

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор
по научной работе


_____ А.В. Коржов

« ___ » _____ 2026 г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания в аспирантуру по специальной дисциплине

группа научных специальностей 1.4 – Химические науки

по научным специальностям

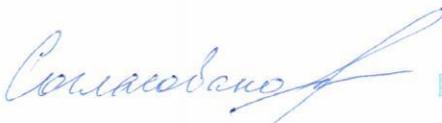
1.4.3. Органическая химия

1.4.4. Физическая химия

1.4.8. Химия элементоорганических соединений

Челябинск

2026


Зав. отделом
Аспирантуры
Шабурова Н.А.

ПРОГРАММА

Вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности

1.4.3. Органическая химия

1 ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Экзамен проводится в очном формате.

Форма проведения экзамена – письменно (ответы на вопросы выбранного претендентом билета).

Количество вопросов в билете определяется Программой вступительных испытаний по соответствующей научной специальности и равно 2.

Время для подготовки письменных ответов на вопросы – не менее 60 минут. Максимальное время для подготовки 180 минут (точное время указывается экзаменационной комиссией).

Перед началом экзамена вместе с билетом все претенденты получают карточки с указанием ID поступающего.

Ответы на вопросы абитуриенты оформляют на экзаменационных листах с указанием на них индивидуального кода (ID поступающего), без указания Фамилии Имени Отчества.

По истечении времени, обозначенного экзаменационной комиссией на подготовку ответов, претенденты сдают экзаменационные листы на проверку. Карточки ID хранятся у претендентов до объявления результатов экзамена. Члены комиссии озвучивают дату и время оглашения результатов.

При оглашении результатов проверки письменных ответов члены комиссии называют ID поступающего и его результат в баллах. Названный поступающий предъявляет карточку с соответствующим ID поступающего и называет свою Фамилию Имя Отчество для внесения информации в протокол экзамена.

В случае несогласия поступающего с выставленными баллами он вправе пройти собеседование с экзаменационной комиссией. Вопросы, выносимые на собеседование, должны быть в рамках программы вступительных испытаний. Количество вопросов на собеседовании – не более трех.

Вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена.

Баллы за ответы на дополнительные вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена и суммируются с баллами за письменные ответы на вопросы. При этом суммарный балл за общепрофессиональные компетенции (сумма баллов за ответы претендента на вопросы по билету и ответы на дополнительные вопросы) не должно превышать 100 баллов.

Добавление баллов за каждое индивидуальное достижение проводится только при предоставлении комиссии подтверждающих документов.

Сведения об индивидуальных достижениях и подтверждающие их документы должны быть предоставлены комиссии во время проведения вступительного испытания по специальной дисциплине. Сведения, предоставленные позднее оговоренного срока, не учитываются.

Баллы за индивидуальные достижения засчитываются при условии их соответствия научной специальности программы аспирантуры на которую поступает абитуриент.

Баллы за индивидуальные достижения заполняются комиссией в листе Индивидуальных достижений и вносятся в протокол экзамена.

Протоколы вступительных экзаменов, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в центральную приемную комиссию для ввода оценок в систему Универсис в день оглашения результатов экзамена.

После ввода баллов протоколы, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в отдел аспирантуры и хранятся в личном деле поступающего.

2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа вступительного испытания сформирована на основе ФГОС ВО магистратуры и/или специалитета по соответствующим направлениям/специальностям.

Содержание программы включает 6 разделов.

1 раздел. Теоретические основы органической химии. Изомерия. Типы реакций в органической химии, механизмы реакций. Реагирующие частицы. Перегруппировки. Органический синтез. Методы исследования органических соединений.

1 раздел. Углеводороды. Алканы, алкены, алкины. Способы получения, строение, химические свойства, механизмы реакций.

2 раздел. Кислородсодержащие соединения. Спирты. Простые эфиры. Оксираны. Альдегиды, кетоны. Карбоновые кислоты и их производные. Способы получения, строение, химические свойства, механизмы реакций.

3 раздел. Ароматические соединения. Реакции электрофильного и нуклеофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце.

4 раздел. Азотсодержащие соединения. Нитроалканы. Амины.

5 раздел. Гетероциклические соединения. Классификация. Реакционная способность. Превращения.

3 ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1

1. Электронные представления о природе связей. Типы связей в органической химии. Гибридизация атомов углерода и азота. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп.

2. Основные положения квантовой химии. Атомные и молекулярные орбитали. Приближение МО-ЛКАО. Метод МО Хюккеля и более строгие квантово-химические методы расчета. Понятие о полуэмпирических методах, основанных на приближении Хартри–Фока.

3. Понятие о резонансе (сопряжении) в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе МО Хюккеля. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность.
4. Понятие о конформации молекулы. Вращение вокруг связей: величины и симметрия потенциальных барьеров. Факторы, определяющие энергию конформеров. Влияние эффектов сопряжения на стабильность конформеров.
5. Номенклатура конформеров. Угловое напряжение и другие типы напряжения в циклических системах. Средние циклы и трансаннулярные взаимодействия. Инверсия циклов и азотсодержащих соединений.
6. Энантиомерия. Асимметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы; их проявление в химическом поведении молекул в хиральных и ахиральных средах и спектрах ЯМР. Номенклатура оптических антиподов. Неуглеродные атомы как центры хиральности.
7. Способы получения и разделения энантиомеров. Оптическая чистота и методы ее определения. Определение абсолютной и относительной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.
8. Теория переходного состояния. Гиперповерхность потенциальной энергии, координата и энергетический профиль реакции. Термодинамические параметры активации. Кинетические уравнения основных типов реакций. Методы экспериментального изучения кинетики и механизмов реакций. Постулат Хэммонда.
9. Принцип ЖМКО; его обоснование на основе теории возмущений МО.
10. Ассоциация ионов. Типы ионных пар и доказательства их существования. Влияние ассоциации ионов на их реакционную способность. Уравнение Акри.
11. Межфазный катализ. Краун-эфиры, криптанды, поданды, катализаторы межфазного переноса. Понятие о супрамолекулярной химии.
12. Карбениевые ионы (карбокатионы). Генерация карбокатионов в растворах и в газовой фазе. Влияние структурных и сольватационных факторов на стабильность карбокатионов. Строение карбокатионов. Понятие о неклассических ионах. Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные сдвиги в карбокатионах.
13. Карбанионы и СН-кислоты. Влияние структурных и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Амбидентные и полиидентные анионы.
14. Карбены. Электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе. Нитрены, их генерация, строение и свойства.
15. Свободные радикалы и ион-радикалы. Методы генерирования радикалов. Электронное строение и факторы стабилизации свободных радикалов. Типы стабильных свободных радикалов. Катион- и анионрадикалы. Методы генерирования и свойства. Основные реакции ион-радикалов. Комплексы с переносом заряда.

16. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы S_N1 и S_N2 , смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции.
17. Нуклеофильное замещение при кратной углерод–углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридного атома углерода. Моно- и бимолекулярные процессы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду. Катализ переходными металлами.
18. Нуклеофильное замещение в нитропроизводных бензола. Нуклеофильное замещение водорода. Комплексы Мейзенгеймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кине-замещение.
19. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения S_E1 , S_E2 . Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций. Замещение у олефинового атома углерода и в ароматическом кольце. Генерирование электрофильных реагентов. Правила ориентации и их молекулярно-орбитальная интерпретация. Электрофильное замещение других групп, кроме водорода. Кинетические изотопные эффекты.
20. Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования $E1$ и $E2$. Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при $E2$ -элиминировании. Термическое син-элиминирование.
21. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций. Присоединение к сопряженным системам. Катионная полимеризация олефинов.
22. Нуклеофильное присоединение по кратным связям C=C. Механизм процесса. Влияние структуры нуклеофила и субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакции. Реакция Михаэля. Анионная полимеризация олефинов.
23. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлоорганических соединений. Реакция Анри. Кислотный и основной катализ присоединения.
24. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получение ацеталей. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных. Нуклеофильное присоединение к альд- и кетиминам и карбоний-иммониевым ионам (реакция Манниха).
25. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Классификация перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировка Демьянова. Перегруппировка Вагнера–Мейервейна. Перегруппировки с миграцией к атому азота (Гофмана, Курциуса, Бекмана). Реакция Байера–Виллигера.
26. Согласованные реакции. Концепция сохранения орбитальной симметрии и правила Вудворда–Гофмана. Электроциклические реакции, сигматропные

перегруппировки. Перициклические реакции (2+2)- и (2+4)-циклоприсоединения. 1,3-диполярное циклоприсоединение.

27. Двойственная реакционная способность и таутомерия органических соединений. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило Корнблума. Кето-енольное равновесие.

28. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы. Металлотропия.

29. Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Линейные и конвергентные схемы синтеза. Синтоны и синтетические эквиваленты. Защита функциональных групп. Методы введения и удаления защитных групп.

30. Основные пути построения углеродного скелета.

31. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим.

33. Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, ЭПР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хромато-масс-спектрометрия.

34. Газожидкостная и жидкостная хроматография, ионообменная и гель-проникающая хроматография, электрофорез. Рентгеноструктурный анализ и электронография.

Раздел 2.

35. Реакции алканов: галогенирование, сульфохлорирование. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов. Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов в суперкислых средах (дейтериевый обмен и галогенирование).

36. Циклоалканы. Методы синтеза и строение циклопропанов, циклобутанов, циклопентанов и циклогексанов. Типы напряжения в циклоалканах и их подразделение на малые, средние и макроциклы. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов; аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность в ряду производных циклогексана на примере реакций замещения, отщепления и окисления.

37. Методы синтеза алкенов: элиминирование галогеноводородов из алкилгалогенидов, воды из спиртов. Синтез алкенов из четвертичных аммониевых солей (Гофман), N-окисей третичных аминов (Коуп). Стереоселективное восстановление алкинов. Региоселективный синтез алкенов из тозилгидразонов (Шапиро). Реакция Виттига как региоспецифический метод синтеза алкенов. Основания, используемые в реакции. Стабилизированные и нестабилизированные илиды. Стереохимия реакции. Хемоселективность реакции Виттига. Получение эфиров алкилфосфоновых кислот (Михаэль-Арбузов) и их использование в синтезе алкенов (вариант Виттига-Хорнера-Эммонса). Область применения реакции.

38. Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогеноводородов, воды. Процессы, сопутствующие A_dE -реакциям: сопряженное присоединение, гидридные и алкильные миграции.
39. Реакции алкенов: гидрокси- и алкоксимеркурирование. Регио- и стереоселективное присоединение гидридов бора. Региоспецифические гидроборирующие агенты. Окисление алкенов до оксиранов (Прилежаев).
40. Радикальные реакции алкенов: присоединение бромистого водорода по Харацу, сероводорода и тиолов. Аллильное галогенирование по Циглеру. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Карбеноиды, их взаимодействие с алкенами.
41. Методы синтеза алкинов: отщепление галогеноводородов из дигалогенидов, реакция 1,2-дигидразонов с оксидом ртути (II) и тетраацетатом свинца. Усложнение углеродного скелета алкинов: реакции ацетиленидов натрия и меди, магнийорганических производных алкинов. Конденсация алкинов-1 с кетонами и альдегидами (Фаворский, Реппе).
42. Реакции алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (Кучеров). Ацетилен-алленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди.
43. Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрирование алканов, синтез Фаворского–Реппе, кросс-сочетание на металлокомплексных катализаторах.
44. Реакции 1,3-диенов: галогенирование и гидрогалогенирование, 1,2- и 1,4-присоединение.
45. Реакция Дильса–Альдера с алкенами и алкинами, ее типы: карбо-реакция, гетерореакция. Диены и диенофилы. Стереохимия реакции. Региоселективность [4+2]циклоприсоединения в случае несимметричных диенов и диенофилов. Ретро-реакция Дильса–Альдера.

Раздел 3.

46. Методы синтеза одноатомных спиртов: из алкенов, карбонильных соединений, сложных эфиров и карбоновых кислот.
47. Реакции одноатомных спиртов: замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора и хлористого тионила). Реагенты регио- и стереоселективного замещения (комплексы трифенилфосфина с галогенами и четыреххлористым углеродом). Дегидратация спиртов. Окисление первичных и вторичных спиртов. Реагенты окисления на основе соединений хрома (VI), диоксида марганца и диметилсульфоксида (методы Моффета и Сверна).
48. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Окислительное расщепление 1,2-диолов (иодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.
49. Методы синтеза простых эфиров: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование спиртов. Реакции простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами.

50. Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов.
51. Методы получения альдегидов и кетонов: из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование), на основе металлоорганических соединений. Ацилирование и формилирование аренов.
52. Реакции альдегидов и кетонов: присоединение воды, спиртов, тиолов. 1,3-Дитианы и их использование в органическом синтезе. Обращение полярности С=О-группы. Получение бисульфитных производных и циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с илами фосфора (Виттиг).
53. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Перегруппировка Бекмана. Взаимодействие альдегидов и кетонов с металлоорганическими соединениями.
54. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кратоновая конденсация альдегидов и кетонов как метод усложнения углеродного скелета. Направленная альдольная конденсация разноименных альдегидов с использованием литиевых и кремниевых эфиров енолов. Конденсация альдегидов и кетонов с малоновым эфиром и другими соединениями с активной метиленовой группой (Кневенагель).
55. Аминометиление альдегидов и кетонов (Манних). Бензоиновая конденсация. Конденсация с нитроалканами (Анри). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления. Дезоксигенирование альдегидов и кетонов: реакции Клемменсена и Кижнера–Вольфа. Окисление альдегидов, реагенты окисления. Окисление кетонов надкислотами по Байеру–Виллигеру.
56. Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения: конденсации, окисление аллиловых спиртов. Реакция 1,2- и 1,4-присоединения литийорганических соединений, триалкилборанов, диалкил- и диарилкупратов, цианистого водорода, галогеноводородов.
57. Методы синтеза кислот: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот, синтез на основе металлоорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира.
58. Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю–Фольгардту–Зелинскому, пиролизная кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хунсдиккеру.
59. Методы получения производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.
60. Реакции производных карбоновых кислот: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, металлоорганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Восстановление сложных эфиров до спиртов и альдегидов, нитрилов – до аминов и альдегидов комплексными гидридами металлов.

61. Малоновая кислота: синтезы с малоновым эфиром, реакция Михаэля, конденсации с альдегидами (Кневенагель). Сложноэфирная и ацилоиновая конденсации. Особенности эфиров двухосновных кислот (образование карбоциклов) в этих реакциях. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

62. Методы синтеза непредельных карбоновых кислот: дегидратация гидроксикислот, реакции Кневенагеля, Виттига, Перкина (синтез коричных кислот). Реакции присоединения по двойной связи.

Раздел 4.

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

64. Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных. Нитрование бифенила, нафталина, ароматических аминов и фенола.

65. Получение полинитросоединений. Ипсо-атака и ипсо-замещение в реакциях нитрования. Восстановление нитро-группы в различных условиях.

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

67. Сульфирование. Сульфирующие агенты. Кинетический и термодинамический контроль реакции (сульфирование фенола и нафталина). Превращение сульфогруппы.

68. Алкилирование аренов по Фриделю–Крафтсу. Алкилирующие агенты. Механизм реакции. Полиалкилирование. Побочные процессы: изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Синтез диарил- и триарилметанов.

69. Ацилирование аренов. Ацилирующие агенты. Механизм реакции. Региоселективность ацилирования. Особенности ацилирования фенолов, перегруппировка Фриса. Формилирование по Гаттерману–Коху, Гаттерману и Вильсмейеру. Область применения этих реакций.

Раздел 5.

70. Нитроалканы. Синтез из алкилгалогенидов. Кислотность и таутомерия нитроалканов. Конденсация с карбонильными соединениями (Анри). Восстановление в амины. Превращение вторичных нитроалканов в кетоны.

71. Методы получения аминов: алкилирование аммиака и аминов по Гофману, фталимида калия (Габриэль), восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса. Синтез аминов с третичным алкильным радикалом (Риттер).

72. Реакции аминов. Алкилирование и ацилирование. Термическое разложение гидроксидов тетраалкиламмония по Гофману. Окисление третичных аминов до Ноксидов, их термолиз (Коуп). Получение нитронов из N,N-диалкилгидроксиаминов. Реакции [3+2]-циклоприсоединения нитронов (образование пятичленных азотистых гетероциклов).

Раздел 6.

73. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (Пааль—Кнорр). Синтез пирролов по Кнорру и по Ганчу. Синтез 3,4-дизамещенных тиофенов по Хинсбергу.

74. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Индол. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола: нитрование, формилирование, галогенирование.

75. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Синтез частично гидрированных производных пиридина путем [4+2]-циклоприсоединения (гетеро-реакция Дильса—Альдера). Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру—Миллеру.

76. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-окиси пиридина и хинолина и их использование в реакции нитрования.

77. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине в реакциях с амидом натрия (Чичибабин) и фениллитием. 2- и 4-метилпиридины и хинолины как метиленовые компоненты в конденсациях с альдегидами.

4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРЕТЕНДЕНТОВ И ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ УСТНОГО СОБЕСЕДОВАНИЯ

4.1 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ

Балл	Критерий
От 86 до 100 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Демонстрируются глубокие знания дисциплин специальности. Делаются обоснованные выводы. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее. Сформированы навыки исследовательской деятельности
От 71 до 85 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются систематизировано и последовательно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Материал излагается уверенно, в основном правильно даны все определения и понятия. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов. Продемонстрированы навыки исследовательской деятельности.
От 50 до 70	Допускаются нарушения в последовательности

баллов	изложения при ответе. Демонстрируются поверхностные знания дисциплин специальности. Имеются затруднения с выводами. Определения и понятия даны нечётко. Навыки исследовательской деятельности представлены слабо.
49 баллов и менее	Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях. Отсутствуют навыки исследовательской деятельности.

4.2 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТНЫХ ОТВЕТОВ

Общий балл за ответы на вопросы собеседования не должен превышать 15 баллов.

Сумма баллов за ответы по билету и устные ответы на собеседовании не должно превышать 100.

5 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ингольд К. Теоретические основы органической химии. М.: Мир, 1973. – 1056 с.
2. Марч Дж. Органическая химия, Т. 1-4. М.: Мир, 1987.
3. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. Ч. 1-4. М.: Изд-во МГУ, 1999.
4. Кери Ф., Сандберг Р. Углубленный курс органической химии. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1981.
5. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. Вводный курс. М.: Химия, 2000.
6. Джилкрист Т.Л. Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 1996.
7. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997.
8. Потапов В.М. Стереохимия. М.: Химия, 1988.
9. Титце Л., Айхер Т. Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. М.: Мир, 1999.
10. Органикум: Практикум по органической химии / Г. Беккер, В. Бергер и др. Т. 1, 2. М.: Мир, 1992.

6 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Несмеянов А.Н., Несмеянов Н.А. Начала органической химии. Кн. 1,2. М.: Химия, 1974.
2. Шабаров Ю.С. Органическая химия. Т. 1,2. М.: Химия, 1994.
3. Робертс Дж., Касерио М. Основы органической химии. Т. 1,2. М.: Мир, 1978.
4. Неницеску, К.Д. Органическая химия. Т. 1,2. М.: И.-Л., 1963.
5. Терней А. Современная органическая химия. Т. 1,2. М.: Мир, 1981.
6. Моррисон Р. Бойд Р. Органическая химия. М.: Мир, 1974.

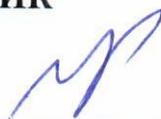
7. Беккер, Г. Введение в электронную теорию органических реакций. М.: Мир, 1977.

7 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Российская Государственная библиотека URL: <http://www.rsl.ru/>
2. Российская национальная библиотека URL: <http://www.nlr.ru/>
4. Органическая химия [Электронный ресурс] : в 4 ч. Ч. 4 / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 547 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541050#none>
5. Смит, В.А. Основы современного органического синтеза [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 753 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541053#none>
6. Титце, Л. Domino-реакции в органическом синтезе. [Электронный ресурс] /Л. Титце, Г. Браше, К. Герике. – Электрон. дан. – М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. – 674с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66355>
7. Слизов, Ю.Г. Реакции окисления в органическом синтезе. Учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] / Ю.Г. Слизов, Т.Т. Куряева, В.В. Хасанов. – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2013. – 40с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/44998>
8. Реакции диазотирования и азосочетания в органическом синтезе: Учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2016. – 24с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/74562>
9. Юровская, М.А. Химия ароматических гетероциклических соединений. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. – 211с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66368>
10. Применение ИК и ПМР спектроскопии при изучении строения органических молекул. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2016. – 60с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/80246>
11. Биометаллоорганическая химия [Электронный ресурс] / Ж. Жауэн М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 505 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541203>

РАЗРАБОТЧИК

Заведующий кафедрой теоретической и
прикладной химии



/О.К. Шарутина /

ПРОГРАММА

Вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности

1.4.4. Физическая химия

1 ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Экзамен проводится в очном формате.

Форма проведения экзамена – письменно (ответы на вопросы выбранного претендентом билета).

Количество вопросов в билете определяется Программой вступительных испытаний по соответствующей научной специальности и равно 2.

Время для подготовки письменных ответов на вопросы – не менее 60 минут. Максимальное время для подготовки 180 минут (точное время указывается экзаменационной комиссией).

Перед началом экзамена вместе с билетом все претенденты получают карточки с указанием ID поступающего.

Ответы на вопросы абитуриенты оформляют на экзаменационных листах с указанием на них индивидуального кода (ID поступающего), без указания Фамилии Имени Отчества.

По истечении времени, обозначенного экзаменационной комиссией на подготовку ответов, претенденты сдают экзаменационные листы на проверку. Карточки ID хранятся у претендентов до объявления результатов экзамена. Члены комиссии озвучивают дату и время оглашения результатов.

При оглашении результатов проверки письменных ответов члены комиссии называют ID поступающего и его результат в баллах. Названный поступающий предъявляет карточку с соответствующим ID поступающего и называет свою Фамилию Имя Отчество для внесения информации в протокол экзамена.

В случае несогласия поступающего с выставленными баллами он вправе пройти собеседование с экзаменационной комиссией. Вопросы, выносимые на собеседование, должны быть в рамках программы вступительных испытаний. Количество вопросов на собеседовании – не более трех.

Вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена.

Баллы за ответы на дополнительные вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена и суммируются с баллами за письменные ответы на вопросы. При этом суммарный балл за общепрофессиональные компетенции (сумма баллов за ответы претендента на вопросы по билету и ответы на дополнительные вопросы) не должно превышать 100 баллов.

Добавление баллов за каждое индивидуальное достижение проводится только при предоставлении комиссии подтверждающих документов.

Сведения об индивидуальных достижениях и подтверждающие их документы должны быть предоставлены комиссии во время проведения вступительного испытания по специальной дисциплине. Сведения, предоставленные позднее оговоренного срока, не учитываются.

Баллы за индивидуальные достижения засчитываются при условии их соответствия научной специальности программы аспирантуры на которую поступает абитуриент.

Баллы за индивидуальные достижения заполняются комиссией в листе Индивидуальных достижений и вносятся в протокол экзамена.

Протоколы вступительных экзаменов, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в центральную приемную комиссию для ввода оценок в систему Универсис в день оглашения результатов экзамена.

После ввода баллов протоколы, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в отдел аспирантуры и хранятся в личном деле поступающего.

2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Основные положения классической теории химического строения. Структурная формула и граф молекулы. Изомерия. Конформации молекул. Связь строения и свойств молекул.
2. Потенциальные кривые и поверхности потенциальной энергии. Их общая структура и различные типы. Равновесные конфигурации молекул. Структурная изомерия. Оптические изомеры.
3. Колебания молекул. Нормальные колебания, амплитуды и частоты колебаний, частоты основных колебательных переходов.
4. Электронное строение атомов и молекул. Атомные и молекулярные орбитали. Электронные конфигурации и термы атомов. Электронная плотность. Гибридизация.
5. Представления о зарядах на атомах и порядках связей. Различные методы выделения атомов в молекулах.
6. Дипольный момент и поляризуемость молекул. Магнитный момент и магнитная восприимчивость. Эффекты Штарка и Зеемана. Магнитно-резонансные методы исследования строения молекул. Химический сдвиг.
7. Основные составляющие межмолекулярных взаимодействий. Молекулярные комплексы. Ван-дер-ваальсовы молекулы. Кластеры атомов и молекул. Водородная связь. Супермолекулы и супрамолекулярная химия.
8. Строение молекул простых и координационных неорганических соединений. Полиядерные комплексные соединения. Строение основных типов органических и элементоорганических соединений. Соединения включения. Полимеры и биополимеры.
9. Кристаллическая решетка и кристаллическая структура. Типы дефектов в реальных кристаллах. Кристаллы с неполной упорядоченностью. Доменные структуры.
10. Кристаллографические точечные группы симметрии, типы решеток, сингонии. Понятие о пространственных группах кристаллов. Индексы кристаллографических граней.

11. Атомные, ионные, молекулярные и другие типы кристаллов. Цепочечные, каркасные и слоистые структуры.
12. Аморфные вещества. Особенности строения полимерных фаз.
13. Металлы и полупроводники. Зонная структура энергетического спектра кристаллов.. Различные типы проводимости. Ширина запрещённой зоны.
14. Ассоциаты и кластеры в жидкостях. Структура воды и водных растворов.
15. Мицеллообразование и строение мицелл. Мезофазы. Пластические кристаллы. Жидкие кристаллы (нематики, смектики, холестерики и др.).
16. Особенности строения поверхности кристаллов и жидкостей, структура границы раздела конденсированных фаз. Молекулы и кластеры на поверхности. Структура адсорбционных слоев.
17. Изолированные и открытые системы, равновесные и неравновесные системы, термодинамические переменные, температура, интенсивные и экстенсивные переменные. Уравнения состояния.
18. Первый закон термодинамики. Теплота, работа, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Закон Гесса. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгофа.
19. Второй закон термодинамики. Энтропия и ее изменения в обратимых и необратимых процессах. Теорема Карно Клаузиуса. Различные шкалы температур.
20. Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гиббса, энергия Гельмгольца. Уравнения Максвелла. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов.
21. Уравнение Гиббса Гельмгольца. Работа и теплота химического процесса. Химические потенциалы.
22. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Изотерма Вант-Гоффа. Уравнения изобары и изохоры химической реакции.
23. Поступательная, вращательная, электронная и колебательная суммы по состояниям. Статистический расчет энтропии. Постулат Планка и абсолютная энтропия.
24. Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации. Потоки и силы. Скорость производства энтропии.
25. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина.
26. Различные типы растворов. Способы выражения состава растворов. Идеальные растворы, общее условие идеальности растворов. Давление насыщенного пара жидких растворов, закон Рауля.
27. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение.
28. Изменение температуры замерзания растворов, криоскопия.

29. Осмотические явления. Обратный осмос. Мембранные процессы.
30. Гетерогенные системы. Понятия компонента, фазы, степени свободы. Правило фаз Гиббса.
31. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы, фосфора и углерода. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона Клаузиуса.
32. Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Равновесие жидкость пар в двухкомпонентных системах. Законы Гиббса Коновалова. Азеотропные смеси.
33. Фазовые переходы второго рода.
34. Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия.
35. Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Лэнгмюра. Адсорбция из растворов. Уравнение БЭТ для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента.
36. Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость пар в зависимости от температуры. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества.
37. Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии.
38. Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса Оствальда Фрейндлиха).
39. Растворы электролитов. Ион-дипольное взаимодействие как основной процесс, определяющий устойчивость растворов электролитов. Коэффициенты активности в растворах электролитов. Средняя активность и средний коэффициент активности, их связь с активностью отдельных ионов. Основные положения теории Дебая Хюккеля. Потенциал ионной атмосферы.
40. Условия электрохимического равновесия на границе раздела фаз и в электрохимической цепи. Термодинамика гальванического элемента. Электродвижущая сила, ее выражение через энергию Гиббса реакции в элементе. Понятие электродного потенциала.
41. Электропроводность растворов электролитов; удельная и эквивалентная электропроводность. Электрофоретический и релаксационные эффекты.
42. Основные понятия химической кинетики. Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции переменного порядка.

43. Феноменологическая кинетика сложных химических реакций. Принцип независимости элементарных стадий. Кинетические уравнения для обратимых, параллельных и последовательных реакций.
44. Цепные реакции. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях.
45. Реакции в потоке. Реакции идеального вытеснения и идеального смешения. Колебательные реакции.
46. Макрокинетика. Роль диффузии в кинетике гетерогенных реакций. Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Различные режимы протекания реакций (кинетическая и внешняя кинетическая области, области внешней и внутренней диффузии).
47. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и способы ее определения.
48. Элементарные акты химических реакций и физический смысл энергии активации. Термический и нетермические пути активации молекул. Обмен энергией (поступательной, вращательной и колебательной) при столкновениях молекул. Время релаксации в молекулярных системах.
49. Теория активных столкновений. Сечение химических реакций. Формула Траутца Льюиса. Расчет предэкспоненциального множителя по молекулярным постоянным. Стерический фактор.
50. Теория переходного состояния (активированного комплекса). Поверхность потенциальной энергии. Путь и координата реакции. Статистический расчет константы скорости. Энергия и энтропия активации. Использование молекулярных постоянных при расчете константы скорости.
51. Различные типы химических реакций. Мономолекулярные реакции в газах, схема Линдемана Христиансена. Бимолекулярные и тримолекулярные реакции, зависимость предэкспоненциального множителя от температуры.
52. Реакции в растворах, влияние растворителя и заряда реагирующих частиц.
53. Фотохимические и радиационно-химические реакции. Элементарные фотохимические процессы. Эксимеры и эксиплексы. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон Эйнштейна Штарка.
54. Электрохимические реакции. Двойной электрический слой. Модельные представления о структуре двойного электрического слоя. Теория Гуи Чапмена Грэма.
55. Химические источники тока, их виды. Электрохимическая коррозия. Методы защиты от коррозии.
56. Классификация каталитических реакций и катализаторов. Теория промежуточных соединений в катализе, принцип энергетического соответствия.
57. Гомогенный катализ. Кислотно-основной катализ. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Специфический и общий основной катализ. Нуклеофильный и электрофильный катализ.

58. Катализ металлокомплексными соединениями. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы.
59. Ферментативный катализ. Адсорбционные и каталитические центры ферментов. Активность и субстратная селективность ферментов. Коферменты. Механизмы ферментативного катализа.
60. Гетерогенный катализ. Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Селективность катализаторов.
61. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Неоднородность поверхности катализаторов, нанесенные катализаторы. Энергия активации гетерогенных каталитических реакций.
62. Современные представления о функционировании гетерогенных катализаторов.
63. Основные промышленные каталитические процессы.

3 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРЕТЕНДЕНТОВ И ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ УСТНОГО СОБЕСЕДОВАНИЯ

3.1 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ

Балл	Критерий
От 86 до 100 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Демонстрируются глубокие знания дисциплин специальности. Делаются обоснованные выводы. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее. Сформированы навыки исследовательской деятельности
От 71 до 85 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются систематизировано и последовательно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Материал излагается уверенно, в основном правильно даны все определения и понятия. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов. Продемонстрированы навыки исследовательской деятельности.
От 50 до 70 баллов	Допускаются нарушения в последовательности изложения при ответе. Демонстрируются поверхностные знания дисциплин специальности. Имеются затруднения с выводами. Определения и понятия даны нечётко. Навыки исследовательской деятельности представлены слабо.

49 баллов и менее	Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях. Отсутствуют навыки исследовательской деятельности.
-------------------	--

3.2 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТНЫХ ОТВЕТОВ

Общий балл за ответы на вопросы собеседования не должен превышать 15 баллов.

Сумма баллов за ответы по билету и устные ответы на собеседовании не должно превышать 100 баллов.

4 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вилков Л. В., Пентин Ю. А. Физические методы исследования в химии. М.: Изд-во МГУ. Ч. 1: 1987. Ч. 2: 1989.
2. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Теория строения молекул. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997.
3. Степанов Н. Ф. Квантовая механика и квантовая химия. М.: Мир, Изд-во МГУ, 2001.
4. Фларри Р. Квантовая химия. М.: Мир, 1985.
5. Полторак О. М. Термодинамика в физической химии. М.: Высш. шк., 1991.
6. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир, 2002.
7. Смирнова Н. А. Методы статистической термодинамики в физической химии. М.: Высш. шк., 1982.
8. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высш. шк., 1983.
9. Денисов Е. Т., Саркисов О. М., Лихтенштейн Г. И. Химическая кинетика. М.: Химия, 2000.
10. Эмануэль Н. М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики. М.: Высш. шк., 1984.

5 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бейдер Р. Атомы в молекулах. М.: Мир, 2001.
2. Цирельсон В. Г., Зоркий П. М. Распределение электронной плотности в кристаллах органических соединений // Итоги науки и техники. Кристаллохимия. М.: ВИНТИ, 1986.
3. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Квантовая химия органических соединений. 4. Механизмы реакций. М.: Химия, 1986.
5. Агеев Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах. М.: Изд-во МГУ, 1999.
6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979.
7. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия, 2001.
8. Даниэльс Ф., Олберти Р. Физическая химия. М.: Мир, 1978.

9. Дуров В. А., Агеев Е. П. Термодинамическая теория растворов неэлектролитов. М.: Изд-во МГУ, 1987.
10. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов М.: Мир, 1967.
11. Эткинс Н. Физическая химия. Т. 1, 2. М.: Мир, 1980.
12. Панченков Г. М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985.

6 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Российская Государственная библиотека: <http://www.rsl.ru/>
2. Российская национальная библиотека: <http://www.nlr.ru/>
3. Болвако А.К., Дудчик Г.П. - Применение электронных таблиц при изучении физической химии // Труды БГТУ. №8. Учебно-методическая работа - 2014г. №8(172) <https://e.lanbook.com/reader/journalArticle/198491/#1>
4. Формальная кинетика: Учебно-методическое пособие по курсу «Физическая химия» для студентов химического факультета ТГУ, обучающихся по направлению подготовки 04.03.01 – Химия и специальности 04.05.01 – Фундаментальная и прикладная химия: <https://e.lanbook.com/book/112896>
5. Кумыков, Р.М. Физическая и коллоидная химия : учебное пособие / Р.М. Кумыков, А.Б. Иттиев. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-8114-3519-7. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: – : <https://e.lanbook.com/book/116357>
6. Свиридов, В.В. Физическая химия : учебное пособие / В.В. Свиридов, А.В. Свиридов. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 600 с. // Электронно-библиотечная система «Лань»: <https://e.lanbook.com>
7. Бокштейн, Б.С. Физическая химия: термодинамика и кинетика : учебное пособие / Б.С. Бокштейн, М.И. Менделев, Ю.В. Похвиснев. — Москва : МИСИС, 2012. — 258 с. // Электронно-библиотечная система «Лань»: <https://e.lanbook.com>
8. Типовые расчеты по физической и коллоидной химии : учебное пособие / А.Н. Васюкова, О.П. Задачаина, Н.В. Насонова, Л.И. Перепёлкина. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 144 с.: <https://e.lanbook.com/book/45679>
9. Морачевский, А.Г. Физическая химия. Поверхностные явления и дисперсные системы : учебное пособие / А.Г. Морачевский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 160 с.: <https://e.lanbook.com/book/64335>
10. Максимов, А.И. Введение в нелинейную физическую химию : учебное пособие / А.И. Максимов. — Иваново : ИГХТУ, 2010. — 174 с.: <https://e.lanbook.com/book/4513>

РАЗРАБОТЧИК

Зав. кафедрой экологии и химической технологии
д.х.н., проф.



В.В. Авдин

ПРОГРАММА

Вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности

1.4.8. Химия элементоорганических соединений

1 ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Экзамен проводится в очном формате.

Форма проведения экзамена – письменно (ответы на вопросы выбранного претендентом билета).

Количество вопросов в билете определяется Программой вступительных испытаний по соответствующей научной специальности и равно 2.

Время для подготовки письменных ответов на вопросы – не менее 60 минут. Максимальное время для подготовки 180 минут (точное время указывается экзаменационной комиссией).

Перед началом экзамена вместе с билетом все претенденты получают карточки с указанием ID поступающего.

Ответы на вопросы абитуриенты оформляют на экзаменационных листах с указанием на них индивидуального кода (ID поступающего), без указания Фамилии Имени Отчества.

По истечении времени, обозначенного экзаменационной комиссией на подготовку ответов, претенденты сдают экзаменационные листы на проверку. Карточки ID хранятся у претендентов до объявления результатов экзамена. Члены комиссии озвучивают дату и время оглашения результатов.

При оглашении результатов проверки письменных ответов члены комиссии называют ID поступающего и его результат в баллах. Названный поступающий предъявляет карточку с соответствующим ID поступающего и называет свою Фамилию Имя Отчество для внесения информации в протокол экзамена.

В случае несогласия поступающего с выставленными баллами он вправе пройти собеседование с экзаменационной комиссией. Вопросы, выносимые на собеседование, должны быть в рамках программы вступительных испытаний. Количество вопросов на собеседовании – не более трех.

Вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена.

Баллы за ответы на дополнительные вопросы собеседования отражаются в протоколе экзамена и суммируются с баллами за письменные ответы на вопросы. При этом суммарный балл за общепрофессиональные компетенции (сумма баллов за ответы претендента на вопросы по билету и ответы на дополнительные вопросы) не должно превышать 100 баллов.

Добавление баллов за каждое индивидуальное достижение проводится только при предоставлении комиссии подтверждающих документов.

Сведения об индивидуальных достижениях и подтверждающие их документы должны быть предоставлены комиссии во время проведения вступительного испытания по специальной дисциплине. Сведения, предоставленные позднее оговоренного срока, не учитываются.

Баллы за индивидуальные достижения засчитываются при условии их соответствия научной специальности программы аспирантуры на которую поступает абитуриент.

Баллы за индивидуальные достижения заполняются комиссией в листе Индивидуальных достижений и вносятся в протокол экзамена.

Протоколы вступительных экзаменов, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в центральную приемную комиссию для ввода оценок в систему Универис в день оглашения результатов экзамена.

После ввода баллов протоколы, экзаменационные листы и листы учета индивидуальных достижений передаются в отдел аспирантуры и хранятся в личном деле поступающего.

2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа вступительного испытания сформирована на основе ФГОС ВО магистратуры и/или специалитета по соответствующим направлениям/специальностям.

Содержание программы включает 5 разделов.

1 раздел. Введение в химию элементоорганических соединений: определение элементоорганического соединения, краткая характеристика природы связи элемент – углерод, классификация и номенклатура элементоорганических соединений, историческая справка, этапы развития и становления химии элементоорганических соединений, применение в различных областях деятельности, развитие химии элементоорганических соединений в России, вклад российских ученых в химию элементоорганических соединений.

2 раздел. Органические соединения непереходных элементов: природа связи элемент – углерод, энергия, полярность и реакционная способность связи элемент-углерод в органических соединениях непереходных элементов, термодинамические и кинетические факторы устойчивости соединений, общие методы синтеза, органические соединения 1 (щелочные металлы), 2 (щелочноземельные металлы), 12 (цинк, кадмий, ртуть), 13 (подгруппа бора), 14 (подгруппа углерода), 15 (подгруппа азота) групп.

Для успешного освоения раздела необходимо изучить теоретический материал, касающийся методов синтеза, строения и свойств органических соединений элементов той или иной группы. Следует обратить внимание на общую характеристику органических соединений элементов группы (сходства и различия, чем они обусловлены), природу связи металл–углерод, устойчивость соединений к действию кислорода и воды, методы синтеза, особенности строения, химические свойства, применение в органическом и элементоорганическом синтезе, другие области применения.

При изучении теоретического материала по химии элементов 12 группы, которые традиционно рассматриваются в разделе вместе с соединениями непереходных элементов из-за близости свойств, обусловленных строением *d*-

подуровня, важными являются следующие вопросы: сравнительная характеристика органических соединений цинка, ртути и кадмия; сходство и различие цинкорганических соединений с магнийорганическими соединениями; историческая роль цинкорганических соединений и применение в органическом синтезе (именные реакции); особенности химии ртутьорганических соединений (реакции меркурирования); применение кадмийорганических соединений. Особое внимание при изучении свойств соединений 12 группы необходимо обратить на их токсичность и правила безопасной работы с ними.

Как правило, содержание заданий связано с написанием уравнений (или схем) химических реакций, отражающих методы синтеза или химические свойства соединений. Для составления уравнений (схем) необходимо четко представлять роль каждого реагента, принимающего участие в химическом превращении, тип реагирующих частиц, тип химической реакции. Необходимо знать условия, в которых химическое превращение осуществляется, возможность протекания побочных реакций, требования техники безопасности.

3 раздел. Органические соединения переходных металлов: природа связи металл – углерод, термодинамические и кинетические факторы устойчивости, правило 18 электронов, органические соединения металлов 11 группы (медь, серебро, золото), карбонилы металлов, комплексы с σ -связью металл – углерод, комплексы металлов с алкенами и алкинами, комплексы металлов с η^4 -, η^5 -, η^6 -лигандами.

Раздел посвящен органическим соединениям переходных металлов, которые изучаются не по группам Периодической системы, а согласно природе лигандов при атоме металла – от простых к более сложным.

Химия органических соединений переходных металлов сложна, что, в частности, обусловлено их разнообразием. Причины заключаются в расширении возможностей для образования связей переходный металл–углерод (наличие частично заполненных валентных ns , np , $(n-1)d$ -орбиталей), в способности переходных металлов образовывать кратные связи металл–металл, в легкости изменения координационного числа металла и его координационной сферы.

Начинается раздел изучением органических соединений Cu, Ag, Au (11 группа), которые немногочисленны, и по своим свойствам занимают промежуточное положение между соединениями непереходных элементов и переходных металлов. Важно знать факторы, повышающие устойчивость этих соединений, особенности их строения, обусловленные способностью к ассоциации, применение в органическом синтезе.

Основой для описания пространственного и электронного строения органических соединений переходных металлов являются правило 18-ти электронов (18 ВЭ) и концепция σ -донорной/ π -акцепторной связи.

Правило (18 ВЭ) основано на **формальном** представлении о локализованных валентных связях металл–лиганд. Оно утверждает, что термодинамически стабильные комплексы образуются в том случае, если

сумма валентных электронов атома металла и электронов, предоставляемых лигандами, равна 18, поскольку таким образом металл дополняет свою электронную конфигурацию до закрытой оболочки инертного газа. При использовании правила необходимо учитывать следующие условия: 1) формальное разделение электронов внутри молекулы необходимо провести таким образом, чтобы суммарный заряд комплекса остался неизменным; 2) связь М–М добавляет один электрон в оболочку каждого атома металла (помните, что это условие *формальное*, «лишних» электронов в системе не появляется, на основании подсчета электронов не следует также делать вывод о наличии реальной связи металл–металл); 3) электронная пара мостикового лиганда предоставляет один электрон каждому связанному атому металла. Правило (18 ВЭ) позволяет предсказать стабильность, состав и строение комплексов переходного металла с определенным набором лигандов. Однако оно не подходит для органических соединений лантаноидов и актиноидов (*f*-элементов).

Для органических комплексов некоторых элементов (например, для металлов с конфигурациями d^8 и d^{10}) наблюдается отклонение от правила 18 ВЭ и устойчивыми являются конфигурации с 16 и даже 14 электронами, что можно объяснить увеличением разности энергии между $(n-1)d$ -, ns , np -орбиталями с увеличением атомного номера в конце переходного ряда. Возрастание атомного номера (заряда ядра) сопровождается стабилизацией (снижением энергии) орбиталей. Для $(n-1)d$ -орбиталей это снижение более заметно, поскольку d -электроны слабее отталкиваются друг от друга и меньше экранируют заряд. Другими словами, более диффузная природа d -орбиталей и, следовательно, меньшая вероятность нахождения электронов вблизи ядра приводят к тому, что при заданном атомном номере d -электроны хуже экранируют заряд ядра по сравнению с s - и p -электронами.

Как уже упоминалось выше, химию комплексов переходных металлов классифицируют по типу лигандов.

В органических соединениях переходных металлов энергия σ -связи металл–лиганд лежит в пределах 120–350 кДж/моль, что соизмеримо с энергией аналогичных связей в соединениях непереходных металлов. Поэтому принято считать, что трудность получения алкильных производных переходных металлов связана не с низкой термодинамической стабильностью, а с высокой кинетической лабильностью. Поэтому эффективная стратегия синтеза таких соединений основана на предотвращении возможных путей распада.

Ключевым моментом для понимания химии комплексов переходных металлов с π -лигандами является четкое представление о природе связи металл – лиганд, для описания которой используют метод молекулярных орбиталей. Полезно вспомнить метод молекулярных орбиталей Хюккеля и его применение для составления энергетических диаграмм молекулярных орбиталей непредельных линейных и циклических полиенов (курс Введение в квантовую

химию), поскольку именно эти соединения выступают в качестве π -лигандов в комплексах.

4 раздел. Металлоорганический катализ. Некоторые фундаментальные принципы катализа. Комплексы переходных металлов в катализе и основные причины их использования, связанные с особенностью электронного строения атомов переходных металлов и их размерами, а также с разнообразием лигандов. Гомогенный и гетерогенный катализ. Каталитический цикл и правило «16 и 18 электронов». Металлоорганический катализ в промышленности: основные значимые процессы синтеза органических соединений.

При подготовке необходимо обратить внимание, каким образом реализуются фундаментальные принципы металлоорганического катализа в рассматриваемых процессах: изменяется ли степень окисления металла в комплексе-катализаторе, его координационное число, действует ли правило 18-электронов, какие лиганды являются участвующими, а какие нет.

5 раздел. Физические методы исследования структуры и электронного строения ЭОС. Теоретические основы методов. Принципы работы приборов. Возможности и ограничения методов.

3 ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1

1. Элементорганические соединения, определение, классификация, номенклатура. Природа связи элемент–углерод.
2. Общая характеристика реакционной способности связи элемент–углерод. Понятие о термодинамическом и кинетическом факторах стабильности ЭОС.
3. Этапы развития химии элементорганических соединений. Химия элементорганических соединений в России.

Раздел 2

4. Общие методы синтеза ЭОС непереходных элементов.
5. Литийорганические соединения, связь литий–углерод, структура молекул, способы получения, роль растворителя.
6. Химические свойства литийорганических соединений. Использование литийорганических соединений в синтезе органических и элементорганических соединений. Правила безопасной работы с литийорганическими соединениями.
7. Способы получения, строение и реакционная способность натрий- и калийорганических соединений.
8. Магнийорганические соединения. Типы магнийорганических соединений. Методы синтеза магнийорганических соединений. Реактив Гриньяра. Равновесие Шленка.
9. Реакции магнийорганических соединений. Использование магнийорганических соединений в органическом синтезе.
10. Строение, способы получения и реакционная способность бериллийорганических соединений.

11. Цинкорганические соединения. Методы синтеза, реакционная способность. Именные реакции. Историческая роль цинкорганических соединений в развитии органической и элементоорганической химии.
12. Синтез, строение и реакционная способность кадмийорганических соединений, значение в органическом синтезе.
13. Синтез, строение и физические свойства ртуторганических соединений, реакционная способность ртуторганических соединений. Токсические свойства. Биологическое метилирование.
14. Методы синтеза триалкилборанов, алкилборгалогенидов, гидридов бора. Строение и свойства борорганических соединений. Реакционная способность борорганических соединений. Роль в синтезе органических соединений (реакции гидроборирования).
15. Методы синтеза алюминийорганических соединений: лабораторные и промышленные. Метод Циглера. Строение алюминийорганических соединений. Химические свойства алюминийорганических соединений. Реакции гидроалюминирования и карбоалюминирования, пути использования. Применение алюминийорганических соединений в синтезе ЭОС и в промышленности.
16. Методы получения, свойства и реакции галлий- и индийорганических соединений: сходство и различия.
17. Методы получения, свойства и реакции таллийорганических соединений, особенности. Роль в органическом синтезе.
18. Разнообразие кремнийорганических соединений. Силаны: сходства и отличия от углеводородов. Тетраалкил(арил)производные кремния. Синтез и химические свойства. Органосилилгалогениды. Применение кремнийорганических соединений.
19. Методы получения германийорганических и оловоорганических соединений. Химические свойства. Соединения со связью металл–металл. Свинецорганические соединения.
20. Общая характеристика органических соединений элементов 15 группы. Методы получения соединений сурьмы(III, V) и висмута(III, V). Строение молекул. Термостабильность. Химические свойства органических соединений сурьмы(III, V) и висмута(III, V). Применение органических соединений сурьмы и висмута.

Раздел 3

21. Медь-, серебро- и золотоорганические соединения. Общая характеристика, особенности строения, способы получения, значение в органическом синтезе.
22. Особенности химической связи в органических соединениях переходных металлов, примеры. Прочность связи М–С. Термодинамический и кинетический аспекты стабильности. Правило 18 электронов (правило Сиджвика).
23. Соединения МОС с одноэлектронными лигандами (η^1 - или σ -донорными). Факторы, влияющие на стабильность σ -связи М–С. Методы синтеза

органических соединений переходных металлов с одноэлектронными лигандами. Химические свойства комплексов.

24. Олефиновые комплексы переходных металлов (комплексы с η^2 -лигандами). Природа связи металл-алкен и металл-алкин. Факторы устойчивости комплексов. Методы их синтеза.

25. Методы синтеза органических соединений переходных металлов с η^3 - и η^4 -лигандами. Устойчивость комплексов. Особенности строения и химические свойства циклобутадиеновых комплексов.

26. Органические соединения комплексов переходных металлов с η^5 -лигандами. Металлоцены и правило 18-ти электронов. Методы синтеза органических соединений переходных металлов с η^5 -лигандами. Особенности химического поведения металлоценов с избытком и недостатком электронов.

27. Ареновые комплексы металлов. Методы синтеза органических соединений переходных металлов с η^6 -лигандами. Химические свойства ареновых комплексов, отличие от металлоценов.

28. Карбонилы переходных металлов и правило 18-ти электронов. Разнообразие строения, способы получения, реакционная способность, применение.

Раздел 4

29. Фундаментальные принципы металлоорганического катализа.

30. Органические соединения переходных металлов как катализаторы в органическом синтезе на примере реакций образования связей углерод-углерод.

31. Органические соединения переходных металлов как катализаторы в органическом синтезе на примере реакций метатезиса алкенов и алкинов.

Раздел 5

32. ЯМР-спектроскопии (импульсная ЯМР-фурье спектроскопия, динамический ЯМР) в исследовании строения и реакционной способности ЭОС. Физические и теоретические основы метода. Понятие об основных ЯМР-параметрах: химическом сдвиге, константах спин-спинового взаимодействия, временах релаксации. Области применения в химии ЭОС: изучение строения и динамики молекул, определение примесей.

33. Масс-спектрометрия. Физические и теоретические основы метода. Области применения в химии ЭОС: установление состава и строения молекул, качественный и количественный анализ смесей (хромато-масс-спектрометрия), определение микропримесей, изотопный анализ, измерение термодинамических параметров (энергии ионизации молекул, энергии появления ионов, энергии диссоциации связей), изучение ионно-молекулярных реакций, газофазная кислотность и основность молекул.

34. Метод рентгеноструктурного анализа (РСА). Физические и теоретические основы метода. Области применения в химии ЭОС: установление строения молекул и кристаллов, исследование природы химических связей.

35. Фото- (ФЭС) и рентгенофотоэлектронная (ЭСХА) спектроскопии. Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: изучение электронного строения молекул, измерение энергий ионизации.

36. Оптическая спектроскопия (ИК, УФ, КР). Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: установление строения молекул, изучение динамики молекул, измерение концентрации. Применение симметрии при интерпретации экспериментальных спектров.

37. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Физические и теоретические основы методов. Применение в химии ЭОС: установление строения радикалов, изучение динамики молекул и механизмов радикальных реакций.

4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРЕТЕНДЕНТОВ И ОТВЕТОВ НА ВОПРОСЫ УСТНОГО СОБЕСЕДОВАНИЯ

4.1 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ

Балл	Критерий
От 86 до 100 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Демонстрируются глубокие знания дисциплин специальности. Делаются обоснованные выводы. Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания, приобретённые ранее. Сформированы навыки исследовательской деятельности
От 71 до 85 баллов	Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются систематизировано и последовательно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Материал излагается уверенно, в основном правильно даны все определения и понятия. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов. Продемонстрированы навыки исследовательской деятельности.
От 50 до 70 баллов	Допускаются нарушения в последовательности изложения при ответе. Демонстрируются поверхностные знания дисциплин специальности. Имеются затруднения с выводами. Определения и понятия даны нечётко. Навыки исследовательской деятельности представлены слабо.
49 баллов и менее	Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях. Отсутствуют навыки исследовательской деятельности.

4.2 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТНЫХ ОТВЕТОВ

Общий балл за ответы на вопросы собеседования не должен превышать 15 баллов.

Сумма баллов за ответы по билету и устные ответы на собеседовании не должно превышать 100

5 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Эльшенбройх, К. Металлорганическая химия / пер. с нем. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 746 с.
2. Общая органическая химия/ под ред. Д. Бартона. Т. 6-7. М.: химия, 1984.
3. Методы элементоорганической химии/ под ред. А.Н. Несмеянова, К.А. Кочешкова. М.: Наука, 1973.
4. Грин, М. Металлоорганические соединения переходных металлов / М. Грин. М.: Мир, 1972. 520 с.
5. Гринвуд, Н. Химия элементов / Н. Гринвуд, А. Эрншо. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 720 с.
6. Химия элементоорганических соединений / под ред. Р.А. Черкасова. Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1992. 130 с.
7. Шарутин, В.В. Именные реакции в химии элементоорганических соединений: справочник / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 472 с.
8. Соколов М.Н., Самсоненко Д.Г. Координационная химия: учебное пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2011. Ч. II: Металлоорганические соединения, катализ с участием комплексов переходных металлов, кластерные соединения. 194 с.
9. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. Часть 4. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004.
10. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Основы неорганической химии. Гл. 28-31. М.: Мир, 1979.

6 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хьюи Ж. Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. М.: Химия, 1987.
2. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. М.: Высш.шк., 1979.
3. Белецкая И.П., Реутов О.А, Соколов В.И. Механизмы реакций металлорганических соединений. М.: Химия, 1972.
4. Драго Р. Физические методы в химии. Т.1,2. М.: Мир, 1981.
5. Гюнтер Х. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир, 1984.
6. Пурдела Д., Вылчану Р. Химия органических соединений фосфора. М.: Химия, 1972.
7. Шульпин Г.Б. Органические реакции, катализируемые комплексами металлов. М.: Наука, 1988.
8. Металлоорганическая химия переходных металлов / Дж. Колмен, Л. Хегедас, Дж. Нортон, Р. Финке. М.: Мир, 1989.

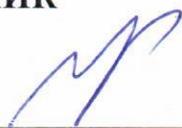
9. Бухаров, С.В. Технология тонкого органического синтеза. Ч. III. Элементоорганические соединения. [Электронный ресурс] / С.В. Бухаров, И.З. Илалдинов, Г.Ю. Климентова, Г.Н. Нугуманова. Казань : КНИТУ, 2006. 72 с.
10. Цудзи Д. Органические синтезы с участием комплексов переходных металлов. М.: Химия, 1979.

7 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Российская Государственная библиотека URL: <http://www.rsl.ru/>
2. Российская национальная библиотека URL: <http://www.nlr.ru/>
4. Органическая химия [Электронный ресурс] : в 4 ч. Ч. 4 / О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 547 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541050#none>
5. Смит, В.А. Основы современного органического синтеза [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Смит, А. Д. Дильман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 753 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541053#none>
6. Титце, Л. Domino-реакции в органическом синтезе. [Электронный ресурс] /Л. Титце, Г. Браше, К. Герике. – Электрон. дан. – М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. – 674с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66355>
7. Слижов, Ю.Г. Реакции окисления в органическом синтезе. Учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] / Ю.Г. Слижов, Т.Т. Куряева, В.В. Хасанов. – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2013. – 40с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/44998>
8. Реакции диазотирования и азосочетания в органическом синтезе: Учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2016. – 24с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/74562>
9. Юровская, М.А. Химия ароматических гетероциклических соединений. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. – 211с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/66368>
10. Применение ИК и ПМР спектроскопии при изучении строения органических молекул. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2016. – 60с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/80246>
11. Биометаллоорганическая химия [Электронный ресурс] / Ж. Жауэн М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 505 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=541203>

РАЗРАБОТЧИК

Заведующий кафедрой теоретической и
прикладной химии



/О.К. Шарутина /