

Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт сильноточной электроники  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
директор ИСЭ СО РАН  
академик РАН



*Ратахин* Н. А. Ратахин

« 24 » августа 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**вступительного экзамена**  
**по специальности**  
**05.27.02 – вакуумная и пламенная электроника**

основной профессиональной образовательной программы высшего образования  
— программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по  
направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)
4	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника

## 1. Общие положения

1.1. Программа кандидатского экзамена разработана на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспорта специальностей научных работников 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника;

- программы-минимум по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, утвержденной приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

1.2. Вступительный экзамен проводится в устной форме.

## 2. Содержание программы

1. Кинетическая теория газов. Закон идеального газа. Число Авогадро. Скорость молекул. Закон распределения Максвелла—Больцмана. Свободный пробег молекул. Скорость испарения и давление пара. Теплопроводность газов при низких давлениях. Течение газов через трубы и отверстия.

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

3. Газовый разряд. Классификация типов газового разряда и отдельных его областей. Условия развития разряда. Кривые Пашена. Высокочастотный разряд. Явления в вакуумных и плазменных приборах. Взаимодействие электронов с твердыми телами. Рентгеновское излучение. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Прохождение электронов сквозь тонкую фольгу. Взаимодействие ионов с твердыми телами. Катодное распыление твердых тел, его закономерности.

4. Эмиссионная электроника. Термоэлектронная эмиссия. Распределение термоэлектронов по скоростям. Вторичная, фотоэлектронная, автоэлектронная и экзоэлектронная эмиссии. Формулы описывающие основные виды эмиссии. Эмиссия электронов под действием положительных ионов и нейтральных атомов. Эмиссия электронов из плазмы. Взрывная эмиссия.

5. Катоды: термоэлектронные, автоэлектронные (полевые), фотоэлектронные, вторично-эмиссионные. Динамическое равновесие в катодах. Стабильность эмиссии и срок службы главных конструктивно-технологических вариантов катодов. Подогреватели и процессы в них. Плазменные источники электронов. Плазменные источники ионов. Методы подавления термоэмиссии и вторичной электронной эмиссии.

6. Движение заряженных частиц в вакууме в электрических и магнитных полях. Движение при скорости, близкой к скорости света. Фокусирующее и расфокусирующее действие электростатических и магнитостатических полей.

7. Электродинамика. Уравнение Максвелла. Основные характеристики электромагнитного поля и среды.

8. Электровакуумные приборы (ЭВП). Приборы с электростатическим управлением. Токпрохождение в вакуумном промежутке. Плоский диод. Распределение потенциала. Прохождение предварительно ускоренных электронов в плоском промежутке. Минимум потенциала и виртуальный катод.

9. Сеточное управление. Триоды, тетроды, клистроды. Частотные ограничения и пути их преодоления. Основные свойства и характеристики приборов с электростатическим управлением. Вакуумные вентили. Дугогасительные вакуумные камеры.

10. Плазменные приборы (ППП). Принцип действия, конструкция и характеристики плазменных приборов. Приборы тлеющего разряда. Плазменные панели постоянного тока. Панели переменного тока. Водородные тиратроны. Игнитроны. Резонансные, сверхчастотные и искровые разрядники. Газовые лазеры и мазеры.

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

12. Магнитные и электростатические фокусирующие системы. Магнитная периодическая фокусирующая система (МПФС). Магнитная реверсивная фокусировка. Периодическая электростатическая (ПЭФ). Коллекторы. Коллекторы с рекуперацией.

13. Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) и фотоэлектронные приборы. Конструкция и характеристики электронно-лучевых приборов. Фокусирующие и отклоняющие системы ЭЛТ. Катодолуминесценция. Осциллографические трубки. Экраны осциллографических трубок. Запоминающие трубки. Функциональные трубки. Знаковые индикаторные трубки. Черно-белые и цветные кинескопы и дисплеи. Плазменные дисплеи, дисплеи с автокатадами. Передающие трубки. Электронно-оптические преобразователи. Основные типы фотоэлементов. Фотоэлектронные умножители. Рентгеновские трубки.

14. Тугоплавкие металлы. Вольфрам, молибден, тантал и др. материалы и их сплавы. Рене-евый эффект. Способы получения и очистки тугоплавких металлов и их сплавов. Зонная очистка тугоплавких металлов и сплавов. Их физические и химические свойства. Методы и приборы для контроля их качества. Применение тугоплавких металлов в вакуумной и плазменной электронике.

15. Благородные металлы. Платина, палладий, родий, осмий, золото, серебро и их сплавы. Применение благородных металлов и их сплавов в вакуумных и плазменных приборах.

16. Магнитные материалы. Магнитомягкие материалы. Ферриты. Кристаллические ферромагнетики.

17. Стекло. Состав, физико-химические свойства. Термическое расширение. Термостойкость. Электропроводность. Диэлектрические потери. Химическая устойчивость. Проницаемость для излучений. Газопроницаемость. Выбор стекла для различных условий применения. Обработка стекла. Ситаллы. Спаи стекла с металлами, оборудование для производства стекла. Оборудование для спаев стекла с металлами. Приборы для контроля качества спаев.

18. Керамика и другие изоляционные материалы. Виды керамики и изоляционных материалов, используемых в вакуумной и плазменной электронике. Алмаз, нитриды, лейкосапфир. Физико-химические свойства изоляционных материалов. Механические свойства. Термическое расширение. Теплопроводность. Удельное электрическое, объемное и поверхностное сопротивление. Диэлектрические свойства. Оптические свойства. Газопроницаемость. Спаи с металлами. Приборы для контроля физико-химических свойств. Оборудование и производство керамических деталей.

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

20. Активные газы. Водород, азот, кислород и углекислый газ. Физические и химические свойства активных газов. Методы очистки и приборы для контроля чистоты газов. Применение газов в технологии ЭВП и ПЛП.

21. Методы соединения деталей. Контактная сварка. Аргондугловая 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 паянных швов. Заварка приборов со стеклянной оболочкой.

22. 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. Обслуживание откачного оборудования. Способы очистки вакуумных систем. Вредные последствия длительного и высокотемпературного обезгаживания ЭВП при откачке. Особенности откачки ПЛП и способы наполнения их газами.

### 3. Литература

#### *Основная литература*

1. Грановский В.Л.. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М., Наука, 1971.
2. Добрецов А.Н., Гомоюнова М.В., Эмиссионная электроника.- М: Наука, 1966.
3. Коваль Н.Н., Окс Е.М., Протасов Ю.С., Н.Н. Семашко. Эмиссионная электроника, Серия Электроника. Прикладная электроника. – Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
4. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. Томск, Издательство научно-технической литературы. 2005.
5. Райзер Ю.П.. Физика газового разряда. М., Наука, 1987.
6. Франк-Каменецкий А. Д. Лекции по физике плазмы. Москва, Атомиздат, 1964
7. Чен Ф. Введение в физику плазмы Москва, Мир, 1987.
8. Шимони К., Физическая электроника.- М: Энергия, 1977.

#### *Дополнительная литература*

1. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М., “Сов. радио”, 1966.
2. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков Москва, Атомиздат, 1979
3. Батыгин В.Н. и др. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. М., “Энергия”, 1973.
4. Вакуумные дуги. Теория и приложения. Под редакцией Дж. Лафферти М., “Мир”, 1982.
5. Ворончев Т.А., Соболев В.Д. Физические основы электровакуумной техники. М., “Высшая школа”, 1967.
6. Гапонов А.В. и др. “Известия вузов. Физика, том 2. №3 стр. 450-462, №5 стр. 836-874.
7. Жигарев А.А., Шамаева Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы, М., “Высшая школа”, 1982.
8. Киселёв А.Б. Металлооксидные катоды электронных приборов. М., МФТИ, 2001.
9. Королев Ю.Д., Месяц Г.А.. Физика импульсного пробоя газов, М., Наука, 1991
10. Крейндель Ю.Е. Плазменные источники электронов. М.: Атомиздат, 1977, 144 с.
11. Кудинцева Г.А. и др. Термоэлектронные катоды, М., “Энергия”, 1966.
12. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Изд. 2-е, М., “Высшая школа”. Т.1, 1970, Т.П., 1972.
13. Лебединский М.А., Технология электровакуумного производства, М-Л., “Госэнергоиздат”, 1961.
14. Машиностроение. Энциклопедия, том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. М., “Машиностроение”, 2000.
15. Месяц Г.А., Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга.- М.: Наука , 2000.- 424 с.
16. Мик Д., Крэгс Д.. Электрический пробой в газах. Пер. с англ. М., ИЛ, 1960.
17. Раховский В.И., Физические основы коммутации электрического тока в вакууме.- М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. - 536 с.
18. Ретер Г.. Электронные лавины и пробой в газах. Пер. с англ., М., "Мир", 1968.
19. Сливков Н.И., Процессы при высоком напряжении в вакууме.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 255 с.
20. Смирнов Б.М.. Введение в физику атомных столкновений. М., Атомиздат, 1973.
21. Смирнов Б.М.. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М., Атомиздат, 1974.
22. Физика быстропротекающих процессов. Т.1, Под ред. Н.А. Златина, М., "Мир", 1971.
23. Царёв Б.М., Расчёт и конструирование электронных ламп, М., “Энергия”, 1967.
24. Черепнин Н.В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., “Советское радио”, 1966.
25. Черепнин Н.В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М., “Советское радио”, 1967
26. Эспе В. Технология электровакуумных материалов. М., Госэнергоиздат. Т.1, 1962, М., “Энергия”, Т.2, 1968, Т.3, 1969.

Составитель  
д.ф.-м.н., профессор



Ю. Д. Королев