

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ



Председатель приемной комиссии

Ректор

Д.А. Ендовицкий

27 октября 2023

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПРИ ПРИЕМЕ  
НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ МАГИСТРАТУРЫ**

**11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

Воронеж

2023

Программа разработана на основе ФГОС высшего образования по программе бакалавриата 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

Вступительное испытание для поступающих в магистратуру проводится в объеме Государственного экзамена по физике для бакалавров физики и по дополнительным вопросам программы бакалавриата, соответствующим выбранной программе магистерской подготовки. Вопросы КИМов позволяют оценить качество знаний, необходимых для освоения программы подготовки магистра по избранному направлению.

### **Аннотации к программам по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника (очная форма обучения)**

#### **1. Наименование магистерской программы: «Интегральная электроника и наноэлектроника»**

##### **Руководитель магистерской программы:**

д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физики полупроводников и микроэлектроники **Бормонтов Е.Н.**

##### **Краткое описание магистерской программы:**

В рамках магистерской программы предусмотрено изучение квантовой физики наносистем, нелинейной динамики и самоорганизации в наносистемах; плазменных и зондовых нанотехнологий, углеродных наноматериалов, пористых материалов и нанокompозитов; физики наноэлектронных приборов, элементной базы наноэлектроники; молекулярной электроники, квантовой и оптоэлектроники, микро- и наносистемной техники; моделирования приборов наноэлектроники в специализированных пакетах; принципов архитектуры и реализации квантовых и нейрокомпьютеров.

#### **2. Наименование магистерской программы: «Нанотехнология в электронике»**

##### **Руководитель магистерской программы:**

д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физики твердого тела и наноструктур **Домашевская Э.П.**

##### **Краткое описание магистерской программы:**

В рамках магистерской программы предусмотрено изучение квантовой физики наносистем, нелинейной динамики и самоорганизации в наносистемах; плазменных и зондовых технологий, углеродных наноматериалов, пористых материалов и нанокompозитов; физики наноэлектронных приборов, элементной базы наноэлектроники, молекулярной электроники; технологии наноструктур и наноматериалов; наноэлектроники, фотоники и спинтроники; методов нанодиагностики, синхротронных исследований наноструктур, ИК-спектроскопии систем с пониженной размерностью.

#### **3. Наименование магистерской программы: «Микроэлектроника и твердотельная электроника»**

##### **Руководитель магистерской программы:**

д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физики полупроводников и микроэлектроники **Бормонтов Е.Н.**

##### **Краткое описание магистерской программы:**

В рамках магистерской программы предусмотрено изучение квантовой физики наносистем; технологии ультрабольших интегральных схем, элементной базы ультрабольших интегральных схем; микросхемотехники, мощной полупроводниковой электроники, молекулярной электроники, приборов оптоэлектроники, микросистемной техники; искусственных нейронных сетей; основ фотоники, основ спинтроники;

моделирование приборов ультрабольших интегральных схем в специализированных пакетах.

#### **4. Наименование магистерской программы:**

**«Физика наносистем»**

#### **Руководитель магистерской программы:**

д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физики твердого тела и наноструктур **Домашевская Э.П.**

#### **Краткое описание магистерской программы:**

В рамках магистерской программы предусмотрено изучение квантовой физики наносистем; наномасштабирования, квантоворазмерных эффектов; открытых кооперативных систем, макроскопических свойств наносистем; теоретической и компьютерной физики наносистем; технологии наноструктур и наноматериалов; наноэлектроники, фотоники и спинтроники; методов нанодиагностики, синхротронных исследований наноструктур, ИК-спектроскопии систем пониженной размерности; моделирование наносистем.

#### **Вступительное испытание по дисциплине «Электроника и наноэлектроника»**

**Форма вступительного испытания:** письменный экзамен

#### **Разделы:**

1. Квантовая механика
2. Физика конденсированного состояния
3. Физика низкоразмерных систем

### **Программа вступительных испытаний для поступающих по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

#### **Основные разделы**

#### **КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

##### **1. Наименование: КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

**2. Составители:** Алмалиев А.Н. – к.ф.-м.н, доцент кафедры теоретической физики

**3. Основные знания, умения и навыки, которыми должен обладать поступающий:** наличие личностных качеств, которые позволят им осуществлять следующие виды профессиональной деятельности: научно-исследовательская, проектно-конструкторская, проектно-технологическая, организационно-управленческая и научно-педагогическая, а также сформированных общекультурных (универсальных) и профессиональных (обще-профессиональных, научно-исследовательских, проектно-конструкторских, проектно-технологических, организационно-управленческих и научно-педагогических) компетенций. Кроме того, для успешного освоения данной образовательной программы подготовки магистра абитуриент должен обладать соответствующими компетенциями в области физики, математики и информатики в объёме государственных образовательных стандартов, уметь применять изученные физико-математические методы для анализа процессов в электронике и наноэлектронике.

##### **4. Тематический план:**

1. Экспериментальные обоснования квантовой теории. Математический аппарат квантовой механики.
2. Операторы физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов.

3. Состояние физической величины. Значения физических величин. Коммутационные соотношения. Интегралы движения.
4. Стационарные состояния. Спектр системы.
5. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция, матрица плотности. Физический смысл волновой функции.
6. Принцип суперпозиции. Принцип неопределенности.
7. Описание эволюции квантово-механических систем. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Законы сохранения в квантовой механике.
8. Уравнение Шредингера в координатном представлении. Общие свойства одномерного движения. Дискретный спектр. Потенциальные ямы.
9. Одномерный  $\delta$ -потенциал.
10. Одномерная задача рассеяния. Непрерывный спектр. Потенциальные барьеры. Коэффициент прохождения.
11. Гармонический осциллятор
12. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Орбитальный и спиновый моменты импульса. Матрицы Паули. Полный момент импульса системы
13. Задача двух тел. Центральное-симметричное поле
14. Движение в центральном поле. Основные положения теории атома водорода: волновые функции и уровни энергии.
15. Предмет теории возмущений. Поправки к собственным значениям и волновым функциям в теории возмущений.
16. Вариационный принцип. Квазиклассическое приближение.
17. Квантовая динамика. Нестационарное уравнение Шредингера.
18. Переходы в квантово-физических системах. Золотое правило Ферми.
19. Стационарная теория возмущений. Эффект Штарка.
20. Системы тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принципы тождественности и принцип Паули.
21. Излучение света атомами и молекулами. Ширина линии излучения. Спонтанные и вынужденные переходы.
22. Электронные состояния. Принцип Франка-Кондона. Электронные колебательные и вращательные спектры.

## 5. Список рекомендуемой литературы:

### Основная

1. Давыдов А.С. Квантовая механика : [учебное пособие для студентов ун-тов и техн. вузов] / А.С. Давыдов . — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011 .— 703 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики : Учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов : В 5 т. / Д.В. Сивухин .— М. : ФИЗМАТЛИТ : Изд-во МФТИ, 2002 -.Т.4: Оптика .— 2002 .— 791 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики : учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов : в 5 т. / Д.В. Сивухин .— М. : ФИЗМАТЛИТ : Изд-во МФТИ, 2002 -.Т.5: Атомная и ядерная физика . — 2002 .— 782 с.
4. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики : учебное пособие для вузов / Д. И. Блохинцев .— СПб. : Лань, 2004 .— 664 с.
5. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц : учебное пособие для студ. физ. фак. класс. ун-тов и других вузов, обуч. по специальности "Ядер. физика" и направлению "Физика" / И. М. Капитонов .— М. : КомКнига, 2006 .— 327с.

### Дополнительная

6. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц .— М. : ФИЗМАТЛИТ. - Т.8: Электродинамика сплошных сред : [учебное пособие для студ. физ. специальностей ун-тов] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; Под ред. Л.П. Питаевского .— 2005 .— 651 с.

7. Фабрикант В.А. Физика. Оптика. Квантовая электроника. / В.А. Фабрикант. – М. : Изд-во МЭИ, 2000. – 209 с.

#### 6. Образец контрольно-измерительного материала:

№ п/п	Текст контрольно-измерительного материала
1	Экспериментальные обоснования квантовой теории. Математический аппарат квантовой механики.
2	Операторы физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов.
3	Состояние физической величины. Значения физических величин. Коммутационные соотношения. Интегралы движения.

### ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

#### 1. Наименование: ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

2. Составители: Домашевская Э.П. – д.ф-м.н., профессор, зав.кафедрой физики твердого тела и наноструктур

#### 3. Основные знания, умения и навыки, которыми должен обладать абитуриент:

к основным требованиям, предъявляемым к знаниям и умениям абитуриентов, относятся наличие у последних личностных качеств, которые позволят им осуществлять следующие виды профессиональной деятельности: научно-исследовательская, проектно-конструкторская, проектно-технологическая, организационно-управленческая и научно-педагогическая, а также сформированных общекультурных (универсальных) и профессиональных (общепрофессиональных, научно-исследовательских, проектно-конструкторских, проектно-технологических, организационно-управленческих и научно-педагогических) компетенций. Кроме того, для успешного освоения данной образовательной программы подготовки магистра абитуриент должен обладать соответствующими компетенциями в области физики, математики и информатики в объёме государственных образовательных стандартов, уметь применять изученные физико-математические методы для анализа процессов в электронике и нанoeлектронике.

#### 4. Тематический план:

1. Уравнение Шрёдингера для кристалла.
2. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
3. Одноэлектронное приближение
4. Зоны Бриллюэна. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна кубических кристаллов.
5. Периодические граничные условия Борна-Кармана. Число электронных состояний в зоне.
6. Заполнение зон электронами. Металлы. Диэлектрики. Полупроводники.
7. Движение электрона в кристалле.
8. Эффективная масса.
9. Изоэнергетические поверхности
10. Равновесные концентрации электронов и дырок в зонах (общий случай)
11. Невырожденные и сильновырожденные полупроводники. Аппроксимации интеграла Ферми
12. Уравнение электронейтральности.
13. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации носителей заряда (собственный полупроводник)
14. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Соотношения Эйнштейна.
15. Разновидности приповерхностной ОПЗ полупроводника.
16. Адиабатическое приближение и одноэлектронное приближение.

17. Вывод уравнения Хартри-Фока с кристаллическим потенциалом. Физический смысл оператора Хартри-Фока. Зонное приближение
18. Акустические и оптические ветви колебаний. Нормальные колебания.
19. Квантование колебания кристаллической решетки. Фононы.
20. Ангармонизм колебаний кристаллической решетки. Тепловое расширение. Фазовые переходы.
21. Электрон-фононное взаимодействие. Полярон.
22. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонного приближения. Прямые и не прямые переходы.
23. Неравновесные носители заряда и квазиуровни Ферми.

## 5. Список рекомендуемой литературы:

### Основная

1. Павлов П.В. Физика твердого тела : [учебник для студ. вузов, обуч. по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"] / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов .— Москва : ЛЕНАНД, 2015 .— 493 с.
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г.И. Епифанов .— Изд. 3-е, испр. — СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 287 с.
3. Матухин В.Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков .— СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 218 с.

### Дополнительная

4. Абрикосов А. А. Основы теории металлов / А.А. Абрикосов ; [под ред. Л.А. Фальковского] .— М. : Физматлит, 2009 .— 598 с.
5. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год : сборник / под ред. П.П. Мальцева .— М. : Техносфера, 2008 .— 430 с.

## 6. Образец контрольно-измерительного материала (КИМ)

№ п/п	Текст контрольно-измерительного материала
1	Уравнение Шрёдингера для кристалла.
2	Вывод уравнения Хартри-Фока с кристаллическим потенциалом. Физический смысл оператора Хартри-Фока. Зонное приближение.
3	Акустические и оптические ветви колебаний. Нормальные колебания.

## ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

### 1. Наименование: ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

**2. Составители:** Бормонтов Е.Н. – д.ф.м.н., профессор, зав.кафедрой физики полупроводников и микроэлектроники

**3. Основные знания, умения и навыки, которыми должен обладать поступающий:** наличие личностных качеств, которые позволят им осуществлять следующие виды профессиональной деятельности: научно-исследовательская, проектно-конструкторская, проектно-технологическая, организационно-управленческая и научно-педагогическая, а также сформированных общекультурных (универсальных) и профессиональных (обще-профессиональных, научно-исследовательских, проектно-конструкторских, проектно-технологических, организационно-управленческих и научно-педагогических) компетенций. Кроме того, для успешного освоения данной образовательной программы подготовки магистра абитуриент должен обладать соответствующими компетенциями в области физики, математики, и информатики в объёме государственных образовательных стандартов, уметь активно использовать современный математический аппарат (математический анализ, теорию дифференциальных уравнений) и теоретическую физику (электродинамика, электродинамика сплошных сред, оптика) для решения конкретных научно-

практических задач, связанных с электроникой и наноэлектроникой, уметь применять полученные знания для разработки технических устройств.

#### 4. Тематический план:

1. Основные типы низкоразмерных квантовых структур.
2. Полупроводниковые сверхрешетки.
3. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом (МДП-структуры, одиночные и двойные гетероструктуры,  $\delta$ -слои).
4. Принцип размерного квантования и условия наблюдения квантовых эффектов.
5. Энергетический спектр и плотность квантовых состояний в двумерной электронной системе.
6. Энергетический спектр и плотность квантовых состояний в одномерной и нульмерной системах.
7. Статистика носителей заряда в двумерной структуре. Расчет концентрации.
8. Эффект резонансного туннелирования. Условия для реализации туннелирования с единичной вероятностью.
9. ВАХ двухбарьерной квантовой структуры. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы.
10. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.
11. Резонансное туннелирование в сверхрешетках. ВАХ многобарьерных квантовых структур.
12. Кулоновская блокада туннелирования. Условия наблюдения эффекта.
13. Гигантское магнетосопротивление и туннельное магнетосопротивление.
14. Эффект «всплеска» дрейфовой скорости. Баллистический транспорт и его особенности в двумерных структурах.
15. Гетеролазеры с квантовыми ямами и квантовыми точками.
16. Квантово-размерные эффекты и условия их наблюдения.
17. Целочисленный квантовый эффект Холла.
18. Дробный квантовый эффект Холла и его интерпретация.
19. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью.

#### 5. Список рекомендуемой литературы:

Основная литература:

1. Демиховский В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В. Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер .— М. : Логос, 2000 .— 246 с.
2. Физика низкоразмерных систем : Учебное пособие для студ. вузов / А. Я. Шик, Л. Г. Бакуев, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков.— СПб. : Наука, 2001 .— 154 с.
3. Игнатов А.Н. Классическая электроника и наноэлектроника : учебное пособие для студ. вузов / А.Н. Игнатов, Н.Е. Фадеева, В.Л. Савиных .— М. : Флинта : Наука, 2009 .— 725 с.
4. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники : учебное пособие для студ. вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин .— М. : Физматкнига : Логос, 2006 .— 494 с.
5. Парфенова Е.Л. Физические основы микро- и наноэлектроники : учебное пособие / Е.Л. Парфенова, Л.А. Терентьева, М.Г. Хусаинов .— Ростов-на-Дону : Феникс, 2012 .— 234 с.
6. Лозовский В.Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. – СПб.: Лань, 2008. – 336 с.

Дополнительная литература:

7. Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю.А.Чаплыгина. – М.: Техносфера, 2005. – 448 с.
8. Наноэлектроника. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. — Ч. 1: Введение в наноэлектронику / [К.А. Валиев и др.] — 2009 .— 719 с.

9. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Г.Л. Киселев .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011 .— 313 с

#### 6. Образец контрольно-измерительного материала:

№ п/п	Текст контрольно-измерительного материала
1	Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом (МДП-структуры, одиночные и двойные гетероструктуры, $\delta$ -слои).
2	Кулоновская блокада туннелирования. Условия наблюдения эффекта.
3	Гетеролазеры с квантовыми ямами и квантовыми точками.

#### Критерии оценки качества подготовки поступающего:

91-100 баллов — даны полные, исчерпывающие ответы на все вопросы, в том числе и на дополнительные, абитуриент свободно владеет необходимыми знаниями и навыками.

71-90 баллов — даны полные ответы на поставленные вопросы, однако абитуриент испытывает затруднения при ответе на дополнительные вопросы, при изложении материала имеются математические неточности.

40-70 баллов — в ответе отражены лишь основные законы, методы, экспериментальные данные, абитуриент испытывает значительные затруднения при ответах на дополнительные вопросы.

Суммарное количество баллов вступительного испытания состоит из суммы баллов по вопросам из программы вступительных испытаний. Максимальная оценка вступительного испытания составляет 100 баллов. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов.

Время, отводимое на вступительное испытание - 160 минут.