«УТВЕРЖДЕНО»

Председатель экзаменационной комиссии
по проведению вступительных испытаний
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
в форме вступительного экзамена
и собеседования по специальной дисциплине
по научной специальности

2.6.7. Технология неорганических веществ
(химические науки)

д-р техн. наук, доцент

_____ Д.А. Макаренков

«_____» _____ 2025 г.

Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт»
в форме вступительного экзамена
по научной специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ
(химические науки)

1. Общие положения

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 астрономический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя два вопроса в соответствии с перечнем тем, установленных данной Программой, на которые необходимо дать развернутые и полные ответы.

Вопросы охватывают следующие темы: теоретические основы химической технологии неорганических веществ, подготовка сырья в химической технологии неорганических веществ, химическая технология неорганических веществ, методы исследования неорганических веществ.

Вопросы специализации включают в себя вопросы по научной специальности

2.6.7 Технология неорганических веществ.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

Шкала оценивания

Оценка, баллы	**Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой**
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

3. Вопросы к вступительному испытанию

Теоретические основы химической технологии неорганических веществ

1. Химико-технологический процесс. Компоненты технологического процесса. Химический процесс. Технологические параметры. Технологическая схема.

2. Охлаждение в химической технологии. Основы получения низких температур. Холодопроизводительность холодильной установки.

3. Современные представления о природе растворов. Особенности жидких растворов. Порядок в жидкостях, структура воды и водных растворов. Специфика реакций в водных и неводных растворах.

4. Теория электролитической диссоциации. Ионное произведение воды и его зависимость от температуры. Водородный показатель pH, шкала pH. Протолитическая теория Бренстеда-Лоури. Гидролиз. Современные взгляды на природу кислот и оснований.

5. Сильные и слабые электролиты. Зависимость степени электролитической диссоциации от концентрации, температуры, природы растворителя, посторонних электролитов. Закон разбавления Оствальда.

6. Произведение растворимости. Динамическое равновесие в насыщенных растворах малорастворимых сильных электролитов и факторы, его смещающие.

7. Электрохимические свойства растворов. Сопряженные окислительно-восстановительные пары. Электродный потенциал. Окислительно-восстановительные реакции и их направление. Уравнение Нернста. Электролиз.

8. Закон Рауля. Криоскопия и эбулиоскопия, осмос.

9. Концентрированные растворы электролитов. Физико-химические параметры концентрированных растворов. Активность компонентов раствора. Растворение вещества в воде.

10. Смешение растворов. Химическое взаимодействие при смешивании растворов. Пересыщенные растворы. Пересыщение в газовой фазе и образование тумана. Растворение твердых веществ.

11. Гетерогенные процессы в системе газ (жидкость) – твердое вещество. Гетерогенные процессы в системе газ – жидкость (газожидкостные реакции). Выщелачивание. Выпаривание водных растворов.

12. Кристаллизация из растворов. Образование зародышей и рост кристаллов. Массовая кристаллизация. Методы промышленной кристаллизации. Загрязнение кристаллов примесями. Очистка растворов осаждением примесей. Кристаллизация

из расплавов.

13. Гигроскопичность и слеживаемость неорганических веществ. Гигроскопические свойства кристаллических веществ. Гигроскопическая точка. Слеживание сыпучих материалов. Причины потери сыпучести. Способы предотвращения слёживания. Гранулирование.

14. Экстрагирование. Метод экстракции. Обезвоживание растворов и кристаллизация солей.

15. Флотация. Виды флотации. Флотационные реагенты. Типы флотационных машин.

17. Высокотемпературная обработка твёрдых веществ. Виды обжига. Механизм взаимодействия твердых фаз и их реакционная способность. Скорость обжига. Средства и способы интенсификации обжига.

18. Ионный обмен. Иониты. Ионообменные процессы. Материальный баланс. Характеристики материального баланса. Степень превращения. Избирательность (селективность) процесса. Выход продукта.

19. Основные понятия и задачи химической термодинамики как науки о превращениях энергии при протекании химических реакций. Термодинамическая система, параметры и функции состояния системы. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и ее изменение при химических и фазовых превращениях.

20. Энтальпия. Стандартное состояние и стандартные теплоты химических реакций. Теплота и энтальпия образования. Закон Гесса. Расчет теплового эффекта реакции. Расчёт энергии Гиббса химических реакций. Энергии химических связей. Теплоемкость, уравнение Кирхгофа.

21. Обратимые и необратимые процессы. Второй закон термодинамики. Энтропия и ее физический смысл, уравнение Больцмана. Стандартная энтропия. Зависимость энтропии от параметров состояния. Энергия Гиббса.

22. Направление химических процессов, критерии самопроизвольного протекания реакций в изолированных и открытых системах. Химический потенциал. Условие химического равновесия, константа равновесия.

23. Изотерма химической реакции. Фазовые равновесия, число степеней

свободы, правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы одно- и двухкомпонентных систем.

24. Тепловой баланс. Теплосодержание веществ и расчёт теплоемкости.

25. Скорость химической реакции, ее зависимости от природы и концентрации реагентов, температуры. Порядок реакции. Константы скорости и ее зависимость от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и понятие об активированном комплексе. Обратимые реакции. Закон действующих масс.

26. Константа равновесия. Расчет константы равновесия реакции идеальных газовых систем. Расчет константы равновесия в системе реальных газов.

27. Каталитический метод ускорения реакций. Катализ в технологии неорганических веществ. Состав и свойства промышленных катализаторов. Требования к промышленным катализаторам. Гомогенный катализ. Гетерогенный катализ на твёрдом катализаторе.

Подготовка сырья в химической технологии неорганических веществ

28. Сырьевые источники. Классификация сырьевых материалов. Запасы минерального сырья. Решение сырьевых проблем. Комплексное использование сырья.

29. Подготовка минерального сырья. Обогащение твердого минерального сырья. Способы обогащения. Рассеивание. Гравитационное обогащение. Электромагнитное и электростатическое обогащение. Флотация. Экстракция. Термическое обогащение. Химическое обогащение.

30. Виды твердого топлива. Химическая переработка твердого топлива.

31. Очистка и разделение газовых смесей. Методы очистки и разделения. Метод конденсации. Сжижение воздуха. Ректификация жидкого воздуха. Принципиальное устройство ректификационной колонны.

32. Состав атмосферного воздуха. Очистка воздуха. Разделение воздуха в двухколоннном ректификационном аппарате.

33. Высокотемпературная переработка твердого топлива. Виды твердого топлива. Коксование. Полукоксование. Газификация. Гидрогенизация. Прямой и обратный коксовый газ. Переработка коксового газа. Получение аммиака

из коксового газа.

Химическая технология неорганических веществ

34. Получение азотоводородной смеси (АВС). Получение АВС из природного газа: сероочистка природного газа, конверсия метана, конверсия CO, очистка конвертированного газа от CO_2 (МЭА – чистка), метанирование, получение АВС из азота и водорода. Синтез аммиака при низком, среднем и высоком давлениях.

35. Производство разбавленной азотной кислоты окислением аммиака: окисление аммиака, доокисление нитрозных газов, абсорбция нитрозных газов, очистка хвостовых газов. Получение концентрированной азотной кислоты: концентрирование с помощью серной кислоты; концентрирование с помощью нитрата магния; прямой синтез концентрированной азотной кислоты.

36. Производство серной кислоты контактным методом. Основные стадии производства: получение SO_2, очистка и осушка SO_2-содержащего газа, контактное окисление SO_2 в SO_3, абсорбция SO_3, производство серной кислоты из серы, производство серной кислоты из сероводорода.

37. Производство минеральных удобрений. Классификация минеральных удобрений. Технология азотных удобрений: производство нитрата и сульфата аммония, производство карбамида. Основы технологии фосфорных удобрений. Производство калийных и комплексных удобрений. Производство микроудобрений.

38. Производство фосфорной кислоты.

39. Технология содовых производств. Получение кальцинированной (Na_2CO_3), питьевой ($NaHCO_3$), каустической (NaOH) соды.

40. Электрохимические производства. Производство хлороводорода и соляной кислоты.

41. Теоретические основы электролиза водного раствора хлорида натрия.

42. Промышленные электрохимические методы получения хлора. Основные стадии производства.

43. Перспективные направления развития производства комплексных удобрений.

Методы исследования неорганических веществ

44. Дифракционные методы исследования: рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализы, нейтронография, электронография.

45. Спектральные методы исследования: электронные спектры в видимой и УФ-области. Колебательная спектроскопия – ИК- и комбинационного рассеяния. Спектроскопия ЭПР, ЯМР-спектроскопия.

46. Исследования электропроводности и магнитной восприимчивости. Исследования дипольных моментов. Импеданс-спектроскопия.

47. Термогравиметрия и масс-спектрометрия.

Основная литература:

1. Ахметов, Т. Г. Химическая технология неорганических веществ: в 2 кн. Кн. 1. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 688 с.

2. Ахметов, Т. Г. Химическая технология неорганических веществ: в 2 кн. Кн. 2. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 536 с.

3. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 752 с.

4. Петропавловский И.А., Дмитревский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Химия и основы технологии минеральных удобрений. СПб.: Проспект Науки. 2021. 344 с.

5. Позин М.Е. Физико-химические основы неорганической технологии. /М.Е. Позин, Р.Ю. Зинюк Р.Ю. –Л.: Химия, 1985. –384 с.

6. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. М.: Химия, 1999. 472 с.

7. Васильев В.П. Термодинамические свойства растворов электролитов: Учеб. пособие. /В.П. Васильев. –М.: Высш. школа, 1982. –320 с.

Дополнительная литература:

1. Афонина, Л. И. Неорганическая химия: учебное пособие / Л. И. Афонина,

А. И. Апарнев, А. А. Казакова; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 99, [4] с.табл. с.

2. Свойства, получение и применение минеральных удобрений: учеб. пособие для бакалавров / Б. А. Дмитревский [и др.]. — Санкт-Петербург: Проспект Науки , 2013. — 326 с.

3. Неорганическая химия [Текст] : в 3 т Т. 1 Физико-химические основы неорганической химии : учебник для студентов вузов [и аспирантов], обучающихся по химическим специальностям / М. Е. Тамм, Ю. Д. Третьяков ; под ред. Ю.Д. Третьякова. – Москва: Academia, 2004. – 240 с.

4. Химическая технология неорганических веществ: в 2-х кн. Кн.2: учеб. пособие для вузов по специальности «Хим. технология неорган. Веществ» / Т.Г. Ахметов, Р. Т. Порфирьева, Л. Г. Гайсин и др.; Под ред. Т. Г. Ахметова. – М. : Высшая школа, 2002. – 533 с.

5. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика: / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; пер. с англ. В. И. Родугина . – Долгопрудный: Интеллект, 2010. - 540 с.

6. Физические методы исследования неорганических веществ [Текст] : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 020101 «Химия» направления подготовки 020100 «Химия» / Т. Г. Баличева [и др.]; под ред. А. Б. Никольского. – Москва: Академия, 2006. – 448 с.

7. Аналитическая химия [Текст]: в 3 т Т. 1 Методы идентификации и определения веществ: учебник для студентов вузов [и аспирантов], обучающихся по специальности «Химия» / А. А. Белюстин [и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. – Москва: Академия, 2008. – 576 с.

8. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений [Текст] / пер. с англ. Л. В. Христенко; под ред. Ю. А. Пентина. – Москва: Мир, 1991. – 535 с.

9. Позин М.Е. (редактор), Копылев Б. А., Бельченко Г. В., Терещенко Л. Я. Расчеты по технологии неорганических веществ. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб./—Л., «Химия», 1977.—496 с.

10. Позин, М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) / М. Е. Позин. - 4-е изд., испр. - Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1974 Ч. 1. - 1974. - 791 с.

11. Позин, М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) / М. Е. Позин. - 4-е изд., испр. - Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1974. Ч. 2. - 1974. - 793-1556 с.

12. Серебренников В. В. Химия редкоземельных элементов (скандий, иттрий, лантаниды): В 2 т - Томск: Издательство Томского университета, 1961.