

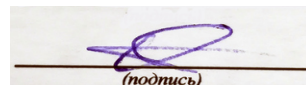
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Математическое моделирование в нанoeлектронике»**

Направление подготовки
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль
Интегральная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины Математическое моделирование в нанoeлектронике являются:

- изучение основных понятий и методов современного математического моделирования, применяемых для решения задач нанoeлектроники;
- овладение методами составления математических моделей, их анализа и разработки алгоритмов аналитического и численного задач нанoeлектроники;
- формирование представлений о границах применимости моделей и их аналитических и численных методов решений в сочетании с современными компьютерными технологиями

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Математическое моделирование в нанoeлектронике» относится к вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1. Изучается в 3 семестре. По содержанию является продолжением базовой дисциплины «Математическое моделирование устройств и систем» в применении к задачам, наиболее актуальным для нанoeлектроники. Является дисциплиной профильной направленности (Интегральная электроника и нанoeлектроника). Результаты освоения «Математическое моделирование в нанoeлектронике» используются в научно-исследовательской работе магистрантов, выпускных квалификационных работах. Приобретенные знания, умения и владения актуальны для формирования основных профессиональных и общекультурных компетенций выпускника.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
Общепрофессиональные компетенции		
ПК-2. Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию.	ИД_ПК-2.1. Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач.	Знать: основные математические модели, используемые для задач нанoeлектроники; стандартные алгоритмы численного решения уравнений в частных производных; основные источники научно-технической и математической информации по математическому моделированию.
	ИД_ПК-2.2. Применяет алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования.	Уметь: разбираться в алгоритмах и методах исследования математических моделей и применять их для решения поставленной задачи; находить необходимые для исследования аналитические и численные методы и алгоритмы; выбирать и анализировать исходные данные для задач нанoeлектроники с использованием современных математических прикладных пакетов;

	ИД_ПК-2.3. Обладает навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и нано-электроники.	Владеть: навыками применения стандартных численных и аналитических методов и алгоритмов в решении задач математического моделирования в нано-электронике;
--	---	---

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 акад.часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную ра- боту студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемо- сти Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Математические моде- ли взаимодействия ионов с веществом. Уравнение Больцмана.	3	3		3	1		13	Фронтальный опрос.
2	Разностные схемы для простейших линейных уравнений переноса. Постановка краевых за- дач.	3	3		3	1		14	Фронтальный опрос.
3	Многомерные уравне- ния переноса. Схема бе- гущего счета. Много- слойные схемы.	3	3		3	1		14	Фронтальный опрос.
4	Квазилинейные уравне- ния переноса. Сильные и слабые разрывы. Псев- довязкость.	3	4		4	1		14	Фронтальный опрос
5	Уравнение Хопфа. Свойства решений. Уравнение Бюргерса. Замена Коула-Хопфа.	3	4		4	1		14	Контрольная работа
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Итого за 1 семестр 180 часов		17		17	7	0,5	102,5	
	Всего		17		17	7	0,5	102,5	

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1.

Общая постановка задачи распространения частиц в веществе. Уравнение переноса. Сечение и интеграл рассеяния. Характеристики. Постановка краевых задач и общее определение решения уравнения переноса. Сложность локальной структуры решений.

Раздел 2.

Линейное дифференциальное уравнение переноса с постоянными коэффициентами. Постановка смешанной задачи Коши. Решение методом характеристик. Сохранение монотонности. Случай переменных коэффициентов. Построение разностной схемы. Исследование устойчивости.

Раздел 3.

Многомерные уравнения переноса. Постановка краевых задач. Построение дискретной модели. Двухслойные разностные схемы. Монотонность разностной схемы. Диссипативные схемы. Понятие аппроксимационной вязкости. Условие устойчивости.

Раздел 4.

Квазилинейные уравнения переноса. Сильные и слабые разрывы. Однородные разностные схемы. Искусственная вязкость. Условия сходимости к точному решению Консервативные разностные схемы.

Раздел 5.

Уравнение Хопфа. Свойства решений. Уравнение Бюргерса Симметрии. Вычисление симметрий для уравнения Бюргерса.. Замена Коула-Хопфа. Решения уравнения Бюргерса в виде ударных волн.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами. Задачей лабораторных занятий, проводимых в компьютерном классе, является непосредственное формирование необходимых умений и навыков путем работы студентов над поставленными преподавателем задачами. Выполнение учебных заданий проводится в интерактивной форме: решение творческих заданий, индивидуальный и групповой поиск решений поставленных проблем, совместный с преподавателем анализ полученных результатов.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

Контроль качества усвоения программного материала проводится с учетом работы студентов на лекциях и лабораторных занятиях.

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении рекомендованной литературы, выполнении домашних и индивидуальных заданий.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса используются:
для проведения лабораторных занятий:

- Windows Pro 7 RUS
- Microsoft Office Std 2013
- MATLAB Academic new Product From 10
- Mathematica Standart Version Educational Bundled;

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Формалев В. Ф. Численные методы: учеб. пособие для вузов. / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников; под ред. А. И. Кибзуна ; Науч.-метод. совет М-ва образования РФ - М.: Физматлит, 2004. - 398 с.
2. Булавский В. А. Численные методы линейного программирования: специальные задачи. / В. А. Булавский, Р. А. Звягина, М. А. Яковлева; под ред. Л. В. Канторовича - М.: Наука, 1977. - 367 с.

б) дополнительная литература

1. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач: учеб. пособие для вузов. / Ф. П. Васильев; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - М.: Наука, 1980. - 518 с..
2. Глызин С. Д. Численные методы анализа динамических систем: учеб. пособие для вузов. / С. Д. Глызин; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2002. - 75 с.
- 2.3. Уизем Дж. Б. Линейные и нелинейные волны. / Дж. Б. Уизем; пер. с англ. В. В. Жаринова; под ред. А. Б. Шабата - М.: Мир, 1977. - 622 с.

в) ресурсы сети «Интернет»:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке
<http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
www.biblioclub.ru).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,

- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для лабораторных – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники и
общей физики, доктор ф.-м.н.

должность, ученая степень

подпись

С.О.Ширяева

И.О. Фамилия

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Математическое моделирование в наноэлектронике»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, ха-
рактеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Примерные варианты билетов для контрольной работы

<p style="text-align: center;">БИЛЕТ № 1</p> <p>1. Методом характеристик найти общее решение уравнения</p> $x \frac{\partial u}{\partial t} - t \frac{\partial u}{\partial x} = 2u$ <p>2. Написать разностную аппроксимацию для уравнения в частных производных первого порядка</p> $a(u) \frac{\partial u}{\partial t} + b(u) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ <p>3. Написать разностную схему для первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольнике</p>	<p style="text-align: center;">БИЛЕТ № 2</p> <p>1. Методом характеристик найти общее решение уравнения Хопфа</p> $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ <p>2. Написать разностную аппроксимацию для уравнения в частных производных первого порядка</p> $a(x) \frac{\partial u}{\partial t} + b(t) \frac{\partial u}{\partial x} = f(u)$ <p>3. Написать явную разностную схему для второй краевой задачи для уравнения теплопроводности</p>
<p style="text-align: center;">БИЛЕТ № 3</p> <p>1. Найти решение вида бегущей волны для линейного уравнения переноса</p> $\frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial x} = -bu$ <p>4. Написать разностную аппроксимацию для уравнения в частных производных первого порядка</p> $a(x) \frac{\partial u}{\partial t} + b(t) \frac{\partial u}{\partial x} = f(x)$ <p>2. Написать явную разностную схему для уравнения теплопроводности и найти условия ее устойчивости</p>	<p style="text-align: center;">БИЛЕТ № 4</p> <p>1. Методом характеристик найти общее решение уравнения</p> $x \frac{\partial u}{\partial t} + t \frac{\partial u}{\partial x} = -u$ <p>5. Написать разностную аппроксимацию для уравнения в частных производных первого порядка</p> $a(t, x, u) \frac{\partial u}{\partial t} + b(t, x, u) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ <p>2. Написать неявную разностную схему для уравнения теплопроводности</p>

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

1. Численное решение линейного уравнения в частных производных первого порядка с постоянными коэффициентами методом характеристик
2. Численное решение линейных уравнений с переменными коэффициентами с использованием разностных схем
3. Численное моделирование нелинейных уравнений в частных производных первого порядка
4. Численное моделирование первой и второй краевых задач для уравнения теплопроводности
5. Численное моделирование уравнения Бюргерса

Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы

Показатели	На «Зачтено»	На «Не зачтено»
Формулы, команды, вычисления	Применяются необходимые в условиях поставленной задачи команды без синтаксических ошибок; вычисления выполнены в полном объеме и представлены в соответствующем заданию формате.	Используются неприменимые в условиях поставленной задачи команды; в базовых выражениях допущены ошибки; вычисления отсутствуют или выполнены некорректно.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.	Вид зависимостей неверный, соответствующее заданию оформление графиков отсутствует.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развернутые, корректные ответы на все вопросы; правильно интерпретируются результаты вычислений	Объяснение отсутствует.

Вопросы к экзамену по курсу «Математическое моделирование в нанoeлектронике»

1. Основы математических моделей взаимодействия ионов с веществом.
2. Основные этапы вывода уравнения Больцмана.
3. Разностные схемы для простейших линейных уравнений переноса.
4. Постановка краевых задач для уравнения переноса
5. Общая схема вывода многомерного уравнения переноса.
6. Схема бегущего счета. Многослойные схемы.
7. Основы построения квазилинейных уравнения переноса.
8. Сильные и слабые разрывы. Псевдовязкость.
9. Уравнение Хопфа. Свойства решений.
10. Уравнение Бюргерса. Замена Коула-Хопфа.

Описание процедуры выставления оценки

Для успешного освоения дисциплины обязательно: выполнение и защита всех лабораторных работ (являются формой текущей аттестации).

Оценка за экзамен складывается из допуска до экзамена, оценки за ответы на вопросы на экзамене. См. ниже таблицу требований.

На «3»	На «4», продвинутый уровень	На «5», высокий уровень
<p>1. Знание основных методов разработки и исследования основных физических моделей.</p> <p>2. Умение использовать численные и численно-аналитические методы решения задач Коши и краевых задач для дифференциальных уравнений</p>	<p>1. Уверенное знание основных методов разработки и исследования физических моделей.</p> <p>2. Уверенное использование численно-аналитических методов решения задач Коши и краевых задач для дифференциальных нанoeлектроники</p>	<p>1. Знание основных методов разработки и исследования относительно сложных, в том числе нелинейных физических моделей нанoeлектроники.</p> <p>2. Умение использовать разнообразные оптимальные численные методы решения задач Коши и краевых задач для дифференциальных уравнений нанoeлектроники</p>