

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:23:09

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Physics of Low Dimensional Systems / Физика низкоразмерных систем

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 3

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

83

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	УП	РП	УП	РП
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):

Рабочая программа

Physics of Low Dimensional Systems / Физика низкоразмерных систем

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-МФ3-23-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

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	Формирование компетенций, предусмотренных учебным планом, а также подготовить к научно-исследовательской деятельности в области применения структур пониженной размерности для наноэлектроники и оптоэлектроники, ознакомить студентов с существующим фронтом исследования в физике низко-размерных систем для способности критически оценить будущие тенденции
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.02
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Electron Theory of Metals / Электронная теория металлов	
2.1.2	Modern Quantum Physics of Solids part 2/ Квантовая физика твердого тела, часть 2	
2.1.3	Scientific research / Научно-исследовательская практика	
2.1.4	Technology and Materials of Quantum Electronics / Технологии и материалы квантовой электроники	
2.1.5	Management of Quality / Менеджмент качества	
2.1.6	Modern methods of structural characterisation of micro- and nano-systems/Современные методы диагностики и исследования материалов, нано- и микросистем	
2.1.7	Modern Quantum Physics of Solids part 1 / Квантовая физика твердого тела, часть 1	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки	
Знать:	
ОПК-3-31 Принципы поиска и анализа информации, требуемой для осуществлений научно-исследовательской деятельности в области применения систем пониженной размерности для нано- и оптоэлектроники	
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики	
Знать:	
ПК-1-32 Методы расчета параметров и основных характеристик моделей	
ПК-1-31 Основные типы низкоразмерных структур, такие как: низкоразмерные полупроводниковые гетероструктуры, квантовые точки, квантовые ямы, квантовые проволоки(нити), сверхрешетки	
Уметь:	
ПК-1-У1 Оценить характерные параметры систем для учета внутреннего взаимодействия, рассмотреть взаимодействие с внешним электромагнитным полем	
УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий	
Уметь:	
УК-1-У1 Самостоятельно использовать знания о принципах, методах и методиках исследований электронных явлений в системах пониженной размерности	
ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки	
Уметь:	
ОПК-3-У1 Осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по теме исследований	
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики	

Владеть:
ПК-1-В2 Математическим аппаратом и численными методами для моделирования свойств квантовых ям, квантовых точек, квантовых нитей
ПК-1-В1 Опытом построения математических моделей систем пониженной размерности и физической интерпретации численных результатов
УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, вырабатывать стратегию действий
Владеть:
УК-1-В1 Использованием литературных данных для построения моделей систем пониженной размерности

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. Раздел 1 Размерное квантование /Section 1 Quantization							

1.1	<p>Условия наблюдения размерного квантования</p> <p>Структуры с низкоразмерным электронным газом</p> <p>Сверхрешетки</p> <p>Способы получения низкоразмерных систем</p> <p>Молекулярно-лучевая эпитаксия</p> <p>Субмикронная литография</p> <p>Самоорганизация квантовых точек и квантовых проводов.</p> <p>Носители заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Плотность состояний в низкоразмерных электронных системах</p> <p>Статистика носителей заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Эволюция от дискретного до непрерывных спектров в направлении квантования для низкоразмерных систем для различных размерностей</p> <p>Квази-низкоразмерные системы</p> <p>Водородоподобный атом, экситоны в 1,2,3 - размерных системах</p> <p>/Quantization Observation Conditions</p> <p>Structures with low-dimensional electron gas</p> <p>Superlattices</p> <p>Methods for obtaining low-dimensional systems</p> <p>Molecular Beam Epitaxy</p> <p>submicron lithography</p> <p>Self-organization of quantum dots and quantum wires.</p> <p>Charge carriers in low-dimensional systems</p> <p>Density of states in low-dimensional electronic systems</p> <p>Charge carrier statistics in low-dimensional systems</p> <p>Evolution from discrete to continuous spectra in the direction of quantization for low-dimensional systems for various dimensions</p> <p>Quasi-low-dimensional systems</p> <p>Hydrogen-like atom, excitons in 1,2,3-dimensional systems</p> <p>/Лек/</p>	3	3	ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК -1-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			
-----	---	---	---	----------------------------------	-----------------------------------	--	--	--

1.2	<p>Условия наблюдения размерного квантования</p> <p>Структуры с низкоразмерным электронным газом</p> <p>Сверхрешетки</p> <p>Способы получения низкоразмерных систем</p> <p>Молекулярно-лучевая эпитаксия</p> <p>Субмикронная литография</p> <p>Самоорганизация квантовых точек и квантовых проводов.</p> <p>Носители заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Плотность состояний в низкоразмерных электронных системах</p> <p>Статистика носителей заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Эволюция от дискретного до непрерывных спектров в направлении квантования для низкоразмерных систем для различных размерностей</p> <p>Квази-низкоразмерные системы</p> <p>Водородоподобный атом, экситоны в 1,2,3 - размерных системах /</p> <p>Quantization Observation Conditions</p> <p>Structures with low-dimensional electron gas</p> <p>Superlattices</p> <p>Methods for obtaining low-dimensional systems</p> <p>Molecular Beam Epitaxy</p> <p>submicron lithography</p> <p>Self-organization of quantum dots and quantum wires.</p> <p>Charge carriers in low-dimensional systems</p> <p>Density of states in low-dimensional electronic systems</p> <p>Charge carrier statistics in low-dimensional systems</p> <p>Evolution from discrete to continuous spectra in the direction of quantization for low-dimensional systems for various dimensions</p> <p>Quasi-low-dimensional systems</p> <p>Hydrogen-like atom, excitons in 1,2,3-dimensional systems</p> <p>/Пр/</p>	3	3	<p>ОПК-3-31</p> <p>ОПК-3-У1 ПК</p> <p>-1-31 ПК-1-В1</p>	Л1.1 Л1.2			
-----	---	---	---	---	-----------	--	--	--

1.3	<p>Условия наблюдения размерного квантования</p> <p>Структуры с низкоразмерным электронным газом</p> <p>Сверхрешетки</p> <p>Способы получения низкоразмерных систем</p> <p>Молекулярно-лучевая эпитаксия</p> <p>Субмикронная литография</p> <p>Самоорганизация квантовых точек и квантовых проводов.</p> <p>Носители заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Плотность состояний в низкоразмерных электронных системах</p> <p>Статистика носителей заряда в низкоразмерных системах</p> <p>Эволюция от дискретного до непрерывных спектров в направлении квантования для низкоразмерных систем для различных размерностей</p> <p>Квази-низкоразмерные системы</p> <p>Водородоподобный атом, экситоны в 1,2,3 - размерных системах /</p> <p>Quantization Observation Conditions</p> <p>Structures with low-dimensional electron gas</p> <p>Superlattices</p> <p>Methods for obtaining low-dimensional systems</p> <p>Molecular Beam Epitaxy</p> <p>submicron lithography</p> <p>Self-organization of quantum dots and quantum wires.</p> <p>Charge carriers in low-dimensional systems</p> <p>Density of states in low-dimensional electronic systems</p> <p>Charge carrier statistics in low-dimensional systems</p> <p>Evolution from discrete to continuous spectra in the direction of quantization for low-dimensional systems for various dimensions</p> <p>Quasi-low-dimensional systems</p> <p>Hydrogen-like atom, excitons in 1,2,3-dimensional systems</p> <p>/Cp/</p>	3	12	<p>ОПК-3-31</p> <p>ОПК-3-У1 ПК</p> <p>-1-31 ПК-1-В1</p>	Л1.1 Л1.2			
	<p>Раздел 2. Раздел 2</p> <p>Квантовые ямы /Section 2</p> <p>Quantum wells</p>							

2.1	Оптические свойства квантовых ям Кинетические эффекты в 2- мерных системах /Optical properties of quantum wells Kinetic effects in 2D systems /Лек/	3	2	УК-1-У1 ОПК -3-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			
2.2	Оптические свойства квантовых ям Кинетические эффекты в 2- мерных системах /Optical properties of quantum wells Kinetic effects in 2D systems /Пр/	3	2	УК-1-У1 УК-1 -В1 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.2			
2.3	Оптические свойства квантовых ям Кинетические эффекты в 2- мерных системах /Optical properties of quantum wells Kinetic effects in 2D systems /Ср/	3	12	УК-1-У1 УК-1 -В1 ОПК-3-31 ПК-1-32 ПК-1- В1	Л1.1 Л1.2			
Раздел 3. Раздел 3 Квантовые провода (нити) /Section 3 Quantum wires (threads)								
3.1	Баллистический транспорт Баллистическая проводимость квантовых проводов Квантовый эффект Холла и проводимость квантовых проводов /ballistic transport Ballistic conductivity of quantum wires Quantum Hall Effect and Conductivity of Quantum Wires /Лек/	3	2	ОПК-3-31 ПК- 1-32 ПК-1-У1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			
3.2	Баллистический транспорт Баллистическая проводимость квантовых проводов Квантовый эффект Холла и проводимость квантовых проводов / ballistic transport Ballistic conductivity of quantum wires Quantum Hall Effect and Conductivity of Quantum Wires /Пр/	3	2	ОПК-3-31 ПК- 1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-1 -В2	Л1.1 Л1.2			
3.3	Баллистический транспорт Баллистическая проводимость квантовых проводов Квантовый эффект Холла и проводимость квантовых проводов / ballistic transport Ballistic conductivity of quantum wires Quantum Hall Effect and Conductivity of Quantum Wires /Ср/	3	12	ОПК-3-31 ПК- 1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-1 -В2	Л1.1 Л1.2			

	Раздел 4. Раздел 4 Квантовые точки /Section 4 Quantum dots							
4.1	<p>Энергетические спектры и волновые функции. Системы двойных квантовых ям и квантовых точек Горизонтальные и вертикальные молекулы квантовых точек Массивы квантовых точек Туннельные эффекты Периодические и аперриодические массивы квантовых точек /Energy spectra and wave functions. Systems of double quantum wells and quantum dots Horizontal and vertical quantum dot molecules Arrays of quantum dots tunnel effects Periodic and aperiodic arrays of quantum dots /Лек/</p>	3	4	УК-1-У1 ОПК -3-31 ОПК-3- У1 ПК-1-32	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			
4.2	<p>Энергетические спектры и волновые функции. Системы двойных квантовых ям и квантовых точек Горизонтальные и вертикальные молекулы квантовых точек Массивы квантовых точек Туннельные эффекты Периодические и аперриодические массивы квантовых точек / Energy spectra and wave functions. Systems of double quantum wells and quantum dots Horizontal and vertical quantum dot molecules Arrays of quantum dots tunnel effects Periodic and aperiodic arrays of quantum dots /Пр/</p>	3	4	УК-1-У1 ОПК -3-31 ОПК-3- У1 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-1- -В2	Л1.1 Л1.2			

4.3	<p>Энергетические спектры и волновые функции. Системы двойных квантовых ям и квантовых точек Горизонтальные и вертикальные молекулы квантовых точек Массивы квантовых точек Туннельные эффекты Периодические и аперриодические массивы квантовых точек / Energy spectra and wave functions. Systems of double quantum wells and quantum dots Horizontal and vertical quantum dot molecules Arrays of quantum dots tunnel effects Periodic and aperiodic arrays of quantum dots /Ср/</p>	3	12	<p>УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-1-В2</p>	Л1.1 Л1.2			
	<p>Раздел 5. Раздел 5 Отдельные и двойные квантовые ямы и квантовые точки в микрорезонаторе /Section 5 Individual and double quantum wells and quantum dots in a microcavity</p>							
5.1	<p>Формирование экситонных поляритонов Переход Костерлица-Таулеса Сверхтекучесть и бозе-конденсация экситонных поляритонов. Влияние внешних полей / Formation of exciton polaritons Kosterlitz-Thouless crossing Superfluidity and Bose condensation of exciton polaritons. Influence of external fields /Лек/</p>	3	2	<p>ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1</p>	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			
5.2	<p>Формирование экситонных поляритонов Переход Костерлица-Таулеса Сверхтекучесть и бозе-конденсация экситонных поляритонов. Влияние внешних полей / Formation of exciton polaritons Kosterlitz-Thouless crossing. Superfluidity and Bose condensation of exciton polaritons. Influence of external fields /Пр/</p>	3	2	<p>ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1</p>	Л1.1 Л1.2			

5.3	<p>Формирование экситонных поляритонов Переход Костерлица-Таулеса Сверхтекучесть и бозе-конденсация экситонных поляритонов. Влияние внешних полей /Formation of exciton polaritons Kosterlitz-Thouless crossing. Superfluidity and Bose condensation of exciton polaritons. Influence of external fields /Ср/</p>	3	12	<p>УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1</p>	Л1.1 Л1.2			
	<p>Раздел 6. Раздел 6 Применение квантоворазмерных систем /Section 6 Application of quantum-dimensional systems</p>							
6.1	<p>Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках Оптические модуляторы Фотодатчики на квантовых ямах Транзисторы высокой подвижности Устройства баллистического транспорта Одноэлектронные транзисторы с одним электроном. Квантовые нейронные сети на квантовых точках /Lasers based on quantum wells and quantum dots Optical modulators Photo sensors based on quantum wells High Mobility Transistors Ballistic transport devices Single electron transistors with one electron. Quantum neural networks based on quantum dots /Лек/</p>	3	4	<p>УК-1-У1 ОПК-3-У1 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1</p>	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			

6.2	Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках Оптические модуляторы Фотодатчики на квантовых ямах Транзисторы высокой подвижности Устройства баллистического транспорта Одноэлектронные транзисторы с одним электроном. Квантовые нейронные сети на квантовых точках / Lasers based on quantum wells and quantum dots Optical modulators Photo sensors based on quantum wells High Mobility Transistors Ballistic transport devices Single electron transistors with one electron. Quantum neural networks based on quantum dots /Пр/	3	4	УК-1-У1 ОПК-3-У1 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.2			
6.3	Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках Оптические модуляторы Фотодатчики на квантовых ямах Транзисторы высокой подвижности Устройства баллистического транспорта Одноэлектронные транзисторы с одним электроном. Квантовые нейронные сети на квантовых точках /Lasers based on quantum wells and quantum dots Optical modulators Photo sensors based on quantum wells High Mobility Transistors Ballistic transport devices Single electron transistors with one electron. Quantum neural networks based on quantum dots /Ср/	3	12	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-3-31 ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.2			
	Раздел 7. Домашняя работа /Homework							
7.1	Домашняя работа / Homework /Ср/	3	11	ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6			

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-3-31;ОПК-3-У1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-В1	<p>1. The electron mobility in thin film is $10000 \text{ cm}^2/(\text{V s})$. Determine the maximal thickness of thin film below which the quantum-dimensional effects can be observed.</p> <p>2. The effective mass of charge carriers is $m = 0.1 m_0$. Determine the maximal thickness of thin film below which the quantum-dimensional effects can be observed at room temperature.</p> <p>3. The rectangular potential well has height U and width L. Derive the equation for the bounded states energy . Determine the number of bound states. Determine the condition providing the energy difference between the lowest level and the top of the well is E_0.</p> <p>4. Solve the previous problem for different effective mass of carriers in barrier and well, m_B and m_W</p> <p>5.Determine the energy level of a system of two coupled quantum wells separated by a delta-barrier</p> <p>1.Получить оценку предельной толщины пленки, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений, если подвижность электронов в пленке $10000 \text{ см}^2/(\text{В с})$.</p> <p>2.Какова предельная толщина пленки, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений при комнатной температуре, если эффективная масса носителей $m = 0.1 m_0$?</p> <p>3.Для прямоугольной квантовой ямы шириной L и глубиной U получить уравнение для определения значений энергии связанных состояний. Определить число связанных состояний в яме. Найти условие, при котором расстояние по шкале энергий от вершины барьера до нижнего уровня в яме равно заданной величине E_0.</p> <p>4.Решить предыдущую задачу в случае разных эффективных масс электронов в барьере и яме — m_b и m_a.</p> <p>5. Рассмотреть энергетический спектр частицы в системе, состоящей из двух квантовых ям, разделенных дельта-образным барьером</p> <p>Пример экзаменационного билета в Приложении.</p>
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.			
<p>По курсу предусмотрен экзамен . В курсе предусмотрено домашнее задания в форме мультимедийного доклада.</p> <p>Типичные темы домашней работы (УК-9.2-У1, ПК-1.1-У1, ОПК-5.1-У1, УК-9.2-В1, ПК-1.1-В1, ОПК-5.1-В1):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.Способы получения квантовых точек. 2. Межзонное поглощение света в квантовых нитях 3. Оптическая ионизация квантовых ям 4. Электронно-электронное взаимодействие в квантовых точках 5.Оптические устройства на низкоразмерных системах <ol style="list-style-type: none"> 1.Production of quantum dots 2. Inter-zone light absorption in quantum wires 3. Electron-electron interaction in quantum dots 4 Effects of deformations to the energy spectra 5 Optical devices on low-dimensional systems 			

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

1. The electron mobility in thin film is $10000 \text{ cm}^2/(\text{V s})$. Determine the maximal thickness of thin film below which the quantum-dimensional effects can be observed.
2. The effective mass of charge carriers is $m = 0.1 m_0$. Determine the maximal thickness of thin film below which the quantum-dimensional effects can be observed at room temperature.
3. The rectangular potential well has height U and width L . Derive the equation for the bounded states energy . Determine the number of bound states. Determine the condition providing the energy difference between the lowest level and the top of the well is E_0 .
4. Solve the previous problem for different effective mass of carriers in barrier and well, m_B and m_W
5. Determine the energy level of a system of two coupled quantum wells separated by a delta-barrier
1. Получить оценку предельной толщины пленки, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений, если подвижность электронов в пленке $10000 \text{ см}^2/(\text{В с})$.
2. Какова предельная толщина пленки, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений при комнатной температуре, если эффективная масса носителей $m = 0.1 m_0$?
3. Для прямоугольной квантовой ямы шириной L и глубиной U получить уравнение для определения значений энергии связанных состояний. Определить число связанных состояний в яме. Найти условие, при котором расстояние по шкале энергий от вершины барьера до нижнего уровня в яме равно заданной величине E_0 .
4. Решить предыдущую задачу в случае разных эффективных масс электронов в барьере и яме — m_b и m_a .
5. Рассмотреть энергетический спектр частицы в системе, состоящей из двух квантовых ям, разделенных дельта-образным барьером

Пример экзаменационного билета в Приложении.

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «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 теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «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;
- в) «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;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает не полные ответы на дополнительные и наводящие вопросы

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Киттель Ч.	Введение в физику твердого тела	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1978
Л1.2	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф. Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. СПб: Наука, 2001. – 155 с. Url: https://www.studmed.ru/shik-aya-bakueva-lg-musihin-sf-rykov-safizika-nizkorazmernih-sistem_f4d91c4a68d.html . В открытом доступе.	https://www.studmed.ru/shik-aya-bakueva-lg-musihin-sf-rykov-safizika-nizkorazmernih-sistem_f4d91c4a68d.html
Э2	Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М: Логос, 2000. – 247 с. Url: https://www.studmed.ru/demihovskiy-vya-vugalter-ga-fizika-kvantovyh-nizkorazmernih-struktur_b189d926b2d.html . В открытом доступе.	https://www.studmed.ru/demihovskiy-vya-vugalter-ga-fizika-kvantovyh-nizkorazmernih-struktur_b189d926b2d.html

Э3	Кульбачинский В.А. Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки. М.: Физ. фак. МГУ, 1998. – 162 с. Url: https://www.studmed.ru/kulbachinskiy-va-dvumernye-odnomernye-nulmernye-struktury-i-sverhreshetki_6902e3bac81.html . В открытом доступе.	https://www.studmed.ru/kulbachinskiy-va-dvumernye-odnomernye-nulmernye-struktury-i-sverhreshetki_6902e3bac81.html
Э4	Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы Нанoeлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2000. – 340 с. Url: https://www.studmed.ru/dragunov-vp-neizvestnyy-ig-gridchin-va-osnovy-nanoelektroniki_d07ce5b7b47.html . В открытом доступе.	https://www.studmed.ru/dragunov-vp-neizvestnyy-ig-gridchin-va-osnovy-nanoelektroniki_d07ce5b7b47.html
Э5	Davies, J H.; The Physics of Low-dimensional Semiconductors: An Introduction..Cambridge University Press, 1997. – P.451. Url: http://macbeth.if.usp.br/~gusev/Davies.pdf . В открытом доступе.	http://macbeth.if.usp.br/~gusev/Davies.pdf
Э6	Андо Т., Фаулер А., и др. Электронные свойства двумерных систем. М7: Мир, 1985. – 416 с. Url: https://www.studmed.ru/ando-t-fauler-a-i-dr-elektronnye-svoystva-dvumernyh-sistem_e3c8adfadc5.html . В открытом доступе.	https://www.studmed.ru/ando-t-fauler-a-i-dr-elektronnye-svoystva-dvumernyh-sistem_e3c8adfadc5.html

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.4	Microsoft Office

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	Иностраннe базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) 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

Освоение каждого раздела курса необходимо начинать с изучения лекционного материала: конспекта лекции, рекомендуемой литературы. Критерием успешного освоения лекционного материала для каждого студента могут служить результаты самоконтроля. Если студент оказывается способным справиться с большинством предлагаемых в каждом разделе дисциплины контрольных вопросов, тестов и задач, может своевременно выполнить домашние задания, значит,

процесс освоения материала идет успешно. В противном случае необходимо обратиться к лектору на консультации или на факультативном теоретическом семинаре.