

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Дополнительные главы по физике полупроводников

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы

магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Дополнительные главы по физике полупроводников» относится к блоку ФТД «Факультативы», является факультативной дисциплиной, преподается на первом году обучения, во втором семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

1. формирование у студентов представления о современном состоянии физики полупроводников, о современных достижениях в формировании;
2. формирование у студентов представления о современных достижениях в создании и изучении свойств низкоразмерных полупроводниковых систем и приборах на их основе, а также теоретических методах описания свойств этих систем;
3. формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	<i>ПК-3.1. Знание основных законов физики</i> <i>ПК-3.2. Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности</i> <i>ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности и зарубежного опыта</i>	(ПК-3) Знать основные свойства низкоразмерных полупроводниковых систем и основные модели для их описания; (ПК-3) Уметь использовать новейшие достижения в современной физике полупроводников в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе; (ПК-3) Владеть практическими методами решения задач физики полупроводников.	Индивидуальные собеседования	Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72

в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	34
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	зачет

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1 Модель Кейна и её использование для описания зонного спектра полупроводников	10	2	2		4	6
Тема 2 Гетеропереходы. Квантовые ямы, квантовые провода, квантовые точки. Графен.	10	2	2		4	6
Тема 3. Оптические свойства низкоразмерных полупроводниковых систем.	11	2	2		4	7
Тема 4. Полупроводниковые лазеры. Квантово-каскадные лазеры. Полупроводниковые модуляторы и детекторы на квантовых ямах	15	4	4		8	7
Тема 5. Основные свойства сверхрешеток. Резонансное туннелирование. Резонансно туннельный диод.	11	2	2		4	7
Тема 6. Квантовый эффект Холла. Основные представления об электронном спектре сильно легированных полупроводников	14	4	4		8	6
в т.ч.текущий контроль			2			
Промежуточная аттестация – зачет с оценкой					2	38

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Зачет	
Зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.
Не зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

– *индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).*

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии: практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– *выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).*

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1 Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

Задача 1

Используя приближение сильной связи найти гамильтониан, описывающий движение электронов в графене, электронный спектр и оператор скорости.

Задача 2

Найти уравнения, описывающие межзонное туннелирование электронов в графене в присутствии электрического поля.

Задача 3

Найти выражение для безразмерного коэффициента поглощения света падающего нормально на квантовую яму. Используя модель Кейна, сделать численную оценку полученной величины.

Задача 4

Используя метод матрицы распространения и приближение эффективной массы найти уравнение для нахождения электронного спектра в сверхрешетке.

Задача 5

Найти интегралы движения дырок в однородном электрическом поле в изотропном приближении для гамильтониана Латтинджера.

Задача 6

Найти связь между матричными межподзонами элементами компонент оператора координаты в квантовой яме. Воспользоваться приближением эффективной массы. Поверхность постоянной энергии электрона полагать эллипсоидом вращения, с осью вращения, наклоненной к нормали к квантовой яме на заданный угол.

Задача 7

Используя метод матрицы распространения найти выражение для зависимости коэффициента туннелирования от энергии электрона в симметричной двухбарьерной структуре.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

1. Кр- метод описания зонной структуры.
2. Описание валентной зоны с помощью кр-метода. Гамильтониан Латтинджера.
3. Основные приближения, используемые в модели Кейна. Спин-орбитальное взаимодействие в модели Кейна.
4. Правила отбора для межзонных матричных элементов оператора импульса в модели Кейна.
5. Гетеропереходы. Зонная структура полупроводников с гетеропереходами. Современные технологии роста полупроводников с гетеропереходами.
6. Квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые провода, квантовые точки в полупроводниковых гетероструктурах.
7. Зонная структура и оптические свойства графена.
8. Спектр сверхрешетки в приближении сильной связи. Осцилляции Ванье-Штарка.
9. Метод матрицы распространения для решения задач квантовой механики.
10. Нахождение спектра электронов в квантовых ямах и сверхрешетках в модели Кейна.
11. Межзонные оптические переходы в квантовых ямах. Правила отбора.
12. Коэффициент межзонного поглощения света в квантовых ямах. Особенности экситонных эффектов в квантовых ямах.
13. Межподзонное поглощение в квантовых ямах. Правила отбора. Описание межподзонного поглощения с помощью матрицы плотности.
14. Деполяризационный сдвиг в междподзонном поглощении света в квантовых ямах.

15. Межзонные полупроводниковые лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Лазеры с вертикальным резонатором. Микродисковые лазеры.
16. Детекторы и модуляторы света на квантовых ямах.
17. Квантово-каскадные лазеры.
18. Резонансное туннелирование. Описание резонансного туннелирования с помощью метода матриц распространения.
19. Резонансно-туннельный диод.
20. Квантовый эффект Холла.
21. Электронные состояния в сильно легированных полупроводниках. Переход металл-диэлектрик. Переходы Мотта и Андерсона. Модель структурного беспорядка.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке, некоторые из которых представлены на сайте физического факультета ННГУ, электронной библиотеке кафедры ИТФИ в электронном виде.

Лекционный класс снабжен компьютером с проектором, что позволяет не только демонстрировать слайды, но и ряд вычислений проводить прямо в процессе чтения лекции

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

профессор высшей школы общей и прикладной физики, д. ф.-м. н. В.Я. Алешкин.

Зав. каф. "Физика наноструктур и наноэлектроника" _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № 6/н.