);
- знание принципов реакционной способности органических соединений, включая интермедиаты (карбокатионы, карбанионы, радикалы, карбены)

Умения:

- умение применять методологию ретросинтетического анализа для планирования многостадийного направленного синтеза сложных органических молекул;
- умение предсказывать реакционную способность, регио-, хемо- и стереоселективность реакций на основе электронного и пространственного строения реагирующих молекул;
- умение интерпретировать данные современных спектральных и аналитических методов (ЯМР, масс-спектры и хроматограммы) для однозначного доказательства структуры синтезированных веществ;
- умение формулировать гипотезы и задачи научного эксперимента, выбирать адекватные методы их решения и критически оценивать полученные результаты;
- умение осуществлять поиск, анализ и систематизацию информации с использованием современных баз химических данных (Reaxys, SciFinder, Web of Science, Scopus и др.);
- умение корректно использовать современную номенклатуру IUPAC для сложных полициклических, гетероциклических и стереоизомерных соединений

Владение (навыки):

- владение продвинутыми экспериментальными методами синтеза, выделения и очистки органических веществ (включая тонкий органический синтез, работу в инертной атмосфере, современные виды хроматографии);
- владение навыками комплексного использования физико-химических методов для контроля за ходом реакции и анализа продуктов;
- владение культурой безопасной работы в химической лаборатории с токсичными, горючими и взрывоопасными веществами.

2. Содержание вступительных испытаний

РАЗДЕЛ 1. Теоретические основы органической химии и стереохимия

- **Природа химической связи.** Метод молекулярных орбиталей (МО) и метод валентных связей (ВС). Гибридизация, делокализация электронов, сопряжение.
- **Ароматичность.** Правило Хюккеля. Небензoidные ароматические системы (аннулены, ионы циклопропенилия, циклопентадиенила, тропилия). Антиароматичность и гомоароматичность.
- **Кислоты и основания в органической химии.** Теории Бренстеда-Лоури и Льюиса. Влияние структурных факторов, сольватации и стерических эффектов на кислотность и основность. Принцип жестких и мягких кислот и оснований (ЖМКО).
- **Сtereохимия.** Оптическая изомерия (энантиомерия, диастереомерия). Хиральность (центровая, аксиальная, планарная). Номенклатура R/S и E/Z.
- **Конформационный анализ.** Конформации ациклических молекул (этан, бутан) и циклических систем (циклогексан, декалины). Влияние конформации на реакционную способность.

РАЗДЕЛ 2. Механизмы органических реакций и интермедиаты

- **Понятие о кинетике и термодинамике реакций.** Постулат Хэммонда. Кинетический и термодинамический контроль. Кинетический изотопный эффект.
- **Реакционноспособные интермедиаты.** Строение, методы генерации и стабильность карбокатионов, карбанионов, свободных радикалов, карбенов и нитренов.
- **Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода (S_N1, S_N2, S_Ni).** Стереохимия, влияние природы субстрата, нуклеофила, уходящей группы и растворителя. Анхимерное содействие (участие соседних групп).
- **Реакции элиминирования (E1, E2, E1cB).** Правила Зайцева и Гофмана. Стереохимия элиминирования. Конкуренция замещения и элиминирования.
- **Электрофильное присоединение к кратным связям (A_dE).** Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация. Правило Марковникова и его современная трактовка.

- **Электрофильное ароматическое замещение (SEAr).** Механизм, π - и σ -комплексы. Влияние заместителей на ориентирование и реакционную способность.
- **Нуклеофильное ароматическое замещение (SNAr).** Механизмы присоединения-отщепления, отщепления-присоединения (ариновый механизм, бензин).
- **Перициклические реакции.** Электроциклические реакции, циклоприсоединение (реакция Дильса-Альдера), сигматропные перегруппировки (Кляйзена, Коупа). Правила Вудворда-Гоффмана (сохранение орбитальной симметрии).

РАЗДЕЛ 3. Классы органических соединений и их реакционная способность

- *(Кандидат должен демонстрировать знания на продвинутом уровне, включая именные реакции)*
- **Алканы, алкены, алкины, диены.** Радикальные реакции, методы окисления и восстановления.
- **Спирты, фенолы, простые эфиры, тиолы.** Защитные группы для спиртов и фенолов.
- **Карбонильные соединения (альдегиды и кетоны).** Нуклеофильное присоединение. Реакции с азотсодержащими нуклеофилами. Альдольно-кратоновая конденсация, реакции Канниццаро, Виттига, Дарзана, Манниха.
- **Карбоновые кислоты и их производные.** (Сложные эфиры, амиды, галогенангидриды, ангидриды, нитрилы). Механизмы ацилирования. Сложноэфирная конденсация Кляйзена.
- **Амины и другие азотсодержащие соединения.** Нитросоединения, диазосоединения, соли диазония. Синтез и реакции диазосоединений алифатического и ароматического ряда.
- **Бифункциональные соединения.** α,β -Непредельные карбонильные соединения (сопряженное присоединение, реакция Михаэля, аннелирование по Робинсону). Дикарбонильные соединения.
- РАЗДЕЛ 4. Химия гетероциклических соединений

– **Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом** (пиррол, фуран, тиофен) и их бензоаннелированные аналоги (индол). Реакционная способность в реакциях электрофильного замещения. Синтез индолов по Фишеру.

– **Шестичленные гетероциклы с одним гетероатомом** (пиридин, хинолин, изохинолин). Реакции электрофильного и нуклеофильного замещения (реакция Чичибабина). Синтез Скраупа.

– **Гетероциклы с несколькими гетероатомами.** Общие представления о строении и свойствах пиразола, имидазола, тиазола, пиримидина, пурина.

– **РАЗДЕЛ 5. Современные методы органического синтеза и ретросинтетический анализ**

– **Металлокомплексный катализ в органическом синтезе.** Реакции кросс-сочетания, катализируемые палладием (Сузуки, Хек, Соногошира, Стилле, Бухвальд-Хартвиг). Метатезис олефинов (катализаторы Граббса).

– **Металлорганические соединения** лития, магния (реактивы Гриньяра), цинка, меди (купраты). Их использование в направленном синтезе.

– **Окисление и восстановление.** Современные реагенты окисления (Dess-Martin, Swern, соединения Cr, Mn, Os, Ru). Комплексные гидриды металлов (LiAlH_4 , NaBH_4 и их производные), каталитическое гидрирование.

– **Основы ретросинтетического анализа.** Понятие синтона, синтетического эквивалента, трансформы. Обращение полярности (умполунг). Стратегия защиты и снятия защиты функциональных групп.

– **Асимметрический синтез.** Основные подходы: использование хирального пула, хиральных вспомогательных реагентов (auxiliaries), асимметрический катализ.

– **РАЗДЕЛ 6. Физико-химические методы установления структуры органических соединений**

– *(Поступающий должен уметь интерпретировать спектры для доказательства строения веществ)*

– **Спектроскопия ЯМР.** ЯМР ^1H и ^{13}C . Химический сдвиг, экранирование и дезэкранирование. Спин-спиновое взаимодействие (ССВ),

константы ССВ. Эквивалентность ядер. Понятие о двумерных методах ЯМР (COSY, HSQC/HMQC) и ядерном эффекте Оверхаузера (NOE).

– **Масс-спектрометрия.** Способы ионизации (электронный удар, электрораспыление - ESI, MALDI). Молекулярный ион, основные пути фрагментации органических молекул. Масс-спектрометрия высокого разрешения (HRMS).

– **Инфракрасная (ИК) и УФ-спектроскопия.** Характеристические частоты поглощения основных функциональных групп в ИК-спектрах. Электронные переходы, хромофоры и ауксохромы в УФ-спектроскопии.

– **Рентгеноструктурный анализ (РСА).** Общие представления о методе и его роли в современной органической химии.

3. Демонстрационный вариант вступительных испытаний

Вступительные испытания включают 4 задания:

- 2 теоретических вопроса по основным разделам органической химии - по 5 баллов каждое задание;
- 1 задание по планированию органического синтеза – 10 баллов;
- 1 задачу по установлению строения вещества на основании спектральных данных - 10 баллов.

1. Теоретический вопрос

Теоретические основы строения органических соединений.

Электронное строение органических молекул. Природа химической связи в органических соединениях. Сопряжение, ароматичность, взаимное влияние атомов в молекуле. Индуктивный и мезомерный эффекты. Их влияние на кислотно-основные свойства и реакционную способность органических соединений.

2. Теоретический вопрос

Механизмы реакций органических соединений.

Нуклеофильное замещение у насыщенного атома углерода (SN1, SN2). Основные закономерности протекания реакций, влияние строения субстрата, природы нуклеофила, уходящей группы, растворителя. Стереохимия реакций нуклеофильного замещения. Конкуренция реакций замещения и элиминирования.

3. Практическое задание

Предложить схему синтеза **p**-броманилина из бензола.

Необходимо:

- указать последовательность стадий;
- выбрать реагенты и условия проведения реакций;
- объяснить порядок введения заместителей с учетом их ориентирующего влияния;
- записать уравнения соответствующих реакций.

4. Практическое задание

Установить возможное строение органического соединения по приведенным данным.

Молекулярная формула: C₄H₈O₂

ИК-спектр, см⁻¹:

1715, 2960, 2870

¹H ЯМР, δ, м.д.: 1.25 (т, 3H) 4.10 (к, 2H) 2.05 (с, 3H)

Требуется:

- предложить структурную формулу соединения;
- отнести сигналы в спектре ¹H ЯМР;
- указать, к какому классу органических соединений относится вещество;
- обосновать вывод.

4. Требования к структуре и содержанию резюме

Резюме, самостоятельно составленное поступающим, должно быть предоставлено на русском языке, объем – не менее 1 и не более 5 машинописных страниц, шрифт Times New Roman прямого начертания, кегль (размер) шрифта 12, межстрочный интервал – полуторный.

Резюме должно содержать следующую информацию:

- 1) Личную информацию и контактные данные поступающего;
- 2) Фотографию поступающего;
- 3) Сведения об имеющемся у поступающего образовании;
- 4) Опыт работы поступающего;
- 5) Результаты общественной, научной и профессиональной деятельности поступающего (членство в объединениях, организация, опыт волонтерской деятельности, участие в НИР, грантах, значимых проектах);
- 6) Ключевые индивидуальные достижения поступающего;
- 7) Сведения о квалификации и имеющихся у поступающего практических навыках;
- 8) Сведения об уровне владения иностранными языками;

9) Список публикаций и объектов интеллектуальной собственности (при наличии);

10) Информация о выпускной квалификационной (научно-исследовательской) работе поступающего (тема, краткая аннотация, объемом не более 200 слов);

11) Информация о хобби и увлечениях поступающего.

Допускается приводить названия публикаций, грантов, проектов, сертификатов на языке, использованном в оригинале. Перевод в этом случае не обязателен.

При оценке резюме экзаменационная комиссия учитывает индивидуальные достижения, подтвержденные документами, приложенными к заявлению о приеме, в соответствии с пунктом 3.17 Правил.

Максимальная оценка за резюме 10 (десять) баллов, минимальная – 6 (шесть) баллов.

5. Требования к исследовательскому предложению

Исследовательское предложение должно быть составлено поступающим самостоятельно на русском языке, рекомендуемый объем – не менее 2 и не более 5 страниц, шрифт Times New Roman прямого начертания, кегль (размер) шрифта 12, междустрочный интервал – полуторный. Примерная форма исследовательского предложения:

Исследовательское предложение по теме научного исследования

(наименование темы)

Я, _____, хочу принять участие в конкурсе на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре АНОО ВО «Университет «Сириус» по научной _____ специальности: _____ (далее – программа аспирантуры).

Выбор обозначенной программы аспирантуры обусловлен *(указать причины, которые побудили принять решение о выборе именно этой научной специальности и темы научного исследования; почему выбран именно АНОО ВО «Университет «Сириус», что знаете о нем, о научном центре (коллективе), реализующем соответствующую программу аспирантуры, об их достижениях и направлениях исследований, о лабораторном комплексе АНОО ВО «Университет «Сириус», о федеральной территории «Сириус»);*

Необходимо:

- провести оценку актуальности выбранной научной специальности, состояния и перспективы проведения научного исследования по выбранной тематике в рамках обучения в Университете и для страны в целом;

- раскрыть предложения, которые планируется реализовать в рамках научного исследования и предполагаемые результаты, которых планирует достичь;

- указать каким образом поможет имеющийся научный и (или) практический опыт и планы на будущее, при условии успешного завершения аспирантуры.

_____/_____/_____
20____ г.

«____» _____

Максимальная оценка за исследовательское предложение – 10 (десять) баллов, минимальная – 7 (семь) баллов.

6. Литература для подготовки к вступительным испытаниям

а. Основная литература

1. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2021. 568 с.
2. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2023. 624 с.
3. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 3. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2023. 544 с.
4. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 4. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2022. 728 с.
5. Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер. Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
6. А. М. Ким, Органическая химия: учебное пособие. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2017. 844 с.
7. И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. Органическая химия. М.: Юрайт, 2023. 608 с.
8. И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. Практические работы и семинарские занятия по органической химии. М.: Юрайт, 2021. 352 с.

б. Дополнительная литература

1. П. Сайкс, Механизмы реакции в органической химии. 1991, М.: Химия, 447 с.
2. В.Г. Иванов, В.А. Горленко, О.Н. Гева. Органическая химия. 2006, 620 с.
3. Граник В. Г. Основы медицинской химии. М.: Вузовская книга, 2006.
4. N. Brown, R. Mannhold, H. Kubinyi, G. Folkers. Bioisosteres in Medicinal Chemistry, Methods and Principles in Medicinal Chemistry, V. 54, John Wiley and Sons, Hoboken, 2012
5. N. Brown. Scaffold Hopping in Medicinal Chemistry. Methods and Principles in Medicinal Chemistry, V. 58, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
6. К. Ингольд Теоретические основы органической химии. М.: Мир,

1973.

7. Дж Марч. Органическая химия, Т. 1-4. М.: Мир, 1987.
8. Ф. Кери, Р. Сандберг Углубленный курс органической химии. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1981.
9. Т.Л. Джилкрест Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 1996.
10. В.И. Минкин, Б.Я. Симкин, Р.М. Миняев. Теория строения молекул. Ростов-на Дону: Феникс, 1997.
11. Л. Титце, Т. Айхер. Препаративная органическая химия. Реакции и синтеза в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. М.: Мир, 2009. 566 с.
12. Э. Илиел, С. Вайлен, М. Дойл. Основы органической стереохимии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 704 с.\
13. Г. Беккер, В. Бергер и др. (в 2 т.) Органикум: Практикум по органической химии /. М.: Мир, 2008. 992 с.
14. Ю. А. Пентин, Л. В. Вилко. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2009. 688 с.
15. В. Смит. Основы современного органического синтеза: Учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 750 с.

с. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
2. Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>
3. Scopus: <http://www.scopus.com>
4. Reaxys: <http://reaxys.com>
5. SciFinder <https://scifinder.cas.org>
6. Espacenet <https://ru.espacenet.com>
7. РИНЦ <https://www.elibrary.ru>
8. Поисковая система EBSCO Discovery Service
<http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>
9. Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>

10. База данных по биомедицинской литературе (Medline, США) – Режим доступа: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

11. Поисковая библиографическая система ScienceDirect - Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/>

12. Система библиографического цитирования Scopus - Режим доступа: <http://www.scopus.com/>

9. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/>

10. Электронная библиотечная система ZNANIUM.COM - Режим доступа: <https://znanium.com/>

11. Электронно-библиотечная система издательства Юрайт - Режим доступа: <https://urait.ru/>