



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

Общий факультет (Фрязино)

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала РТУ МИРЭА в г.
Фрязино

_____ Макарова Л.А.

«__» _____ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)
Физика низкоразмерных структур**

Читающее подразделение	базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники
Направление	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность	Проектирование и технология электронных приборов и устройств
Квалификация	бакалавр
Форма обучения	очная
Общая трудоемкость	4 з.е.

Распределение часов дисциплины и форм промежуточной аттестации по семестрам

Семестр	Зачётные единицы	Распределение часов							Формы промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	Самостоятельная работа	Контактная работа в период практики и (или) аттестации	Контроль	
7	4	144	32	0	16	60	2,35	33,65	Экзамен

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доцент, Веденеев Александр Александрович _____

доцент, Лобанова Александра Валериевна _____

Рабочая программа дисциплины

Физика низкоразмерных структур

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

составлена на основании учебного плана:

направление: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

направленность: «Проектирование и технология электронных приборов и устройств»

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от 30.08.2021 № 1

Зав. кафедрой Борисов Александр Анатольевич _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2022 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2023 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2024 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина «Физика низкоразмерных структур» имеет своей целью способствовать формированию у обучающихся компетенций, предусмотренных данной рабочей программой в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника с учетом специфики направленности подготовки – «Проектирование и технология электронных приборов и устройств».

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Направление:	11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность:	Проектирование и технология электронных приборов и устройств
Блок:	Дисциплины (модули)
Часть:	Обязательная часть
Общая трудоемкость:	4 з.е. (144 акад. час.).

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть компетенциями:

УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

ОПК-1 - Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

ОПК-2 - Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

ОПК-2 : Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

ОПК-2.1 : Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи

Знать:

- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации

Уметь:

- выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

Владеть:

- Рассматриваемыми возможными вариантами решения задач, оценивая их достоинства и недостатки

ОПК-2.2 : Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки

Знать:

- Методы определения ожидаемых результатов решения выделенных задач

Уметь:

- Формулировать в рамках поставленных целей проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение

Владеть:

- практическими навыками нахождения и анализа информации, необходимой для решения поставленной задачи

ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

ОПК-1.1 : Осваивает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

Знать:

- фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

Уметь:

- применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

Владеть:

- навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач

ОПК-1.2 : Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

Знать:

- физические законы и математические методы для решения задач в дисциплине физика низкоразмерных структур

Уметь:

- применять физические законы и математические методы для решения задач в дисциплине физика низкоразмерных структур

УК-1 : Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

УК-1.1 : Осваивает методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.

Знать:

- Методики поиска, сбора и обработки информации
- Актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности

Уметь:

- Применять методики поиска, сбора и обработки информации
- Осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников

УК-1.2 : Применяет методики поиска, сбора и обработки информации, осуществляет критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применяет системный подход для решения поставленных задач

Знать:

- Методы системного анализа

Уметь:

- Применять системный подход для решения поставленных задач

Владеть:

- Методикой системного подхода для решения поставленных задач

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

Знать:

- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации
- Методы системного анализа

- физические законы и математические методы для решения задач в дисциплине физика низкоразмерных структур
- фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы
- Методики поиска, сбора и обработки информации
- Актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности
- Методы определения ожидаемых результатов решения выделенных задач

Уметь:

- Формулировать в рамках поставленных целей проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение
- применять физические законы и математические методы для решения задач в дисциплине физика низкоразмерных структур
- выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования
- Осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников
- Применять методики поиска, сбора и обработки информации
- Применять системный подход для решения поставленных задач
- применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

Владеть:

- практическими навыками нахождения и анализа информации, необходимой для решения поставленной задачи
- Методикой системного подхода для решения поставленных задач
- навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач
- Рассматриваемыми возможными вариантами решения задач, оценивая их достоинства и недостатки

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При проведении учебных занятий организация обеспечивает развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений и лидерских качеств.

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Сем.	Часов	Компетенции
1. Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах				
1.1	Квантовое ограничение. (Лек). Двумерные квантовые системы. Уровни энергии электрона в бесконечно глубокой двумерной квантовой яме прямоугольной, треугольной и параболической формы. Энергетические уровни в квантовой яме конечной глубины.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение электронных энергетических уровней в квантовых ямах разных типов.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение электронных энергетических уровней в квантовых ямах разных типов.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2

1.5	Энергетический спектр электронов в системах пониженной размерности (Лек). Одномерные и нульмерные квантовые системы: Квантовые проволоки и квантовые точки. Электронные энергетические уровни в квантовой проволоке. Электронные энергетические уровни в квантовой точке. Приближение кубической и сферической формы. Люминесценция квантовых точек.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
1.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение электронных энергетических уровней в одномерных и нульмерных системах.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение электронных энергетических уровней в одномерных и нульмерных системах.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.9	Баллистический транспорт. (Лек). Методы расчета энергетического спектра носителей заряда в структурах различной размерности. Средняя длина пробега частицы при упругом и неупругом рассеянии энергии. Длина фазовой когерентности. Длина волны Ферми. Универсальная баллистическая проводимость. Квантовая единица проводимости. Квантовый точечный контакт.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.10	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение параметров структур с реализацией баллистического транспорта.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
1.11	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение параметров структур с реализацией баллистического транспорта.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.12	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
1.13	Туннелирование. (Лек). Взаимодействие квантовой частицы с потенциальным барьером. Ступенчатый барьер конечной высоты. Ступенчатый барьер бесконечной высоты. Барьер прямоугольной формы. Потенциальный барьер вида δ -функции. Общая информация о спиновых эффектах.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.14	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на взаимодействие квантовой частицы с потенциальными барьерами разных типов	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1

1.15	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на взаимодействие квантовой частицы с потенциальными барьерами разных типов	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
1.16	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2. Системы с квантовым ограничением				
2.1	Свободная поверхность и межфазные границы. (Лек). Свободная поверхность и межфазные границы. Реконструкция и релаксация поверхности. Основные реконструкции технологических поверхностей полупроводников. Сегрегация и диффузия на межфазных границах.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач по определению свойств структуры полупроводниковых поверхностей	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета по определению свойств структуры полупроводниковых поверхностей	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.5	Определение характеристик ОПЗ в термодинамическом равновесии. (Лек). Область пространственного заряда (ОПЗ) как низкоразмерная система, равновесные условия. Возникновение ОПЗ в ограниченных кристаллах. Основное уравнение ОПЗ. Электрическое поле в ОПЗ и на границах раздела. Типы ОПЗ. Приближение сильного обогащения и сильной инверсии. Слой истощения. Полный заряд ОПЗ. Дифференциальная емкость ОПЗ.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение характеристик ОПЗ в термодинамическом равновесии.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение характеристик ОПЗ в термодинамическом равновесии.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2

2.9	Характеристики ОПЗ в неравновесных условиях. (Лек). Область пространственного заряда (ОПЗ) как низкоразмерная система, неравновесные условия. Квазиравновесие в ОПЗ, коррекция основного уравнения. Квазиуровни Ферми. Фотоэдс ОПЗ. ЭДС Демблера. Фотоэдс поверхностных электронных состояний.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.10	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение характеристик ОПЗ в неравновесных условиях.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.11	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение характеристик ОПЗ в неравновесных условиях.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.12	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.13	Квантовые характеристики ОПЗ. (Лек). Классический размерный эффект по дебаевской длине. Квантоворазмерные эффекты в тонких пленках. Размерное квантование в ОПЗ.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1
2.14	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение квантовых характеристик ОПЗ.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.15	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение квантовых характеристик ОПЗ.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.16	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.17	Характеристики переноса свободных носителей заряда в тонких металлических пленках и ОПЗ. (Лек). Электронный перенос в тонких металлических пленках. Проводимость ОПЗ в монокристаллических полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда в ОПЗ	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.18	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение характеристик переноса свободных носителей заряда в тонких металлических пленках и ОПЗ.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.19	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение характеристик переноса свободных носителей заряда в тонких металлических пленках и ОПЗ.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1

2.20	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.21	Свойства структур с квантовым ограничением, налагаемым внутренним и внешним электрическим полем. (Лек). Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем: Квантовые колодцы. Модуляционно-легированные структуры. Дельта-легированные структуры. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем: Структуры металл/диэлектрик/полупроводник. Структуры с расщепленным затвором	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.22	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение свойств структур с квантовым ограничением, налагаемым внутренним и внешним электрическим полем.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
2.23	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета на определение свойств структур с квантовым ограничением, налагаемым внутренним и внешним электрическим полем.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
2.24	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3. Перенос носителей заряда в низкоразмерных структурах и приборы на их основе				
3.1	Квантовый эффект Холла. (Лек). Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров. Интерференция электронных волн. ВАХ низкоразмерных структур. Квантовый эффект Холла.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.2	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на определение знаний основных свойств низкоразмерных структур. Решение задач из разделов 1-2.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.5	Электронные приборы на основе интерференционных эффектов и баллистического транспорта носителей заряда. (Лек). Электронные приборы на основе интерференционных эффектов и баллистического транспорта носителей заряда. Квантово-интерференционный транзистор. Транзистор на отраженных баллистических электронах.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2

3.6	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на знание вида характеристик приборов на основе низкоразмерных структур. Решение задач из разделов 1-2.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.9	Туннелирование носителей заряда (Лек). Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская блокада. Кулоновский зазор. Одноэлектронное туннелирование в двухбарьерных структурах. Сотуннелирование.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.10	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на определение знаний основных свойств низкоразмерных структур. Решение задач из разделов 1-2.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.11	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.12	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.13	Приборы на основе одноэлектронного туннелирования. (Лек). Приборы на основе одноэлектронного туннелирования. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронная ловушка. Ячейка динамической памяти. Одноэлектронный турникет и генератор накачки. Генераторы на одноэлектронных транзисторах. Стандарты постоянного тока Стандарты температуры. Логические элементы. Существующие ограничения.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.14	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на знание вида характеристик приборов на основе низкоразмерных структур. Решение задач из разделов 1-2	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.15	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.16	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1

3.17	Одноэлектронное туннелирование и резонансное туннелирование. (Лек). Резонансное туннелирование, приборы на основе резонансного туннелирования резонансно-туннельный диод, резонансно-туннельный транзистор, Логические элементы.	7	2	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.2, УК-1.1
3.18	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на знание вида характеристик приборов на основе низкоразмерных структур. Решение задач из разделов 1-2.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.19	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.20	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.21	Эффект Кондо (Лек). Спин-зависимый транспорт носителей заряда Гигантское магнитосопротивление. Спин -контролируемое туннелирование. Управление спинами носителей заряда в полупроводниках. Эффект Кондо	7	2	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.22	Выполнение практических заданий (Пр). Опрос на определение знаний основных свойств низкоразмерных структур с магнитными свойствами. Решение задач из разделов 1-2.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
3.23	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач из типового расчета из разделов 1-2.	7	1	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
3.24	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	7	1	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
4. Промежуточная аттестация (экзамен)				
4.1	Подготовка к сдаче промежуточной аттестации (Экзамен).	7	33,65	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1
4.2	Контактная работа с преподавателем в период промежуточной аттестации (КрПА).	7	2,35	УК-1.2, УК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.1

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Перечень компетенций

Перечень компетенций, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Физика низкоразмерных структур», с указанием результатов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы

5.2. Типовые контрольные вопросы и задания

Контрольные вопросы и задания:

- Гетероструктуры (иерархия понятий).
- Классификация сверхрешеток.
- Размерное квантование в структурах с квантовыми ямами, квантовыми проволоками и квантовыми точками.
- Метод матриц переноса.
- Электронные минизоны в сверхрешетке.
- Световые волны в оптической сверхрешетке, оптический резонатор.
- Длинноволновое приближение.
- Интерфейсные (интерфейсные) фононы.
- Акустические фононы со "сложенным" спектром
- Туннелирование электрона через двухбарьерную структуру.
- Вывод аналитических формул для коэффициентов отражения и пропускания в резонансной области электронной энергии.
- Резонансный туннельный ток, вольтамперная характеристика двух-барьерной структуры
- Вычислить эффективный гамильтониан для электронных состояний в графене.

1. Теория возмущений для вырожденной зоны. Спин-орбитальное расщепление валентной зоны в GaAs.

2. Эффективный гамильтониан дырок в двухзонном приближении.

Гамильтониан Латтинжера

3. Гетероструктуры, иерархия понятий. Примеры.

4. Размерное квантование в структурах с квантовыми ямами.

5. Правила отбора при междוזонных переходах в квантовых ямах.

6. Резонансное туннелирование электрона через двухбарьерную структуру.

7. Резонансный туннельный ток.

8. Метод матриц переноса. Электронные минизоны в сверхрешетке.

9. Световые волны в оптической сверхрешетке.

10. Акустические фононы со "сложенным" спектром.

11. Примесные центры и экситоны в квантовых ямах.

12. Резонансное отражение света от квантовой ямы.

13. Влияние электрического поля на электронные состояния в квантовых ямах.

14. Влияние электрического поля на электронные состояния в сверх-решетках.

15. Зонная структура графена.

5.3. Фонд оценочных материалов

Полный перечень оценочных материалов представлен в приложении 1.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование помещения	Перечень основного оборудования
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

6.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1. Microsoft Windows. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.
2. Microsoft Office. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.

6.3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.3.1. Основная литература

1. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 596 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/133479>
2. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]:учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 596 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/119822>
3. Игнатов А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 528 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167901>
4. Морозов В. Г. Физика низкоразмерных структур [Электронный ресурс]:учебное пособие. - М.: РТУ МИРЭА, 2019. - – Режим доступа: <http://library.mirea.ru/secret/31012020/2254.iso>
5. Аладышкин А. Ю. Туннельные явления в нанофизике [Электронный ресурс]:. - Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 32 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/153492>
6. Владимиров Г. Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 368 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/168597>

6.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ СОВРЕМЕННЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. База данных Web of Science
<http://www.webofknowledge.com>
2. Международный ресурс для поиска и обмена научными публикациями
<https://www.researchgate.net>
3. Электроника НТБ - научно-технический журнал

<http://www.electronics.ru>
4. IEEE International Roadmap for Devices and Systems

<https://www.irds.ieee.org>
5. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

6.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Самостоятельная работа студента направлена на подготовку к учебным занятиям и на развитие знаний, умений и навыков, предусмотренных программой дисциплины.

В соответствии с учебным планом дисциплина может предусматривать лекции, практические занятия и лабораторные работы, а также выполнение и защиту курсового проекта (работы). Успешное изучение дисциплины требует посещения всех видов занятий, выполнение заданий преподавателя и ознакомления с основной и дополнительной литературой. В зависимости от мероприятий, предусмотренных учебным планом и разделом 4, данной программы, студент выбирает методические указания для самостоятельной работы из приведенных ниже.

При подготовке к лекционным занятиям студентам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения

дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо: приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию; до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия; в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения; в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющим письменного решения задач или не подготовившихся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изученную на занятии.

Методические указания, необходимые для изучения и прохождения дисциплины приведены в составе образовательной программы.

6.6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Медиа материалы также следует использовать и адаптировать с учетом индивидуальных особенностей обучения лиц с ОВЗ.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на

контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

