

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 16:39:44

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2eb454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Electronic Properties of Quantum Confined Semiconductor Heterostructures / Электронные свойства квантово-ограниченных полупроводниковых гетероструктур

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для
современной инженерии материалов

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

34

курсовая работа 2

самостоятельная работа

83

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	17			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	83	83	83	83
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

к.ф.-м.н., доцент, Теленков Максим Павлович

Рабочая программа

Electronic Properties of Quantum Confined Semiconductor Heterostructures / Электронные свойства квантово-ограниченных полупроводниковых гетероструктур

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02_МФ3-22-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 23.06.2022 г., №7/22

Руководитель подразделения Д.ф.-м.н., профессор Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	сформировать представление о фундаментальных свойствах квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур и методах их теоретического описания, а также развить умения и навыки, необходимые для инновационной деятельности.
1.2	Задачи: научить
1.3	1) понимать фундаментальные свойства квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур;
1.4	2) понимать фундаментальные принципы физики квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур;
1.5	3) применять методы квантовой механики, электродинамики, статистической физики и физики полупроводников к описанию энергетических, транспортных и оптических свойств полупроводниковых структур пониженной размерности.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Nanophotonics	
2.2.2	Physics of Liquid-crystal Membranes / Физика жидкокристаллических мембран	
2.2.3	Quantum Electronic Properties of Nanosystems / Квантовая механика и статистика наночастиц	
2.2.4	Superconducting electronics for the detection of super-weak signals and its metrology	
2.2.5	Сверхпроводящие цепи и кубиты	
2.2.6	Технологии получения материалов	
2.2.7	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
Знать:
ОПК-1-31 Основные методы и подходы к теоретическому описанию квантово-размерных полупроводниковых гетеросистем, необходимые для моделирования их свойств, в том числе и при проектировании устройств инновационной полупроводниковой электроники
ПК-3: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций
Знать:
ПК-3-31 Свойства квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур и физическую картину происходящих в них явлений;
ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
Уметь:
ОПК-1-У1 Применять методы механики, электродинамики и статистической физики к описанию свойств полупроводниковых низкоразмерных систем;
ПК-3: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций
Уметь:
ПК-3-У1 Выбирать адекватные методы теоретического описания квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур
ПК-3-У2 Проводить простые оценки и расчеты величин, характерных для рассматриваемых процессов и явлений в квантово-размерных полупроводниковых гетероструктурах;
УК-4: Способен эффективно функционировать в национальном и международном коллективах в качестве члена или лидера команды, применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия

Владеть:
УК-4-В1 Использовать при решении поставленных задач логическое, творческое, системное мышление;
УК-4-В2 Навыками поиска необходимой информации в специальной и справочной литературе и на интернет – ресурсах
ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности
Владеть:
ОПК-1-В1 Навыками математической постановки задач в области физики квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур;
ПК-3: Способен проводить экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, в том числе, в рамках научно-исследовательских, опытно-технологических или опытно-конструкторских работ выполняемых в рамках тематик организаций
Владеть:
ПК-3-В1 Навыками качественного и количественного анализа фундаментальных свойств, процессов и явлений в квантово-размерных полупроводниковых гетероструктурах

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Спектр носителей заряда в квантово-размерных гетероструктурах/Spectrum of charge carriers in quantum confined heterostructures							
1.1	Явление размерного квантования и трансформация спектра носителей заряда в структурах пониженной размерности. Типы квантово-размерных гетероструктур /The phenomenon of size quantization and transformation of the spectrum of charge carriers in low-dimensional structures. Types of quantum-well heterostructures /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
1.2	Применение метода огибающей функции к расчету электронного спектра квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур /Application of the envelope function method to the calculation of the electronic spectrum of quantum-well semiconductor heterostructures /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.2Л2.1 Э1 Э2			
1.3	Спектр электрона в одиночной квантовой яме /Spectrum of an electron in a single quantum well /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			

1.4	Спектр электрона в системе туннельно-связанных квантовых ям и сверхрешетках /Electron spectrum in a system of tunnel-coupled quantum wells and superlattices /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
1.5	Электронный спектр в квантовой яме в квантующем магнитном поле /Electronic spectrum in a quantum well in a quantizing magnetic field /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.6	Электронные состояния в квантовых нитях и квантовых точках /Electronic states in quantum wires and quantum dots /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-У1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2			
1.7	Плотность состояний в структурах пониженной размерности. Влияние на плотность состояний процессов рассеяния. /Density of states in low-dimensional structures. Influence on the density of states of scattering processes. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
1.8	Закрепление материала аудиторных занятий. Чтение основной и дополнительной литературы /Consolidation of classroom material. Reading basic and additional literature /Ср/	2	5	ОПК-1-31 УК-4-В1 УК-4-В2 ПК-3-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3			
1.9	Решение задач домашнего задания /Solving homework problems /Ср/	2	10	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 УК-4-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 2. Транспортные явления в квантово-размерных гетероструктурах /Transport phenomena in quantum confined heterostructures							
2.1	Транспортные явления в гетероструктурах пониженной размерности. Особенности рассеяния носителей заряда в низкоразмерных системах и подвижность. /Transport phenomena in low-dimensional heterostructures. Features of scattering of charge carriers in low-dimensional systems and mobility. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			

2.2	Рассеяние на примесях в квантовой яме /Scattering by impurities in a quantum well /Пр/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
2.3	Рассеяние на шероховатости гетерограниц в квантовой яме /Scattering on the Roughness of Heterointerfaces in a Quantum Well /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.4	Рассеяние на фононах в двумерном электронном газе /Scattering by phonons in a two-dimensional electron gas /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
2.5	Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям. /Resonant tunneling transport in superlattices and quantum well structures. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.6	Модель транспорта по минизоне в сверхрешетках /Miniband transport model in superlattices /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.7	Модель последовательного резонансно-туннельного транспорта в сверхрешетках /Model of successive resonant tunneling transport in superlattices /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.8	Модель прыжковой проводимости по состояниям Ванье-Штарка в сверхрешетках /Model of hopping conductivity by Wannier-Stark states in superlattices /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.9	Латеральный транспорт в двумерном электронном газе в магнитном поле /Lateral transport in a two-dimensional electron gas in a magnetic field /Лек/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
2.10	Квантовый эффект Холла /Quantum Hall Effect /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
2.11	Баллистический транспорт и квантование проводимости в квантовых нитях /Ballistic transport and conductance quantization in quantum wires /Лек/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.12	Одноэлектронное туннелирование в квантовых точках /Single electron tunneling in quantum dots /Лек/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			

2.13	Закрепление материала аудиторных занятий. Чтение основной и дополнительной литературы /Consolidation of classroom material. Reading basic and additional literature /Cp/	2	10	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 УК-4-В2 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
2.14	Решение задач домашнего задания /Solving homework problems /Cp/	2	10	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-4-В1 УК-4-В2 ПК-3-31 ПК-3-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3			
Раздел 3. Оптические свойства квантово-размерных гетероструктур\Optical properties of quantum confined heterostructures								
3.1	Межзонное и межподзонное поглощение света /Interband and intersubband absorption of light /Лек/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.2	Оптические свойства структур из квантовых ям. Межзонное поглощение /Optical properties of quantum well structures. Interband absorption /Пр/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-1-В1	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.3	Оптические свойства структур из квантовых ям. Межподзонное поглощение /Optical properties of quantum well structures. Intersubband absorption /Пр/	2	1	ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.4	Экситоны в низкоразмерных структурах. Экситонная люминесценция /Excitons in low-dimensional structures. Exciton luminescence /Лек/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.5	Экситоны в двумерных системах. Энергия связи экситонов в квантовых ямах /Excitons in two-dimensional systems. The Binding Energy of Excitons in Quantum Wells /Пр/	2	1	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.6	Оптическая ионизация квантовых ям /Optical ionization of quantum wells /Пр/	2	1	ОПК-1-У1 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
3.7	Закрепление материала аудиторных занятий. Чтение основной и дополнительной литературы /Consolidation of classroom material. Reading basic and additional literature /Cp/	2	5	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 УК-4-В1 УК-4-В2	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			

3.8	Решение задач домашнего задания /Solving homework problems /Ср/	2	5	ОПК-1-У1 УК-4-В1 ОПК-1-В1 УК-4-В2 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.3Л2.2 Э1 Э2			
Раздел 4. Курсовая работа/Coursework								
4.1	Выполнение курсовой работы и написание пояснительной записки /Completing coursework and writing an explanatory note /Ср/	2	38	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-4-В1 УК-4-В2 ПК-3-В1	Л3.1 Э1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Экзамен /Exam	ОПК-1-31;ПК-3-31	<ol style="list-style-type: none"> 1) Явление размерного квантования. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов 2) Полупроводниковый гетеропереход. Типы квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур 3) Метод огибающей функции 4) Одиночная квантовая яма. Спектр носителей заряда в квантовой яме 5) Спектр носителей заряда в системе туннельно-связанных квантовых ям. 6) Сверхрешетка. Спектр носителей заряда в сверхрешетке . 7) Квантовые нити. Спектр носителей заряда в квантовых нитях 8) Квантовые точки. Спектр носителей заряда в квантовых точках 9) Осцилляции Раби в структурах из туннельно-связанных квантовых ям 10) Туннельные переходы между состояниями слабосвязанных квантовых ям. Явление резонансного туннелирования (ПК2.1-31). 11) Влияние процессов рассеяния на вероятность резонансного туннелирования 12) Плотность состояний в электронных системах с пониженной размерностью. 13) Влияние рассеяния на плотность состояний. 14) Основные методы описания резонансно-туннельного транспорта в сверхрешетках 15) Транспорт по минизоне в сверхрешетках 16) Последовательный резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках. 17) Прыжковая проводимость по состояниям Ваннье-Штарка в сверхрешетках. 18) Рассеяние на примесях в квантовой яме. 19) Рассеяние на шероховатости гетерограниц в квантовой яме 20) Рассеяние на акустических фононах в двумерном электронном газе. 21) Рассеяние на оптических фононах в двумерном электронном газе 22) Времена релаксации электронов в двумерных системах 23) Домены электрического поля в сверхрешетках 24) Дискретная модель последовательного резонансно-туннельного транспорта в сверхрешетках. 25) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в продольном магнитном поле. 26) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в поперечном магнитном поле. 27) Одноэлектронный спектр в квантовой яме в наклонном магнитном поле. 28) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и

структурах из квантовых ям в продольном магнитном поле.

29) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям в поперечном магнитном поле.

30) Резонансно-туннельный транспорт в сверхрешетках и структурах из квантовых ям в наклонном магнитном поле.

31) Латеральный транспорт в двумерных электронных системах в магнитном поле.

32) Плотность состояний в двумерном электронном газе в магнитном поле

33) Квантовый эффект Холла

34) Сравнение оптических свойств двумерных и трехмерных систем

35) Межподзонное поглощение в двумерном электронном газе

36) Экситоны в двумерных системах. Энергия связи экситонов в квантовых ямах

37) Экситонная люминесценция в квантовых ямах.

38) Экситонная люминесценция в квантовых точках.

39) Мелкие примеси в квантовых ямах.

40) Оптическая ионизация квантовых ям.

41) Эффект Ааронова-Бома в мезоскопических системах.

42) Эффект кулоновской блокады в мезоскопическом транспорте.

43) Одноэлектронное тунелирование.

44) Баллистический транспорт и квантование проводимости в квантовых нитях.

45) Транзистор на электронах с высокой подвижностью.

46) Резонансно-туннельный диод.

47) Резонансно-туннельный транзистор.

48) Модуляторы света на квантовых ямах.

49) Фотоприемники на квантовых ямах.

50) Полупроводниковые лазеры на межподзонных переходах - квантовые каскадные лазеры .

51) Одноэлектронный транзистор.

52) Квантовый интерференционный транзистор.

53) Приложения квантово-размерных гетероструктур в фотовольтаике.

53) Спиновые транзисторы.

54) Сенсоры на основе гигантского магнитосопротивления .

55) Использование спин-зависимого транспорта для создания энергонезависимой памяти. /

1) The phenomenon of size quantization. Conditions for observing quantum size effects

2) Semiconductor heterojunction. Types of quantum-well semiconductor heterostructures

3) Envelope function method

4) Single quantum well. The spectrum of charge carriers in a quantum well

5) Spectrum of charge carriers in a system of tunnel-coupled quantum wells.

6) Superlattice. The spectrum of charge carriers in a superlattice.

7) Quantum threads. The spectrum of charge carriers in quantum wires

8) Quantum dots. The spectrum of charge carriers in quantum dots

9) Rabi oscillations in structures of tunnel-coupled quantum wells

10) Tunneling transitions between states of weakly coupled quantum wells. The phenomenon of resonant tunneling (PK2.1-31).

11) Influence of scattering processes on the probability of resonant tunneling

12) Density of states in electronic systems with reduced dimension.

13) Influence of scattering on the density of states.

14) Basic methods for describing resonant tunneling transport in superlattices

15) Miniband transport in superlattices

16) Successive resonant tunneling transport in superlattices.

17) Hopping conduction by Wannier-Stark states in superlattices.

18) Scattering by impurities in a quantum well.

19) Scattering on the roughness of heterointerfaces in a quantum well

20) Scattering by acoustic phonons in a two-dimensional electron gas.

21) Scattering by optical phonons in a two-dimensional electron gas

22) Electron relaxation times in two-dimensional systems

			<p>23) Electric field domains in superlattices 24) Discrete model of successive resonant tunneling transport in superlattices. 25) One-electron spectrum in a quantum well in a longitudinal magnetic field. 26) One-electron spectrum in a quantum well in a transverse magnetic field. 27) One-electron spectrum in a quantum well in an inclined magnetic field. 28) Resonant tunneling transport in superlattices and quantum well structures in a longitudinal magnetic field. 29) Resonant tunneling transport in superlattices and quantum well structures in a transverse magnetic field. 30) Resonant tunneling transport in superlattices and quantum well structures in an inclined magnetic field. 31) Lateral transport in two-dimensional electron systems in a magnetic field. 32) Density of states in a two-dimensional electron gas in a magnetic field 33) Quantum Hall Effect 34) Comparison of optical properties of two-dimensional and three-dimensional systems 35) Intersubband absorption in a two-dimensional electron gas 36). Excitons in two-dimensional systems. The Binding Energy of Excitons in Quantum Wells 37) Exciton luminescence in quantum wells. 38) Exciton luminescence in quantum dots. 39) Small impurities in quantum wells. 40) Optical ionization of quantum wells. 41) Aharonov-Bohm effect in mesoscopic systems. 42) The effect of the Coulomb blockade in mesoscopic transport. 43) One-electron tunneling. 44) Ballistic transport and quantization of conductivity in quantum wires. 45) Transistor on electrons with high mobility. 46) Resonant tunneling diode. 47) Resonant tunneling transistor. 48) Light modulators on quantum wells. 49) Photodetectors on quantum wells. 50) Semiconductor lasers on intersubband transitions - quantum cascade lasers. 51) One-electron transistor. 52) Quantum interference transistor. 53) Applications of quantum-dimensional heterostructures in photovoltaics. 53) Spin transistors. 54) Sensors based on giant magnetoresistance. 55) Using spin-dependent transport to create non-volatile memory.</p>
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.			
<p>В курсе предусмотрено домашнее задание (УК-10.1-У1, УК-8.2-У1, УК-8.2-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-В1, УК-9.1-В1, УК-10.1-В1).</p>			
<p>Примеры задач домашнего задания приведены в приложении 1.</p>			
<p>По дисциплине предусмотрена курсовая работа (ПК-1.1-31, УК-10.1-У1, УК-8.2-31, УК-8.2-У1, УК-9.1-В1, УК-8.2-В1, ПК-1.1-В1, УК-10.1-В1).</p>			
<p>Примеры тем курсовых работ приведены в приложении 2.</p>			
5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)			
<p>Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов. Экзаменационные билеты хранятся на кафедре. Пример экзаменационного билета в Приложении.</p>			

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Для успешного завершения обучения студент должен успешно сдать домашнее задание, курсовую работу и экзамен.

Шкала оценок за ответ на экзамене:

Оценка "Отлично". Студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного материала, знает рекомендованную литературу.

Оценка "Хорошо". Студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка "Удовлетворительно". Студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.

Оценка "Неудовлетворительно". Студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Домашнее задание оценивается по системе "зачет/незачет". Домашнее задание зачитывается, если студент правильно решил все входящие в него задачи в полном объеме и предоставил в письменном виде их развернутые аргументированные решения, содержащие необходимый физический анализ полученных результатов. В случае, если домашнее задание не зачитывается, студент автоматически получает итоговую оценку "Неудовлетворительно".

Шкала оценок курсовой работы:

Оценка "Отлично". Задание выполнено в полном объеме. Результаты изложены логически стройно. Пояснительная записка к курсовой работе оформлена в соответствии с ГОСТ.

Оценка "Хорошо". Задание выполнено в целом правильно. Имеется небольшое количество физически несущественных ошибок при выполнении задания или при изложении результатов. Пояснительная записка оформлена в соответствии с ГОСТ.

Оценка "Удовлетворительно". Задание выполнено в целом правильно без физически существенных ошибок. Результаты изложены небрежно или сбивчиво. Пояснительная записка оформлена в соответствии с ГОСТ.

Оценка "Неудовлетворительно". Задание выполнено неверно - имеются физически существенные ошибки, или пояснительная записка оформлена с нарушением ГОСТ.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Борисенко В. Е.	Нанoeлектроника: теория и практика: учебник	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.2	Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г.	Физика полупроводников: Учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1990
Л1.3	Пархоменко Ю. Н., Полисан А. А.	Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2014

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Троян П. Е., Сахаров Ю. В.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010
Л2.2	Дробот П. Н.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: ТУСУ, 2016

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А.	Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ и отчетов по практикам: метод. указания	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Платформа LMS Canvas для студентов НИТУ МИСиС. Курс "Electronic properties of quantum confined semiconductor heterostructures	https://lms.misis.ru/courses/8863
Э2	J.H. Davis. «The physics of low-dimensional semiconductors». Cambridge University Press, 1998	https://www.cambridge.org/core/books/physics-of-lowdimensional-semiconductors/D1B7DE285E09FCA518C4C6C1C385E466
Э3	D.K. Ferry, S.M. Goodnick. «Transport in nanostructures». Cambridge University Press, 2009	https://www.cambridge.org/core/books/transport-in-nanostructures/9B6BCD10033287009F01B7EBBC16A935

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/
И.3	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.5	— аналитическая база Scopus https://www.scopus.com/
И.6	— наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com
И.7	— научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Содержание дисциплины является сильно взаимосвязанным. Поэтому ее изучение должно носить систематический, регулярный характер: необходимо посещение всех аудиторных занятий и своевременное выполнение запланированной самостоятельной работы в полном объеме.

Рекомендуется вести конспекты лекций и практических занятий. Перед каждым аудиторным занятием следует самостоятельно прорабатывать предшествующий материал, используя конспекты, литературу и электронные ресурсы. Достаточным результатом проработки является умение изложить материал, не прибегая к источникам информации.

Следует немедленно обращаться к преподавателю при возникновении непонимания рассматриваемых вопросов, в том числе и в том случае, если обнаруживаются пробелы в знании предшествующих курсов или школьной программы.

Принципиально важное значение для успешного освоения дисциплины имеет своевременное выполнение домашнего задания, которое заключается в самостоятельном решении практических задач и направлено на выработку как общих навыков теоретического описания, так и навыков применения механики, статистической физики и электродинамики для

описания поведения квантово-размерных полупроводниковых гетероструктур, необходимых для дальнейшего обучения по профилю подготовки и будущей профессиональной деятельности. Домашнее задание охватывает все разделы курса, и его следует выполнять в течение всего семестра, по мере изучения соответствующего материала. В случае возникновения трудностей при решении задач необходимо немедленно обратиться к преподавателю. Решение задачи должно обязательно содержать развернутое аргументированное объяснение выбора метода решения задачи, описание процедуры ее математической постановки. Математические расчеты должны быть подробными и представлены в полном объеме. В обязательном порядке следует проверить размерность в полученном решении, разумность числовых значений, даваемых решением, и его поведения при изменении входящих в него величин (в частности, соответствие решения простым оценкам и известным предельным случаям). Помимо этого необходимо выполнить и подробно представить физический анализ решения, специально требуемый в условии задачи. Выполненное домашнее задание сдается в письменном виде не позже, чем за две недели до зачетной сессии. Преподаватель проверяет домашнее задание в течении двух дней и возвращает его студенту с замечаниями при их наличии. Студент должен внести исправления в решение задач в соответствии с замечаниями и предоставить скорректированное решение задач не позже, чем за неделю до экзамена.

Курсовая работа представляет собой небольшое исследование. Тема работы определяется преподавателем с учетом интереса студента. Пояснительная записка сдается не позже, чем за неделю до зачетной сессии. Рекомендуется при выполнении курсовой работы периодически консультироваться у преподавателя. Также рекомендуется советоваться с преподавателем при оформлении пояснительной записки.

Данная дисциплина поддерживается курсом на платформе LMS Canvas для студентов НИТУ МИСиС (электронный ресурс Э1), в котором можно найти программу курса, презентации, содержащие материал аудиторных занятий, литературу в электронном виде. Рекомендуется использовать LMS Canvas также для связи с преподавателем вне аудитории, публикуя сообщения в обсуждениях, созданных в курсе. В частности, можно задавать вопросы или запрашивать консультацию. В LMS Canvas преподаватель сообщает о месте, времени и форме проведения консультаций. Предпочтение отдается очным консультациям. Однако, в случае затруднения проведения консультации в очной форме, она может быть дана удаленно в соответствующей группе платформы MS Teams.