

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

_____ Матросов В.В.

“___” _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**Моделирование оптических процессов методом конечных разностей во
временной области**

Уровень высшего образования
Аспирантура

Направление подготовки
03.06.01 "Физика и астрономия"

Направленность подготовки
01.04.21 "Лазерная физика"

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
Очная

Нижегород
2021

1. Место и цели дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Моделирование оптических процессов методом конечных разностей во временной области» относится к числу профессиональных дисциплин вариативной части ОПОП, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 3 семестре.

Цель освоения дисциплины состоит в формировании у обучающегося целостной системы знаний по основам моделирования оптических процессов с использованием метода конечных разностей во временной области и в приобретении практических навыков разработки программ численного моделирования на основе этого метода.

Изучение данной дисциплины базируется на дисциплинах, освоенных на предыдущих уровнях обучения: «Электродинамика», «Распространение электромагнитных волн», «Алгоритмы и языки программирования».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 (базовый этап) способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы	З1 Знать основные концепции современной лазерной физики У1 Уметь работать на современном оптическом и измерительном оборудовании В1 Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследований В2 Владеть навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке
ПК-2 (базовый этап) Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики	З1 Знать современное состояние исследований в области лазерной физики У1 Уметь определять наиболее актуальные направления исследований В1 Владеть навыками формулирования задач для членов исследовательской группы

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятий лекционного типа и 18 часов практические занятия), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (часы)					Самостоятельная работа обучающегося (часы)
		Занятия лекц. типа	Занятия семинар. типа	Занятия лаборат. типа	Консультации	Всего	
1. Введение в дисциплину. Практические приложения метода конечных разностей. Обзор различных численных ошибок при моделировании.	2	1	1			2	0
2. Построение алгоритмов моделирования в одномерном случае. Выбор сетки. Выбор начальных и граничных условий. Сходимость. Выбор пространственного и временного шагов. Численная дисперсия. Основы написания программ моделирования.	12	3	3			6	6
3. Моделирование поглощающих и дисперсионных сред. Безотражательные граничные условия в одномерном случае.	8	2	2			4	4
4. Разделение областей моделирования на область полного и рассеянного полей в одномерном случае.	4	1	1			2	2
5. Получение частотных характеристик в одномерном случае.	4	1	1			2	2
6. Моделирование в двумерном случае. Дискретизация. Алгоритм. Построение сетки. Выбор граничных и начальных условий. Сходимость алгоритма, разделение областей. Написание программ для двумерного случая.	16	4	4			8	8
7. Теоретические основы создания поглощающих слоев в двумерном случае. Тензоры электрической и магнитной проводимостей. Написание программы.	8	2	2			4	4
8. Разделение областей моделирования в двумерном случае. Примеры распространения волны.	4	1	1			2	2
9. Решение задач рассеяния в двумерном случае.	14	3	3			6	8
Промежуточная аттестация (балльная)-рейтинговая							
Итого:	72	18	18			36	36

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: диалогичная форма проведения лекционных занятий, интерактивный разбор решений конкретных задач моделирования во время семинаров. Лекционные занятия предусматривают демонстрацию формул, таблиц, схем, рисунков и фотографий с использованием проектора и компьютера.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- ▲ разбор лекционного материала,
- ▲ изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- ▲ выполнение домашних заданий по решению задач.

Текущий контроль усвоения материала проводится путем балльной оценки домашних заданий.

Примеры домашних заданий:

- 1) Разработать программу одномерного моделирования распространения оптического импульса используя метод конечных разностей. Запустить два импульса (ширина $\tau=5$ фс, расстояние в начальный момент 50 микрон), распространяющиеся навстречу друг другу. Что происходит при их прохождении через друг друга?
- 2) Создать монохроматическую волну в резонаторе с граничными условиями $E=0$. Убедиться, что происходят периодические колебания во времени при выборе временного шага с $\xi < 1$. Найти, как будет расти поле при $\xi=1.01$, и сравнить коэффициент роста во времени с аналитическим значением, которое получается из дисперсионного анализа для дискретной среды.
- 3) Используя метод КРВО (конечных разностей во временной области) рассчитать распространение оптического импульса и получить его значительное искажение на больших расстояниях. Теперь, представляя такой же импульс аналитически как суперпозицию плоских волн, рассчитать, используя преобразование Фурье, как он будет распространяться в пространстве с дисперсией $n(\omega)$, полученной для дискретной среды. Сравнить распределения поля импульса после прохождения одного и того же расстояния, используя эти два метода. Получить полное совпадение результатов.
- 4) Создать в вакууме начальный импульс с длиной волны $\lambda_0=600$ нм и длительностью $\tau=5$ фс. Найти численно и построить коэффициент отражения от полупространства с $\varepsilon=2$ в области частот, задаваемой начальным импульсом. Сравнить с аналитической зависимостью.
- 5) Найти численно и построить коэффициент отражения от полупространства с $\varepsilon=2$, но при наличии поглощения с $\sigma=2\omega_0$, где $\omega_0=2\pi c/\lambda_0$. Сравнить с аналитической зависимостью.
- 6) Промоделировать распространение импульса (с длиной волны $\lambda_0=600$ нм и длительностью $\tau=5$ фс) в свободном пространстве, используя методику разделения области моделирования на область полного поля и область рассеянного поля. Продемонстрировать правильность работы алгоритма, построив распределения полей в различные моменты времени: при входе в область полного поля и при выходе из нее.
- 7) Найти частотную зависимость коэффициента отражения и коэффициента прохождения для слоя с проницаемостью $\varepsilon=4$ и толщиной $L=1500$ нм. Сравнить результаты с аналитическими.
- 8) Написать программу двумерного моделирования оптических процессов для ТЕ поляризации (E_z , H_x , H_y) используя нулевые граничные условия для E_z . Продемонстрировать динамику поля E_z (распространение поля, отражение от границ) при возбуждении точечным источником тока в свободном пространстве.
- 9) Добавить поглощающий слой (PML) около всех границ. Промоделировать отражение волн при нескольких значениях (2-3) параметров слоя. Выбрать наиболее подходящий набор параметров и продемонстрировать эффективность поглощения в слое.

10) Оценить эффективность использования импедансно-согласованного поглощающего слоя (PML) для снижения отражения. Для этого сравнить отражение в двух случаях. Случай 1: используя PML с наиболее подходящими параметрами из предыдущего задания (2D моделирование, ТЕ поляризация). Случай 2: используя обычный изотропный слой с электрической проводимостью с такой же пространственной зависимостью для σ , как и для PML. Сделать выводы об эффективности PML по сравнению с обычным изотропным слоем с электрической проводимостью.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины и выставление зачета проводится по результатам выполнения домашних заданий. За решение каждой домашней задачи начисляются баллы в зависимости от полноты и правильности ее выполнения. Для получения оценки "зачет" необходимо набрать 60% и более от максимального количества баллов.

6.3 Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения по дисциплине используется балльная система оценки домашних задач в зависимости от полноты и правильности их решения. Варьирование уровней сложности задач позволяет оценить уровень формирования компетенций. Каждая задача (см. примеры в п.5) составлена с учетом развития одновременно всех компетенций (ПК-1, ПК-2), формируемых дисциплиной.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Типовые задачи приведены в пункте 5.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» (Утвержден приказом Минобрнауки РФ от 19 декабря 2013 г. № 1367).

Методические рекомендации по разработке основных профессиональных образовательных программ и дополнительных профессиональных программ с учетом соответствующих профессиональных стандартов (Утверждены приказом Минобрнауки РФ от 22 января 2015 г. № ДЛ-1/05вн).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Учебно-методическое пособие: А. В. Маслов "Решение электродинамических задач методом

конечных разностей во временной области (http://www.unn.ru/books/met_files/fdtd_maslov.pdf)

2. Manolatu C., Haus H.A. (2002) The Finite Difference Time Domain (FDTD) Method. In: Passive Components for Dense Optical Integration. Springer, Boston, MA,

DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0855-7_3

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-0855-7_3

3. Archambeault B., Brench C., Ramahi O.M. (2001) The Finite-Difference Time-Domain Method. In: EMI/EMC Computational Modeling Handbook. The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol 630. Springer, Boston, MA

DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1557-9_3

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-1557-9_3

б) Дополнительная литература:

1. Джексон Д., "Классическая электродинамика", М. Мир. 1965 г., 702 с.

2. Ландау Л., Лифшиц Е. М., "Электродинамик сплошных сред", М. Гостехиздат, 1957 г. 432 с.

3. Valuev I., Deinega A., Knizhnik A., Potapkin B. (2007) Creating Numerically Efficient FDTD Simulations Using Generic C++ Programming. In: Gervasi O., Gavrilova M.L. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2007. ICCSA 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4707. Springer, Berlin, Heidelberg

DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-74484-9_19

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74484-9_19

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения (прокторами), служащими для представления информации большой аудитории.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ОПОП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и направленности 01.04.21 Лазерная физика.

Автор: _____ Маслов А. В.

Рецензент: _____ Жуков С.Н.

Заведующий кафедрой общей физики ННГУ _____ Бакунов М. И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № ____.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: базовые разделы высшей математики, теоретической и лазерной физики.

УМЕТЬ: проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Основные концепции современной лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях лазерной физики	Неполные представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные систематические представления об основных концепциях лазерной физики
УМЕТЬ: Работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании
ВЛАДЕТЬ: Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но не систематическое применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	Успешное и систематическое владение современными теоретическими и экспериментальными методами исследований

ВЛАДЕТЬ: Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но не систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Успешное и систематическое владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке
---	--------------------	---	---	---	---

ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: основы лазерной физики.

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Современное состояние исследований в области лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Неполные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные систематические представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики
УМЕТЬ: Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками формулирования	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешное, но содержащее отдельные	Успешное и систематическое владение навыками

задач для членов исследовательской группы		формулирования задач для членов исследовательской группы	применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	пробелы применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	формулирования задач для членов исследовательской группы
УМЕТЬ: курировать выполнение квалификационных работ бакалавров, специалистов, магистров	Отсутствие умений	Затруднения с разработкой плана и структуры квалификационной работы	Умение разрабатывать план и структуру квалификационной работы	Оказание разовых консультаций учащимся по методам исследования и источникам информации при выполнении квалификационных работ бакалавров, специалистов, магистров	Оказание систематических консультаций учащимся по методам исследования и источникам информации при выполнении квалификационных работ бакалавров, специалистов, магистров
ВЛАДЕТЬ: технологией проектирования образовательного процесса на уровне высшего образования	Отсутствие навыков	Проектируемый образовательный процесс не приобретает целостности	Проектирование образовательного процесса в рамках дисциплины	Проектирование образовательного процесса в рамках модуля	Проектирование образовательного процесса в рамках учебного плана

