



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Физический факультет**



«Утверждаю»

Ректор ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный университет»

Рабаданов М.Х.

2024 г.

**ПРОГРАММА**

**вступительного экзамена в аспирантуру по подготовке научных и  
научно-педагогических кадров**

направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия

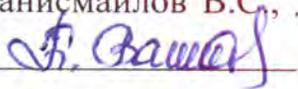
специальность

1.3.5 Физическая электроника

**Махачкала – 2024**

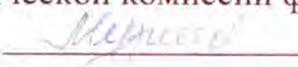
Программа вступительного экзамена в аспирантуру составлена на основании федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденных Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (Зарегистрирован 23.11.2021 № 65943).

Разработчик: Ашурбеков Н.А., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физической электроники 

Рецензент Курбанисмаилов В.С., декан физического факультета ДГУ, д.ф.-м.н., профессор 

Программа утверждена на заседании совета физического факультета (протокол № 10 от « 22» июня 2024 г.)

ОДОБРЕНО:

Председатель методической комиссии факультета  
« 22» июня 2024 г.  Ж.Х. Мурлиева

СОГЛАСОВАНО:

Декан факультета



В.С. Курбанисмаилов

Начальник управления аспирантуры  
и докторантуры



Э.Т. Рамазанова

## **ПРОГРАММА**

по специальности **1.3.5 «Физическая электроника»** по физико-математическим и техническим наукам

Целью программы является установление объема и уровня профессиональных знаний поступающего в аспирантуру на специальность физическая электроника.

### **Введение**

Настоящая программа базируется на основополагающих разделах физической электроники: эмиссионной электронике электронно-лучевой электронике, вакуумной электронике, твердотельной электронике, электронике поверхностей и пленок и функциональной электронике.

### **Раздел 1. Эмиссионная электроника**

1.1. Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Термоэмиссионный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Вакуумный диод с термокатодом и его вольтамперная характеристика.

1.2. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.

1.3. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Формула Зигмунда для коэффициента распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.

1.4. Электровакуумные приборы на основе холодной эмиссии электронов.

1.5. Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии.

1.6. Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.

### **Раздел 2. Электронно-лучевая электроника**

2.1. Корпускулярная оптика. Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике. Оптический и механический подходы при решении задач корпускулярной оптики.

- 2.2. Основные типы электростатических линз.
- 2.3. Электронные микроскопы. Общие принципы работы.
- 2.4. Динамика заряженной частицы в переменных полях.

### **Раздел 3. Вакуумная электроника**

- 3.1. Формирование электронных пучков большой плотности. Пушка Пирса. Ограничение тока пространственным зарядом.
- 3.2. Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения.
- 3.3. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах.

### **Раздел 4. Электроника твердого тела**

- 4.1. Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном).
- 4.2. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники.
- 4.3. Явления переноса заряда в твердом теле.
- 4.4. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и рекомбинация. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности.
- 4.5. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум. Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления.
- 4.6. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление с помощью р-п переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода. Туннельный эффект в р-п переходах. Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение.

4.7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Фотоэффект в p-n переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.

4.8. Интегральные микросхемы (ИС). Элементы ИС: транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы в составе ИС. Классификация ИС по конструктивно-технологическому и функциональному решению. Цифровые и аналоговые ИС.

## **Раздел 5. Нанoeлектроника**

5.1. Особенности энергетического спектра электронов в системах пониженной размерности. Прохождение электронов через многобарьерные квантовые структуры. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация сверхрешеток.

5.2. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр систем пониженной размерности.

5.3. Распределение квантовых состояний в системах пониженной размерности. Особенности распределения плотности состояний в двумерных (2-D) системах. Зависимость и положение уровня Ферми от концентрации и толщины пленки для 2-D систем. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках.

5.4. Экранирование электрического поля в структурах пониженной размерности. Приповерхностная область пространственного заряда (ОПЗ). Разновидности ОПЗ.

5.5. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле. Проводимость двумерного электронного газа Дробный квантовый эффект Холла.

5.6. Особенности фононного спектра в системах пониженной размерности.

5.7. Особенности процессов переноса носителей заряда. Всплеск во времени дрейфовой скорости при воздействии электрического поля. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных приборах. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Ассиметричные структуры в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома.

5.8. Туннелирование через квантоворазмерные структуры. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой. ВАХ многослойных структур.

5.9. Рассеяние электронов в квантовых проволоках. Транзисторные структуры на основе квантовых проволок. Квантовые точки, Приборные структуры на квантовых точках. Энергонезависимая память.

5.10. Одноэлектроника. Физические основы одноэлектроники. Практическая реализация одноэлектронных приборов.

5.11. Углеродные нанотрубки. Перенос электронов в углеродных нанотрубках. Приборы на основе нанотрубок.

## **Раздел 6. Функциональная электроника**

6.1. Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства: на ферритах и на тонких пленках.

6.2. Акустоэлектроника: взаимодействие электронов с длинноволновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн. Акустоэлектрические явления на поверхностных волнах и их практические применения – малогабаритные линии задержки, усилители и генераторы электрических колебаний.

6.3. Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Приборы молекулярной электроники.

6.4. Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры высокотемпературных сверхпроводников. Макроскопические квантовые эффекты сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Типы джозефсоновских переходов. Аналоговые устройства на эффектах Джозефсона.

## **Раздел 7. Сенсорная электроника**

7.1. Активные и пассивные сенсоры. Классификация сенсоров по принципу действия (физические, химические, биологические). Основные виды датчиков: температурные, оптические, давления, влажности, газовые. Материалы для сенсорики, сенсорики и нанотехнологии.

7.2. Физические сенсоры. Физические основы работы температурных датчиков. Основы работы датчиков давления. Основы работы датчиков

влажности и газовых анализаторов. Твердотельные газовые датчики. Физические основы работы магнитных датчиков. Интегральные магнитные датчики. Фоточувствительные системы на основе структур «органика на неорганике».

7.3. Химические сенсоры. Определение химического сенсора. Классификация химических сенсоров: электрохимические, оптические, масс-чувствительные, теплочувствительные, биосенсоры.

7.4. Биосенсоры. Физические и химические явления, используемые для создания биосенсоров.

7.5. Микросенсорика. Микро-электро-механические (МЭМС) и микро-опто-электро-механические системы (МОЭМС). Нано-электро-механические системы (НЭМС).

7.6. Методы и средства для регистрации заряженных частиц. Газовые ионизационные детекторы частиц, трековые детекторы на основе органических и неорганических материалов, кремниевые поверхностно-барьерные детекторы.

## **Раздел 8. Силовая электроника**

8.1. Физические процессы, характерные для силовых полупроводниковых приборов. Перенос носителей заряда в сильных электрических полях. Лавинный пробой планарного р-п перехода. Особенности ВАХ силовых диодов. Переходные процессы в силовых диодах.

8.2. Мощные биполярные транзисторы. Особенности ВАХ мощных транзисторов. Их частотная характеристика. Переходные процессы. Высокочастотные транзисторы. Тепловые свойства транзисторов. Нестабильность характеристик.

8.3. Мощные полевые транзисторы с затвором в виде р-п перехода. Мощные МОП-транзисторы.

8.4. Тиристор и его ВАХ.

8.5. Силовые оптоэлектронные приборы. Силовая солнечная энергетика.

## **Раздел 9. Физические основы вакуумной и плазменной электроники**

9.1. Процессы взаимодействия мощных электронных потоков с электромагнитными полями.

9.2. Релятивистская сильноточная электроника СВЧ. Катоды со взрывной эмиссией.

9.3. Черенковские, ондуляторные, магнитотормозные релятивистские генераторы и усилители.

9.4. Формирование и фокусировка сильноточных электронных потоков в вакуумной плазме.

## Литература

### а) основная литература

1. Арцимович Л.А. и Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.: [Учебное пособие для физ. специальностей ун-тов]. / Арцимович Л.А. и Лукьянов С.Ю. - М. : Наука, 1972. - 224с. с илл.
2. Сборник задач и расчётов по физической электронике: [учеб. пособие для физ. и радиофиз. фак. ун-тов УССР] / Левитский, Сергей Михайлович. - Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1964. - 211 с. ; 21 см. + черт. - 0-37.
3. Основы физики и техники ускорителей: учебное пособие для физ. спец. вузов, в 3-х томах. Т. 2.: Циклические ускорители / Лебедев, Андрей Николаевич, Шальнов, Александр Всеволодович. - М.: Энергоиздат, 1982. - 239 с. : ил.; 21 см. - 0-0.
4. Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. / Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. - М. : "Наука.", 1973. - 255с.
5. Эмиссионная электроника / Н. Н. Коваль; под ред. Ю.С. Протасова. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 595 с. - (Серия Электроника. Прикладная электроника/ под общ. ред. И.Б. Федорова). - Библиогр.: с. 593. - ISBN 978-5-7038-3347-6: 1500-00.
6. Антонова О.А., Глудкина О.П. и др. Электроника и основы электроники. /Под ред. О.П. Глудкина. - М.: Высшая школа, 1993. - 445 с.
7. Валюхов Д.П. Физические основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.П. Валюхов, Р.В. Пигулев. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. — 135 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63253.html> (дата обращения: 20.10.2021).
8. Чехлова Т.К. Учебное пособие по курсу «Физическая электроника» для преподавания с использованием мультимедийных технологий [Электронный ресурс] / Т.К. Чехлова. — Электрон. текстовые данные. — М.: Российский университет дружбы народов, 2013. — 124 с. — 978-5-209-04770-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22155.html> (дата обращения: 20.10.2021).
9. Толмачев В.В. Физические основы электроники [Электронный ресурс] / В.В. Толмачев, Ф.В. Скрипник. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. — 496 с. — 978-5-93972-889-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16656.html> (дата обращения: 20.10.2021).

10. Аристов А.В. Физические основы электроники. Сборник задач и примеры их решения [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.В. Аристов, В.П. Петрович. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 100 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55211.html> (дата обращения: 20.10.2021).
11. Мамыкин А.И. Контактные явления в полупроводниках. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие по курсу «Физические основы электроники» / А.И. Мамыкин, А.А. Рассадина. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Университет ИТМО, 2014. — 38 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67224.html> (дата обращения: 20.10.2021).
12. Легостаев, Н.С. Твердотельная электроника: учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск: Эль Контент, 2011. - 244 с. - ISBN 978-5-4332-0021-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208951> (дата обращения: 20.10.2021).
13. Электронная и ионная спектроскопия твердого тела / Под ред. Л. Фирменса. М.: Мир, 2001.
  - б) дополнительная литература**
  1. Капцов, Н.А. Электроника: допущено в качестве учебного пособия для гос. университетов / Н. А. Капцов. - М.: Госиздат технико-теоретической, 1953. - 467 с. - 0-0.
  2. Мутаева, Гайбат Ихласовна. Лекции по эмиссионной электронике : учеб. пособие / Мутаева, Гайбат Ихласовна; Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2006. - 81 с. - 46-50.
  3. Классификация и параметры катодов: учеб. пособие / [сост. Г.И. Мутаева, Х.И. Аджиева]; Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т. - [2-е изд., испр. и доп.]. - Махачкала: Изд-во ДГУ, 2009. - 28 с. - 19-00.
  4. Инжекционная газовая электроника / [Ю.И. Бычков, Ю.Д. Королев, Г.А. Месяц и др.]; Отв. ред. О.Б. Евдокимов; [Предисл. Г.А. Месяца]. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. - 239 с. : ил.; 21 см. - Библиогр.: с. 220-237 (301 назв.). - В пер.: 2-70.
  5. Давыдов, В.Н. Физические основы оптоэлектроники: учебное пособие / В.Н. Давыдов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск: ТУСУР, 2013. - 139 с.: ил., схем. - Библиогр. в кн.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480528> (дата обращения: 26.06.2018).
  6. Максоров Е.Г. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние // УФН. 2000. Т. 170.
  7. Анализ поверхности методами Оже и РФЭС / Под ред. А. Бригса, М.В. Сиха. М.: Мир, 1987.

8. Пермин Е.В., Сейдман А.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М.: Техносфера, 2010 г.
9. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1984.

**в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г. Срок действия договора со 02.10.2020 г. по 02.10.2021 г.
2. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru). Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. Срок действия договора с 01.10.2020 до 30.09.2021 г. 537 наименований.
3. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
4. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
5. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
6. **Web of Science:** Web of Science Core Collection базы данных Clarivate. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 07.07.2020 г. № 692 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Clarivate в 2020 г. [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com)
7. **ProQuest Dissertation Theses Global** База данных ProQuest Dissertations and Theses Global Full Text компании ProQuest. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1268 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных ProQuest Dissertations and Theses Global Full Text компании ProQuest в 2020 г. <http://search.proquest.com/>
8. **Wiley Online Library**  
Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2020 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>
9. **Международное издательство Springer Nature**  
Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных

издательства Springer Nature в 2020 г. на условиях национальной подписки  
<https://link.springer.com/>

10. **ЭР Кембриджского центра структурных данных.** Базы данных CSD-Enterprise компании The Cambridge Crystallographic Data Centre Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 02.11.2020 г. № 1226 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных компании The Cambridge Crystallographic Data Centre в 2020 г. на условиях национальной подписки <http://webcsd.ccdc.cam.ac.uk/>.
11. **Журнал Science (AAAS)** <http://www.sciencemag.org/>
12. **Журналы издательства SAGE Publications** <http://journals.sagepub.com/>
13. **Библиотека РФФИ** <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>
14. **Университетская информационная система РОССИЯ**  
<https://uisrussia.msu.ru/>
15. **Единое окно** <http://window.edu.ru/>
16. **Дагестанский региональный ресурсный центр** <http://rrc.dgu.ru/>
17. **Нэикон** <http://archive.neicon.ru/>
18. **Федеральный портал «Российское образование»** <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
19. **Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов»** <http://school-collection.edu.ru/>
20. **Российский портал «Открытого образования»** <http://www.openet.edu.ru>
21. **Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета** <http://edu.icc.dgu.ru>
22. **Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета** <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки [elibrary.ru](http://elibrary.ru)).