

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Дополнительные главы по физике полупроводников

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.03 Дополнительные главы по физике полупроводников относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знать основные представления о физике полупроводниковых низкоразмерных систем и квантовых явлениях в полупроводниках Уметь использовать современные модели для описания физических свойств низкоразмерных систем в научно- исследовательской работе. Владеть навыками и методами решения практических задач физики полупроводников. ПК-1.2: Знать основные представления о физике полупроводниковых низкоразмерных систем и квантовых явлениях в полупроводниках Уметь использовать современные модели для описания физических свойств низкоразмерных систем в научно- исследовательской работе. Владеть навыками и методами решения практических задач физики полупроводников.	Задачи	Зачёт: Задачи Контрольные вопросы

<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать основные свойства низкоразмерных полупроводниковых систем и основные модели для их описания; Уметь использовать новейшие достижения в современной физике полупроводников в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе;</p> <p>Владеть практическими методами решения задач физики полупроводников;</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать основные свойства низкоразмерных полупроводниковых систем и основные модели для их описания; Уметь использовать новейшие достижения в современной физике полупроводников в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе;</p> <p>Владеть практическими методами решения задач физики полупроводников;</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать основные свойства низкоразмерных полупроводниковых систем и основные модели для их описания; Уметь использовать новейшие достижения в современной физике полупроводников в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе;</p> <p>Владеть практическими методами решения задач физики полупроводников;</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать основные свойства низкоразмерных полупроводниковых систем и</p>	<p>Задачи</p>	<p>Зачёт: Задачи Контрольные вопросы</p>
---	--	---	---------------	--

		основные модели для их описания; Уметь использовать новейшие достижения в современной физике полупроводников в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе; Владеть практическими методами решения задач физики полупроводников;		
--	--	--	--	--

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):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Тема 1. Модель Кейна и её использование для описания зонного спектра полупроводников	11	5		5	6
Тема 2. Гетеропереходы. Квантовые ямы, квантовые провода, квантовые точки. Графен	11	5		5	6
Тема 3. Оптические свойства низкоразмерных полупроводниковых систем.	12	5		5	7

Тема 4. Полупроводниковые лазеры. Квантово-каскадные лазеры. Полупроводниковые модуляторы и детекторы на квантовых ямах	12	5		5	7
Тема 5. Основные свойства сверхрешеток. Резонансное туннелирование. Резонансно туннельный диод	11	4		4	7
Тема 6. Квантовый эффект Холла. Основные представления об электронном спектре сильно легированных полупроводников	14	8		8	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии.

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Институте физики микроструктур Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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.

Типовые задачи, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1 Получить выражение для деполяризационного сдвига линии междподзонного поглощения света квантовой ямой.

Задача 2 Найти выражение для сдвига Бурштейна-Мосса края межзонного поглощения света в квантовой яме при нулевой температуре.

Задача 3 Найти вольт-амперную характеристику сверхрешетки используя тау-приближение.

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 зачету 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 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Задача 1. Используя кр- метод найти связь между эффективной массой электрона в зоне проводимости, шириной запрещенной зоны и матричными элементами оператора импульса.

Задача 2. Используя коэффициенты Клебша-Гордана найти явное выражение для волновых функций p -типа с полным моментом $3/2$ и $1/2$.

Задача 3. Найти плотность состояний в зоне проводимости квантовой ямы полагая закон дисперсии электрона а) квадратичным, б) линейным.

Задача 4. Найти интегралы движения дырок в однородном электрическом поле пренебрегая анизотропией закона дисперсии.

Задача 5. Найти уравнения для определения вероятности межзонного туннелирования в графене в однородном электрическом поле.

Задача 6. Найти уравнения для описания туннелирования дырок из подзоны тяжелых дырок в подзону легких дырок в однородном электрическом поле в модели Латтинджера. Закон дисперсии полагать изотропным.

Задача 7. Пренебрегая экситонными эффектами найти зависимость коэффициента межзонного поглощения света квантовой ямой от энергии фотона. Законы дисперсии электронов и дырок полагать квадратичными.

Задача 8. Пренебрегая экситонными эффектами найти зависимость коэффициента межзонного поглощения света квантовым проводом от энергии фотона. Законы дисперсии электронов и дырок полагать квадратичными.

Задача 9. Найти матрицы перехода от координатного в волновое представление в методе матрицы распространения для электрона с квадратичным законом дисперсии.

Задача 10. Найти вид гамильтониана, описывающего расщепление Дрессельхауза электронном спектре квантовой ямы для электронов с малым значением квазиимпульса.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Задача 1. Найти выражение для матрицы распространения для двух-барьерной структуры, полагая заданными матрицы распространения через каждый барьер. Проанализировать зависимость коэффициента туннелирования от энергии электрона вблизи максимума.

Задача 2. Используя приближение сильной связи найти гамильтониан, описывающий движение электронов в графене, электронный спектр и оператор скорости.

Задача 3. Используя метод матрицы распространения и приближение эффективной массы найти уравнение для нахождения электронного спектра в сверхрешетке.

Задача 4. Найти связь между матричными межподзонными 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 5. Используя метод инвариантов написать гамильтониан для описания спин-орбитального взаимодействия в сильном электрическом поле (гамильтониан Рашбы).

Задача 6. Найти выражение для сдвига Бурштейна-Мосса края фундаментального поглощения света в квантовой яме с квадратичным законом дисперсии электронов и дырок при нулевой температуре. Концентрацию электронов считать заданной

Задача 7. Как используя свет можно генерировать электроны в зоне проводимости квантовой ямы с направлением спина вдоль нормали к квантовой ямы.

Задача 8. Объяснить появление падающего участка на вольт-амперной характеристике резонансно туннельного диода.

Задача 9. Используя приближение бесконечно глубокой ямы найти величину матричного элемента оператора координаты для перехода электрона из первой подзоны размерного квантования во вторую подзону.

Задача 10. Объяснить принцип работы квантового каскадного лазера.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы

		знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1. Найти вид оператора скорости в графене в окрестности К точки. Воспользоваться явным видом гамильтониана вблизи этой точки.

Задача 2. Найти правила отбора для межподзонных переходов в квантовой яме, помещенной в магнитное поле, направленной по её нормали.

Задача 3. Найти кинетические энергии электрона и дырки, рожденных при поглощении фотона с энергией 1.5 эВ в квантовой яме с шириной запрещенной зоны 1.45 эВ. Эффективные массы электронов и дырок считать равными 0.07 и 0.4 массы свободного электрона, соответственно.

Задача 4. Найти зависимость деполяризационного сдвига линии межподзонного поглощения света в квантовой яме от разности концентраций электронов на основной и возбужденной подзонах.

Задача 5. Найти выражение для безразмерного коэффициента поглощения света падающего нормально на квантовую яму. Считать зону проводимости пустой, а валентную зону заполненной электронами. Используя модель Кейна, сделать численную оценку полученной величины.

Задача 6. Найти правила отбора для межзонных и межподзонных переходов в прямоугольной квантовой яме с бесконечными стенками как для электронов так и для дырок

Задача 7. Используя приближение эффективной массы найти спектр электронов в квантовой яме германия с бесконечными стенками, выращенной на плоскости (001).

Задача 8. Найти связь химического потенциала и концентрации электронов в квантовой яме. Закон дисперсии электронов полагать квадратичным и считать, что все электроны располагаются только в нижней подзоне размерного квантования.

Задача 9. Найти выражение для коэффициента межзонного поглощения света в квантовой яме с учетом заполнения электронов зоны проводимости и валентной зоны (считать заданным химический потенциал).

Задача 10. Используя метод инвариантов и тот факт что тензор деформаций $d_{i,j}$ преобразуется как произведение $\rho_i \rho_j$ при преобразованиях системы координат, найдите гамильтониан взаимодействия дырок с деформационным потенциалом акустических фононов. Воспользуйтесь гамильтонианом Латтинджера

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 1. Объяснить принцип работы резонансно-туннельного диода.

Задача 2. Объяснить принцип работы полупроводникового лазерного диода с вертикальным резонатором.

Задача 3. Объяснить принцип работы квантово-каскадного лазера.

Задача 4. Объяснить принцип работы фотоприемника на квантовых ямах

Задача 5. Объяснить принцип работы модулятора на квантовых ямах

Задача 6. Объяснить появление плато в магнетосопротивлении в условиях квантового эффекта Холла.

Задача 7. Качественно описать зависимость плотности электронных состояний от энергии в квантовых ямах, квантовых проволоках и массивах квантовых точек

Задача 8. Объяснить принцип создания спин-поляризованных электронов с помощью света в квантовых ямах.

Задача 9. Правила отбора для оптических межзонных переходах в квантовых ямах.

Задача 10. Правила отбора для межподзонных оптических переходов в квантовых ямах

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «

Оценка	Критерии оценивания
	очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Описание валентной зоны с помощью кр-метода. Гамильтониан Латтинджера
2. Модель Кейна.
3. Зонная структура и оптические свойства графена.
4. Спектр сверхрешетки в приближении сильной связи. Осцилляции Ванье-Штарка
5. Межзонные оптические переходы в квантовых ямах. Правила отбора.
6. Коэффициент межзонного поглощения света в квантовых ямах. Особенности экситонных эффектов в квантовых ямах.
7. Межподзонное поглощение в квантовых ямах. Правила отбора. Описание межподзонного поглощения с помощью матрицы плотности.
8. Деполяризационный сдвиг в междподзонном поглощении света в квантовых ямах.
9. Детекторы и модуляторы света на квантовых ямах.
10. Квантово- каскадные лазеры.
11. Резонансно-туннельный диод.
12. Квантовый эффект Холла.
13. Электронные состояния в сильно легированных полупроводниках. Переход металл-диэлектрик. Переходы Мотта и Андерсона. Модель структурного беспорядка.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Правила отбора для межзонных матричных элементов оператора импульса в модели Кейна.
2. Гетеропереходы. Зонная структура полупроводников с гетеропереходами. Современные технологии роста полупроводников с гетеропереходами
3. Квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые провода, квантовые точки в полупроводниковых гетероструктурах.
4. Метод матрицы распространения для решения задач квантовой механики.
5. Нахождение спектра электронов в квантовых ямах и сверхрешетках в модели Кейна.
6. Межзонные полупроводниковые лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Лазеры с вертикальным резонатором. Микродисковые лазеры.
7. Резонансное туннелирование. Описание резонансного туннелирования с помощью метода матриц распространения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Бир Геннадий Левикович. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. - М. :

Наука, 1972. - 584 с. : с черт. - 2.66., 3 экз.

2. Ю Питер. Основы физики полупроводников = Fundamentals of Semiconductors / пер. с англ. И. И. Решиной ; под ред. Б. П. Захарчени. - М. : Физматлит, 2002. - 560 с. - ISBN 5-9221-0268-0 : 56.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Демиховский Валерий Яковлевич. Физика квантовых низкоразмерных структур / В. Я.

Демиховский, Г. А. Вугальтер. - М. : Логос, 2000. - 248 с. : ил. - ISBN 5-88439-045-9 : 25.00., 3 экз.

2. Физика низкоразмерных систем : учеб. пособие / под общ. ред. В. И. Ильина и А. Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 160 с. : ил. - (Новые разделы физики полупроводников). - Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-02-024966-1 : 20.00., 5 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1) Optics express <https://www.osapublishing.org/oe/home.cfm>

2) В.Я.Алешкин курс лекций Современная физика полупроводников.
http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin_lectures.pdf

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Алешкин Владимир Яковлевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.