

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от "30"ноября 2022 г.
№13

Рабочая программа дисциплины
«Численное моделирование электростатических полей»

Уровень высшего образования
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакommunikации и журналистика

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Численное моделирование электростатических полей» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-ем году обучения в 5-ом семестре.

Цель дисциплины – углубленное ознакомление аспирантов с методами моделирования электрического и магнитного полей в структурах произвольной геометрии, используемых в мощных электронных приборах СВЧ. Для освоения материала используются наиболее простые примеры из теории формирования электронных пучков.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- Уравнения электромагнитного поля в дифференциальной и интегральной формулировках как в двумерной, так и трехмерной постановках.
- Граничные условия на границе раздела двух сред.

Уметь:

- Проводить дискретизацию исходной задачи как для дифференциальной, так и интегральной формулировок.
- Выбирать наиболее адекватный метод численного решения задачи.
- Оценивать исходные шаги сеток и размер матрицы системы линейных уравнений и время решения задачи.

Владеть:

- Современными методами численного решения уравнений электростатики в сложных областях произвольной геометрии включая методы сеток, конечных элементов, интегральных уравнений, вспомогательных зарядов.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение	4	2	-	-	-	2	2
2. Общие вопросы моделирования электронно-оптических систем (ЭОС)	13	6	-	-	-	6	7
3. Метод сеток	18	9	-	-	-	9	9
4. Метод конечных элементов	14	7	-	-	-	7	7

5. Методы интегральных уравнений и вспомогательных зарядов	12	6	-	-	-	6	6
6. Методика выбора метода решения полевой задачи при численном моделировании	11	6	-	-	-	6	5
Аттестация по дисциплине – зачет							
Итого	72	36	-	-	-	36	36

Таблица 2

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Предмет и задачи курса. Численное моделирование и его этапы. Разделы курса.	Лекции	-
2	Общие вопросы моделирования электронно-оптических систем (ЭОС)	Требования к ЭОС приборов СВЧ электроники. Система уравнений электронного потока в ЭОС. Метод итераций. Метод трубок тока и проблема моделирования распределения плотности объемного заряда.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Метод сеток	Понятие о методе сеток. Расчет поля в триодной структуре. Метод сеток в области произвольной формы. Сетки с переменным шагом. Анализ геометрии области. Аппроксимация граничных условий. Аппроксимация уравнения Пуассона. Методы решения разностных уравнений (метод прогонки, простая итерация, верхняя релаксация, метод продольно-поперечной прогонки). Методы неполной матричной факторизации (метод Булеева). Скорость сходимости и точность метода сеток. Примеры использования метода сеток.	Лекции	-
4	Метод конечных элементов	Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.). Метод конечных элементов в двумерной области. Виды и классификация	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного

		конечных элементов. Понятие о локальных координатах и криволинейных конечных элементах. Моделирование режимов работы магнетронно-инжекторной пушки на базе метода конечных элементов.		ного проверяющему по электронной почте
5	Методы интегральных уравнений и вспомогательных зарядов	Метод интегральных уравнений. Методика сведения задачи к системе линейных алгебраических уравнений большого порядка. Расчет электрического поля в методе интегральных уравнений. Расчет ЭОС клистрона. Сложность описания поля вблизи поверхности электродов. Метод вспомогательных источников.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
6	Методика выбора метода решения полевой задачи при численном моделировании	Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.	Лекции	-

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со списком вопросов 5.2) состояния отдельных частей индивидуального портфолио обучающегося не менее двух раз в течение семестра.
3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «Численное моделирование электростатических полей», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	Владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	Непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. Основные положения метода трубок тока.
2. Методика сведения уравнений в частных производных к системе линейных алгебраических уравнений в методе сеток.
3. Анализ геометрии области в методе сеток.
4. Методы решения сеточных уравнений. Скорость сходимости методов.
5. Основные понятия метода конечных элементов (конечный элемент, пробная функция, элементный вектор и т.д.).
6. Методика использования метода конечных элементов в областях произвольной формы.
7. Задание граничных условий в методе конечных элементов. Решение неоднородных уравнений.
8. Методика получения системы линейных алгебраических уравнений большого порядка в методах интегральных уравнений и вспомогательных источников. Достоинства и недостатки методов.
9. Сравнительная характеристика различных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - Теоретическая физика: учеб. пособие: в 10 т. Т. 8. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 664 с.
2. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков: в 2 т. - М.: Физматлит, 2003.
3. Трубецков Д. И. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 2. - М., 2004. - 648 с.
4. Ильин В. П. - Численные методы решения задач электрофизики. - М.: Наука, 1985. - 334 с.
5. Марчук Г. И. - Методы вычислительной математики: [учеб. пособие для вузов по специальности "Приклад. математика"]. - М.: Наука, 1980. - 535 с.

б) Дополнительная литература:

1. Гайдук В. И., Палатов К. И., Петров Д. М. - Физические основы электроники сверхвысоких частот. - М.: Советское радио, 1971. - 600 с.
2. Электронные приборы СВЧ: [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]./Березин В. М., Буряк В. С., Гутцайт Э. М., [и др.]. - М.: Высшая школа, 1985. - 296 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

1. <http://e.lanbook.com/>;
2. <http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор _____ В.Н. Мануилов

Рецензент _____ Н.Д. Миловский

Зав. кафедрой квантовой радиофизики и электроники _____ С.А. Бельков

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.