

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 15:11:44  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8b5ea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



И.Г. Игнатова

«23» сентября 2020 г.

М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Математическое моделирование»**

Направление подготовки 11.03.04.– «Электроника и микроэлектроника»  
Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и микроэлектроника»

2020 г.

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК- 1** «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.040 Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков

**Обобщенная трудовая функция:** Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки

**Трудовые функции:** А/01.6 «Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки», А/02.6 «Определение основных статических и динамических характеристик стандартных ячеек библиотеки»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.ММ «Способен применять программные средства для компьютерного моделирования поставленной задачи, и графического представления результатов моделирования современными компьютерными пакетами»	- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; - участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; - подготовка и составление обзоров, рефератов, отчетов, научных публикаций и докладов на научных конференциях и семинарах;	<b>Знания:</b> - аналитических, численных и графических возможностей математических пакетов, способов создания математической модели в виде системы дифференциальных или интегральных уравнений, описывающих физическое явление, методов численного решения дифференциальных или интегральных уравнений; <b>Умения:</b> - дифференцировать и интегрировать в математическом пакете, графически представлять результаты расчетов с помощью средств 2D- и 3D-графики пакета, создавать программы численного решения уравнений физико-математических моделей; <b>Опыт деятельности:</b> - опыт численной и графической обработки результатов, полученных при решении той

	или иной физико-математической модели;
--	--

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математический анализ; Физика. Электричество и магнетизм; Дифференциальные уравнения.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	4	144	16	32	-	60	Экз (36)

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)		
1. Моделирование физических процессов в задачах механики и электродинамики сплошных сред.	4	-	8	15	Контроль выполнения индивидуальных практических заданий к лабораторным работам №1-2
					Защита лабораторных работ №1-2
2. Решение задач квантовой механики средствами пакета MATLAB	8	-	16	30	Контроль выполнения индивидуальных практических заданий к лабораторным работам №3-6
					Защита лабораторных работ №3-6
3. Решение задач спинтроники средствами пакета MATLAB	4	-	8	15	Контроль выполнения индивидуальных практических заданий к лабораторным работам №7-8
					Защита лабораторных работ №7-8

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	<p><b>Создание физико-математической модели на примере лазерного отжига полупроводниковой пластины</b></p> <p>Способы корректного задания начальных и граничных условий в математической модели, соответствующих поставленной физической задаче. Методы упрощения физико-математической модели, связанные со свойствами симметрии рассматриваемой физической системы.</p>
	2	2	<p><b>Создание физико-математической модели на примере лазерного отжига полупроводниковой пластины</b></p> <p>Функция Грина и представление математической модели дифференциальным уравнением с источником, или эквивалентным ему интегральным уравнением. Выбор метода численного решения дифференциальных и интегральных уравнений физико-математической модели. Анализ точности вычислений в данной математической модели</p>
2	3	2	<p><b>Численное решение задач квантового рассеяния в пакете MATLAB.</b></p> <p>Представление решения задачи рассеяния в виде разложения волновой функции в ряд по парциальным волнам. Создание программы вычисления ряда с заданной точностью. Отладка программы на примере разложения плоской волны по сферическим функциям Бесселя.</p>
	4	2	<p><b>Численное решение задач квантового рассеяния в пакете MATLAB.</b></p> <p>Приближение Борна в задачах рассеяния. Создание программы, вычисляющей распределения плотности вероятности электрона, рассеянного на примесном центре. Визуализация результатов расчета с помощью средств 3D- графики в пакете MATLAB</p>
	5	2	<p><b>Моделирование электронного спектра гетероструктур в пакете MATLAB.</b></p> <p>Проблема корректного решение задачи туннелирования электрона через широкий потенциальный барьер. Решение задачи рассеяния электрона на потенциальном барьере с помощью матрицы передачи, обратной матрица и матрицы рассеяния. Матричный метод описания туннелирования в гетероструктурах.</p>
	6	2	<p><b>Моделирование электронного спектра гетероструктур в пакете MATLAB.</b></p> <p>Резонансное туннелирование в многослойных системах. Соз-</p>

			дание программы, вычисляющей энергетический спектр и волновые функции электрона в гетероструктурах в пакете MATLAB. Аналитический и программный анализ близкорасположенных уровней энергии в симметричной гетероструктуре.
3	7	2	<b>Моделирование наногенератора в пакете MATLAB</b> Решение уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта (LLG) для однородной задачи при учете переноса спина постоянным током в ферромагнетике. Решение неоднородного уравнения LLG с помощью неявной разностной схемы.
	8	2	<b>Моделирование наногенератора в пакете MATLAB</b> Исследование стационарных точек уравнения LLG. Нахождение циклических траекторий решения уравнений LLG. Моделирование спинового наногенератора. Рассмотрение генерации спиновых волн наногенератором

#### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

#### 4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Создание программ C++ построения графиков, используя графические примитивы API Windows.
	2	4	Построение и визуализация линий электрического и магнитного поля для заданной системы электрических зарядов и намагниченных образцов, C++.
2	3,4	8	Разложение плоской волны по сферическим функциям Бесселя. Оценка точности решения. Вычисление распределения плотности вероятности электрона, рассеянного на сферическом потенциальном барьере. Визуализация результатов расчета средствами MATLAB.
	5,6	8	Математическое моделирование гетероструктуры в MATLAB. Движение электрона в системе потенциальных ям и барьеров прямоугольной формы.
3	7	4	Решение задач спинтроники средствами пакета MATLAB. Нахождение циклических траекторий решения уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта. Построение фазового портрета найденных решений.
	8	4	Исследование устойчивости состояний генерации спинового наногенератора. MATLAB.

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Работа с конспектом лекций.
	13	Индивидуальное практическое задание к лабораторным работам 1-2: вывод формул из описания лабораторных работ, написание и отладка программного кода в среде Matlab для лабораторных работ 1-2. Подготовка отчёта по лабораторным работам 1-2.
2	4	Работа с конспектом лекций.
	26	Индивидуальное практическое задание к лабораторным работам 3-6: вывод формул из описания лабораторных работ, написание и отладка программного кода в среде Matlab для лабораторных работ 3-6. Подготовка отчёта по лабораторным работам 3-6.
3	2	Работа с конспектом лекций.
	13	Индивидуальное практическое задание к лабораторным работам 7-8: вывод формул из описания лабораторных работ, написание и отладка программного кода в среде Matlab для лабораторных работ 7-8. Подготовка отчёта по лабораторным работам 7-8.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

#### Модуль 1

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.
3. Описания лабораторных работ 1-2.
4. Список учебной литературы.

#### Модуль 2

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.
3. Описания лабораторных работ 3-6.
4. Список учебной литературы.

#### Модуль 3

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.

3. Описания лабораторных работ 7-8.
4. Список учебной литературы.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература

1. Маликов Р.Ф. Основы математического моделирования: Учеб. пособие / Р.Ф. Маликов. - М. : Горячая линия-Телеком, 2010. - 368 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5169> (дата обращения: 15.12.2020). - ISBN 978-5-9912-0123-0.
2. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: Учеб. пособие / Р. Темам, А. Миранвиль. - 3-е изд. - электроное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2017. - 323 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94110> (дата обращения: 15.12.2020). - ISBN 978-5-00101-494-2.
3. Аплеснин С.С. Основы спинтроники: Учеб. пособие / С.С. Аплеснин. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2010. - 288 с.
4. Николаев В.Т. Практика программирования в инженерных расчетах : Учеб. пособие с файлами проектов и комплектом программ на CD-диске / В.Т. Николаев, С.В. Купцов, В.Н. Тикменов; Под ред. В.Н. Тикменова. - М. : Физматлит, 2018. - 440 с.
5. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В.П. Дьяконов. - М. : ДМК Пресс, 2011. - 976 с.
6. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : Учеб. пособие / С.В. Поршнева. - 2-е изд., испр. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 736 с. Ссылка на ресурс: <https://e.lanbook.com/book/650>
7. Поттер Д. Вычислительные методы в физике : Пер. с англ. / Д. Поттер; Под ред. Ю.Н. Днестровского. - М. : Мир, 1975. - 392 с.

### Периодические издания:

1. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ = SEMICONDUCTORS / РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе; Гл. ред. Р.А. Сурис. - СПб. : Наука, 1967 - . - URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp/> (дата обращения: 20.10.2020). - Режим доступа: свободный.
2. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). - Режим доступа: свободный
3. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. : РАН, Наука, 1873 - . - URL:<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index> (дата обращения: 20.10.2020). - Режим доступа: свободный
4. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1965 - . - URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). - Режим доступа: свободный
5. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.] - URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 20.10.2020). - Режим доступа: по подписке МИЭТ.

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. NSM Archive. Characteristics and Properties = Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства: Электронный архив / webmaster Алексей Толмачев // ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН : [сайт]. – Москва, 1998-2001. -  
URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 27.11.2020).
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 27.11.2020).
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. -  
URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 27.11.2020)
6. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный.

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются технологии смешанного обучения.

Применяется модель смешанного обучения «перевернутый класс». Учебный процесс начинается с постановки проблемного задания, для выполнения которого студент должен самостоятельно ознакомиться с материалом, размещенным в электронной среде. В аудитории проверяются и дополняются полученные знания с помощью дискуссий. Работа поводится по следующей схеме: СРС (онлайновая предаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (лабораторные работы) - обратная связь с обсуждением и подведением итогов.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, zoom-консультации.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в системе ОРИОКС

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование.	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Компьютерный класс (ауд. 42126)	Студенческих ПК 26 шт. Преподавательский ПК с мультимедийным оборудованием Доска классная Экран Video Spectra 175x234 LCD-ПРОЕКТОР Epson EMP-G5600 Настенная акустическая система Microlab Solo 4C ПК: Intel Core i5-3570K/8 Cb/250 Gb, Монитор-LCD Iiyama 19	MATLAB, Octave
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-1.ММ «Способен применять программные средства для компьютерного моделирования поставленной задачи, и графического представления результатов моделирования современными компьютерными пакетами».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Особенности организации процесса обучения**

Посещение лекций и лабораторных работ обязательно. Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель лекций – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Преподаватель предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему лекции, которая читалась на неделе, предшествующей консультации. На консультациях обсуждаются задачи повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

Лабораторные работы состоят в компьютерном моделировании квантовых систем в пакете Matlab. В процессе выполнения индивидуального практического задания к лабораторной работе каждый студент пишет конспект лабораторной работы, содержащий необходимые теоретические сведения из описания работы с выводом всех необходимых формул, а также пишет и отлаживает программный код или модифицирует уже имеющийся код с целью получить рабочую программу для моделирования. Каждому студенту выдаются свои начальные условия для математического моделирования. Результатом моделирования являются массивы чисел/заполненные таблицы. Студент обрабатывает полученные данные и получает результат в виде числа/чисел, графиков, которые заносит в конспект. На защите лабораторных работ студенты отвечают на теоретические вопросы преподавателя. С учётом качества ответов на теоретические вопросы, а также результатов, которые студент получил после математического моделирования, выставляется оценка за лабораторную работу.

Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение всех лабораторных работ.

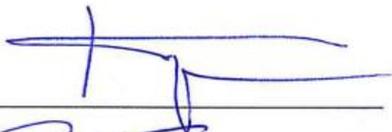
## 11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (суммарно 90 баллов) и сдача экзамена (10 баллов). Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

### РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. КФН, к. ф.-м. н.



/Корнеев В. И. /

Ст. преподаватель



/Широков А. Е./

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и наноэлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и наноэлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН  /А. А. Горбацевич/

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П.Филиппова /