



Программа рассмотрена и принята
научно-экспертным советом
протокол № 1 от 14.01.2026г.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора –
директор по научной работе

«_____» _____ 2026 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Уровень высшего образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность

2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора по научной работе

Заведующий аспирантурой

Фрязино 2026

1. Форма проведения и структура вступительного испытания

Форма проведения испытания: устная. Язык – русский. Вступительное испытание проводится по билетам.

1-й и 2-й вопросы билета - вопросы, оценивающие подготовку по теоретическим основам вакуумной и плазменной электроники;

3-й вопрос билета - собеседование по тематике предполагаемого диссертационного исследования, проводится на основе подготовленного поступающим реферата.

Время подготовки к устному ответу – до 45 минут. Вступительное испытание оформляется протоколом, в котором фиксируются вопросы к поступающему.

2. Перечень вопросов, оценивающих подготовку по теоретическим основам вакуумной и плазменной электроники (1-й и 2-й вопросы билета)

Физические основы вакуумной и плазменной электроники

Кинетическая теория газов. Закон идеального газа. Число Авогадро. Скорость молекул. Закон распределения Максвелла-Больцмана. Свободный пробег молекул.

Электрические явления в разреженных газах. Ионизация, возбуждение и рекомбинация газовых частиц. Эффективные сечения процессов. Движение заряженных частиц в газе.

Газовый разряд. Классификация типов газового разряда и отдельных его областей. Условия развития разряда. Кривые Пашена. Высокочастотный разряд. Явления в вакуумных и плазменных приборах.

Эмиссионная электроника. Термоэлектронная эмиссия. Распределение термоэлектронов по скоростям. Вторичная, фотоэлектронная, автоэлектронная и экзоэлектронная эмиссии.

Катоды: термоэлектронные, автоэлектронные (полевые), фотоэлектронные, вторично-эмиссионные. Активирование и отравление катодов. Стабильность эмиссии и срок службы.

Плазменные источники электронов.

Движение заряженных частиц в вакууме в электрических и магнитных полях.

Электродинамика. Уравнение Максвелла – обобщение опытных факторов. Основные характеристики электромагнитного поля и среды.

Волноведущие системы и резонаторы в электронных приборах. Их основные свойства.

Замедляющие системы в электронных приборах (спираль, гребенка, цепочка связанных резонаторов). Сопротивление связи. Дисперсионная характеристика. Полосы прозрачности и непрозрачности.

Электронные приборы и устройства, основанные на движении заряженных частиц в вакууме и газах

Электроракуумные приборы (ЭВП). Приборы с электростатическим управлением. Плоский диод. Триоды, тетроды, пентоды. Частотные ограничения.

Основные свойства и характеристики приборов с электростатическим управлением.

Плазменные приборы (ПЛП). Принцип действия, конструкция и характеристики плазменных приборов.

Устройства формирования и фокусировки интенсивных электронных потоков. Общие принципы формирования интенсивных электронных потоков. Электронно-оптические системы (ЭОС) СВЧ приборов О- и М-типа.

Магнитные и электрические фокусирующие системы. Магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС). Магнитная реверсивная фокусировка (МРФ). Периодическая электростатическая фокусировка (ПЭФ). Коллекторы. Коллекторы с рекуперацией. Автоматизированные методы проектирования ЭОС.

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) и фотоэлектрические приборы. Конструкция и характеристики электронно-лучевых приборов. Фокусирующие и отклоняющие системы ЭЛТ. Катодолюминесценция. Осциллографические трубки. Черно-белые и цветные кинескопы. Передающие трубки. Электронно-оптические преобразователи. Основные типы фотоэлементов.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) электронные приборы. Методы анализа явлений в СВЧ приборах.

Исходные уравнения поля и уравнения движения. Наведенный ток, емкостный ток. Конвекционный ток. Взаимодействие потока электронов с полем бегущей волны.

Группировка электронов. Метод заданного поля и метод заданного тока. Самосогласованные решения.

Конструкции и параметры СВЧ ЭВП. Основные типы СВЧ приборов, принцип действия. Конструктивные особенности и характеристики приборов О-типа (лампы с бегущей волной, лампы с обратной волной (ЛОВ), клистроны) и приборов М-типа (магнетроны, амплитроны, ЛОВ). Автоматизированное проектирование клистронов, ЛБВ, ЛОВ, магнетронов, амплитронов.

Шумы в электронных приборах. Тепловые явления в электронных приборах. Основные источники тепла. Свободная и принудительная конвекция. Теплопередача теплопроводностью. Стационарный тепловой режим деталей электронных приборов. Методы автоматизированного проектирования устройств охлаждения в электронных приборах.

Материалы узлов и устройств вакуумных и плазменных приборов

Тугоплавкие металлы. Вольфрам, молибден, тантал, и др. материалы и их сплавы. Применение тугоплавких металлов в вакуумной и плазменной электронике.

Благородные металлы. Платина, палладий, родий, осмий, золото, серебро и их сплавы. Применение благородных металлов и их сплавов для защиты деталей вакуумных и плазменных приборов.

Черные и цветные металлы. Никель, железо, медь, Сплавы и композиции черных и цветных металлов. Методы очистки и получения. Вакуумная плавка. Применение для изготовления деталей.

Железоникелевокобальтовые, железоникелевохромистые и феррохромовые сплавы. Применение их для сплавов с диэлектриками.

Щелочные, щелочноземельные металлы. Окиси щелочноземельных металлов. Применение для вакуумных и плазменных приборов и для электрофизических насосов.

Припои. Низко- и высокотемпературные припои. Требования к припоям.

Магнитные материалы. Магнитомягкие материалы. Ферриты. Кристаллические ферромагнетики.

Стекло. Состав, оборудование и производство стекла. Физико-химические свойства. Термическое расширение. Термостойкость, электропроводность. Диэлектрические потери. Химическая устойчивость. Проницаемость для радиационных излучений. Газопроницаемость. Выбор стекла для различных условий применения. Обработка стекла. Ситаллы. Спаи стекла с металлами. Приборы для контроля качества спаев.

Керамика. Виды керамики, используемой в вакуумной и плазменной электронике. Физико-химические свойства керамики, Механические свойства. Термическое расширение. Теплопроводность. Удельное электрическое, объемное и поверхностное сопротивление. Диэлектрические свойства. Оптические свойства. Газопроницаемость. Спаи керамики с металлами.

Вспомогательные материалы

Люминофоры. Применение люминофоров для электронно-лучевых приборов, люминесцирующих экранов и источников света.

Эластомеры. Применение эластомеров для герметизации вводов ЭВП и ПЛП.

Газы. Инертные газы. Получение и физические свойства газов. Применение инертных газов в технологии ЭВП и ПЛП. Методы очистки инертных газов.

Активные газы. Водород, азот, кислород и углекислый газ. Физические и химические свойства активных газов. Методы очистки и приборы для контроля чистоты газов.

Технология вакуумных и плазменных приборов и специальное оборудование

Изготовление металлических деталей ЭВП и ПЛП. Изготовление деталей из проволок, лент и прутков. Холодная штамповка, обточка, фрезерование, выдавливание. Смазки, применяемые при изготовлении деталей, Оборудование, приборы и инструмент, используемые при изготовлении деталей ЭВП. Способы и оборудование для обработки поверхности деталей. Травление, пескоструйная обработка, голтовка, полировка, карбонизация, осаждение покрытий из электролитов и из газовой среды. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Области применения и эффективность методов. Электрохимическая и анодно-механическая обработки.

Очистка деталей ЭВП и ПЛП. Виды загрязнений деталей ЭВП и ПЛП. Загрязнение деталей механическими частицами и методы борьбы с ними. Оборудование для очистки воздуха от аэрозолей. Приборы для контроля чистоты

воздуха. Загрязнения деталей органическими и неорганическими веществами. Механизм влияния загрязнений на работоспособность ЭВП и ПЛП.

Интенсификация очистки ультразвуком. Очистка стекла и керамики. Оборудование и материалы, используемые для очистки деталей. Контроль солевых и органических загрязнений. Приборы для контроля.

Термические методы очистки деталей. Отжиг в вакууме, в восстановительных и инертных средах. Основные закономерности термического обезгаживания деталей. Влияние на очистку температуры, давления и чистоты газов. Оборудование для отжига деталей. Хранение очищенных деталей. Тара для хранения очищенных деталей.

Изготовление катодов и подогревателей. Способы и оборудование для нанесения эмиссионных и изоляционных паст на катоды и подогреватели. Контроль качества катодов и подогревателей. Измерение температуры и эмиссионных характеристик катодов.

Теплофизические явления в катодах. Методы и оборудование для изготовления газопоглотителей.

Методы соединения деталей. Контактная сварка. Аргонодуговая сварка. Электронно-лучевая сварка. Сварка с использованием лазеров. Термокомпрессионная сварка. Оборудование, используемое для различного вида сварок. Пайка деталей припоями. Многоступенчатая пайка. Пайка в вакууме, в защитных и восстановительных средах. Концентраторная пайка. Оборудование для пайки. Печи периодического и непрерывного действия. Критерии паяемости и свариваемости деталей. Методы и приборы для контроля герметичности сварных и паяльных швов.

Заварка приборов со стеклянной оболочкой. Оборудование для заварки. Методы и приборы для контроля качества заварки.

Откачка ЭВП и ПЛП. Газы, выделяемые из деталей в процессе откачки. Способы и режим обработки катодов и оболочек приборов. Контроль процесса откачки. Особенности откачки приборов в молекулярном режиме. Откачное оборудование. Автоматы и откачные посты. Программирование и автоматизация процесса откачки. Обслуживание откачного оборудования. Способы очистки вакуумных систем. Вредные последствия длительного и высокотемпературного обезгаживания ЭВП при очистке. Особенности откачки ПЛП и способы наполнения их газами.

Методы получения вакуума при помощи геттеров. Типы распыляемых и нераспыляемых геттеров. Сорбционные свойства геттеров. Расположение геттеров в приборах. Влияние типа геттеров на параметры приборов. Способы активировки геттеров при откачке.

Тренировка ЭВП и ПЛП. Цель тренировки. Импульсные и статические режимы тренировок.

Тренировки высоковольтных приборов. Оборудование для тренировки приборов.

Испытание ЭВП и ПЛП. Измерение параметров ЭВП и ПЛП. Механические испытания. Климатические испытания. Испытания на долговечность. Оборудование, применяемое для измерения электрических параметров ЭВП и ПЛП и испытания их на устойчивость к механическим и климатическим воздействиям.

3. Примерный перечень вопросов для подготовки к собеседованию по предполагаемой теме диссертационного исследования (3-й вопрос билета)

1. Обоснуйте выбор темы исследования.
2. Обоснуйте актуальность, научную новизну исследования.
3. Очертите область исследования, объект и предмет исследования.
4. Каковы основные цели и задачи исследования.
5. Обоснуйте, решались ли выбранные задачи ранее. Если решались, то, кем или какими научными школами, какие результаты были получены. Почему вы считаете, что остались «белые пятна» и именно Вы знаете, как их устранить.
6. Изложите собственное видение рассматриваемой проблемы и пути решения задачи (при этом отразите методологическую основу будущего исследования - какие конкретные методы и инструментальные средства из научного арсенала предполагается использовать при решении задачи).
7. Оцените состояние работы на сегодняшний день (уровень задела).
8. Обозначьте ожидаемые результаты исследования, их потенциальную востребованность и экономическую эффективность в случае практического использования.

Требования к реферату по специальной дисциплине

Реферат по специальной дисциплине должен показать исследовательский потенциал поступающего, его подготовленность к выполнению научно-исследовательской программы аспирантуры.

Объем реферата 5-10 страниц машинописного текста через 1,5 интервала, шрифт Times New Roman, номер 14; размеры полей: верхнее и нижнее – 2 см, левое – 3 см, правое – 1,0 см, выравнивание по ширине.

Реферат должен содержать краткий обзор литературы (состояние вопроса) по предмету исследования, формулировку и обоснование проблемы: ее актуальность, фундаментальные и прикладные аспекты, степень разработанности. В текст реферата могут быть включены схемы, таблицы, рисунки, приложения.

Структура реферата:

- титульный лист (см. Приложение);
- введение (актуальность, цель, задачи, методы исследования);
- проблемы исследования, ожидаемые результаты;
- состояние работы на сегодняшний день (уровень задела);
- заключение (выводы);
- список литературы;
- список опубликованных/направленных в печать статей и материалов (при наличии).

В реферате автор должен показать знание текущего состояния исследований по выбранной проблеме, умение анализировать литературные источники, делать выводы о перспективах предполагаемого исследования.

4. Оценка уровня знаний (баллы)

Итоговая оценка выставляется по пятибалльной шкале. Поступающие, получившие менее 4 баллов, к последующим вступительным испытаниям и участию в конкурсе не допускаются.

Критерии оценивания	Баллы, оценка
Ответы на поставленные вопросы полные и исчерпывающие, без замечаний; продемонстрировано глубокое знание теоретической части курса. Содержание реферата соответствует теме, материал систематизирован и структурирован, основные понятия проблемы раскрыты полностью и глубоко; в постановке проблемы присутствует новизна и самостоятельность; в формулировании нового аспекта выбранной для анализа проблемы продемонстрировано умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения по рассматриваемому вопросу, аргументировать основные положения и выводы; продемонстрирована культура изложения и оформления текста реферата	5 (отлично)
Ответы полные, с незначительными ошибками, указывающие на наличие несистематичности либо пробелы в знаниях; если поступающий допускает неточности, то при помощи вспомогательных вопросов экзаменатора исправляет свои ошибки. Содержание реферата соответствует теме, материал систематизирован и структурирован, основные понятия проблемы раскрыты; продемонстрирована культура изложения и оформления текста реферата, либо реферат оформлен с незначительными недочетами	4 (хорошо)
Ответы не полные, со значительными замечаниями, допущены существенные ошибки при ответе на вопросы членов экзаменационной комиссии. Содержание реферата соответствует теме, но основные понятия проблемы не раскрыты; в формулировании нового аспекта выбранной для анализа проблемы не продемонстрировано умение обобщать; отсутствует культура изложения и оформления текста реферата	3 (удовлетворительно)
Поступающий показал существенные пробелы в знаниях основных положений теории, не ответил на ряд вопросов членов экзаменационной комиссии. Содержание реферата не соответствует теме, материал плохо систематизирован и структурирован, основные понятия проблемы не раскрыты; в постановке проблемы нет самостоятельности; в формулировании нового аспекта выбранной для анализа проблемы не продемонстрировано умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения по рассматриваемому вопросу, аргументировать основные положения и выводы; отсутствует культура изложения и оформления текста реферата	2 (неудовлетворительно)

Библиографический список

1. Сушков, А. Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы: учебное пособие / А. Д. Сушков. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 464 с.
2. Аксенов А.И., Злобина А.Ф., Панковец Н.Г., Носков Д.А. Вакуумные и плазменные приборы и устройства. Учебное пособие. ТУСУР, Томск, 2007.
3. Агапов, В.М. Аникин, Ю.В. Анисимов и др. Под ред. Лебедева И.В. Генераторы и усилители СВЧ. — М.: Радиотехника. — 2007. — 352 с.
4. Царев В.А., Спиридонов Р.В. Магнитные фокусирующие системы электровакуумных микроволновых приборов О-типа. Учебное пособие. — Саратов: изд-во «Новый ветер», 2010. — 352 с.
5. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. СПб: Лань, 2008. 356 с.
6. Приборы физической электроники: учебное пособие/А.И. Астайкин [и др.]; под ред. А.И. Астайкина. — М.: Высшая школа, 2008. — 229 с.
7. Ворончев Т.А., Соболев В.Д. Физические основы электровакуумной техники. М., Высшая школа, 1967.
8. Кудинцева Г.А. и др. Термоэлектронные катоды. М., Энергия, 1966.
9. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Изд. 2-е. М., Высшая школа. Т.1, 1970, Т. 2, 1972.
10. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М., Госэнергоиздат. Т.1, 1962, М., Энергия, Т.2, 1968, Т.3, 1969.
11. Черепнин Н.В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., Сов. радио, 1966.
12. Батыгин В.Н. и др. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. М., Энергия, 1973.
13. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М., Сов. радио, 1967.
14. Александрова А.Т. Оборудование электровакуумного производства. М., Энергия, 1974.
15. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы. М., Высшая школа, 1982.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ИСТОК» ИМЕНИ А.И.ШОКИНА»
(АО «НПП «Исток» им. Шокина»)

Аспирантура

РЕФЕРАТ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Научная специальность:

2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника

Тема: _____

Выполнил:

_____ Фамилия И.О.

Фрязино 2026