

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Компьютерное моделирование оптических процессов

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.02 Компьютерное моделирование оптических процессов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знание основ компьютерного моделирования оптических процессов Умение и навыки разработки программ компьютерного моделирования оптических процессов Опыт использования программ для решения научно-исследовательских задач из области оптики ПК-1.2: Знание основ компьютерного моделирования оптических процессов Умение и навыки разработки программ компьютерного моделирования оптических процессов Опыт использования программ для решения научно-исследовательских задач из области оптики	Задачи	Зачёт: Задачи
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных	ПК-2.1: Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач в области оптики, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Умение и навыки использования современного компьютеров, а	Задачи	Зачёт: Задачи

<p>конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>также новейшего отечественного и зарубежного опыта Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области оптики</p> <p>ПК-2.2: Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач в области оптики, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Умение и навыки использования современного компьютеров, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области оптики</p> <p>ПК-2.3: Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач в области оптики, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Умение и навыки использования современного компьютеров, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области оптики</p> <p>ПК-2.4: Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач в области оптики, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта Умение и навыки использования современного компьютеров, а также новейшего отечественного и</p>		
--	--	--	--	--

		зарубежного опыта Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области оптики		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение в дисциплину. Обзор практических приложений и различных численных ошибок	2	2		2	
Тема 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	18	6		6	12
Тема 3. Моделирование поглощающих и дисперсионных сред. Безотражательные граничные условия в одномерном случае	14	4		4	10
Тема 4. Разделение областей моделирования на область полного и рассеянного полей в одномерном случае. Получение частотных характеристик в одномерном случае	14	4		4	10
Тема 5. Моделирование в двумерном случае. Дискретизация. Алгоритм. Построение сетки. Выбор граничных и начальных условий. Сходимость алгоритма, разделение областей. Написание программ для двумерного	24	6		6	18

случая					
Тема 6. Поглощающие слои в двумерном случае	12	4		4	8
Тема 7. Разделение областей моделирования в двумерном случае. Задание падающих волн	4	2		2	2
Тема 8. Решение задач рассеяния в двумерном случае	19	4		4	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

-

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

-

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Разработать программу одномерного моделирования и найти ответы на следующие вопросы (с демонстрацией результатов в виде графиков). Что будет происходить, если в качестве начального условия для полей задать электрическое поле в виде импульса в момент $t=0$, но использовать нулевое значение магнитного поля при $t=-\Delta t/2$? Объяснить результат.

2. Что будет, если использовать для области моделирования граничные условия $H=0$? Объяснить результат.

3. 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?

4. Создать монохроматическую волну в резонаторе с граничными условиями $E=0$. Достаточно взять несколько пространственных периодов. 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.

5. Используя метод КРВО рассчитать распространение 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, полученной для дискретной среды. Сравнить распределения поля импульса после прохождения одного и того же расстояния, используя эти два метода. Получить полное совпадение результатов.

6. Используя программу одномерного моделирования и методы нахождения частотных характеристик, решить следующую задачу. 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 $\epsilon = 2$ в области частот, задаваемой начальным импульсом. Сравнить с аналитической зависимостью.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. 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 $\epsilon = 2$ при наличии поглощения с $\sigma = 2\omega_0$, где $\omega_0 = 2\pi c / \lambda_0$. Сравнить с аналитической зависимостью.

2. Создать в вакууме начальный импульс с длиной волны $\lambda_0 = 600$ нм и длительностью $\tau = 5$ фс. На границе области моделирования создать поглощающий слой, в котором создаются электрические и магнитные токи. Поглощение считать однородным во всем слое. Для нескольких значений параметра $\eta = 2\pi\sigma\Delta t$ найти и построить зависимость коэффициента отражения от толщины слоя (количества ячеек).

3. Отражение можно оценивать используя максимальное значение отраженного импульса. Сделать выводы об оптимальном (максимально уменьшающем отражение) выборе параметра η и толщины слоя.

4. Про моделировать 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.

5. Рассчитать численно на основе метода КРВО частотную зависимость коэффициента отражения и коэффициента прохождения, если имеется слой с проницаемостью $\epsilon = 4$ и толщиной $L = 1500$ нм. Сравнить результаты с аналитическими.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части

Оценка	Критерии оценивания
	компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнен	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами		ы все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Разработать программу одномерного моделирования и найти ответы на следующие вопросы (с демонстрацией результатов в виде графиков). Что будет происходить, если в качестве начального условия для полей задать электрическое поле в виде импульса в момент $t=0$, но использовать нулевое значение магнитного поля при $t=-\Delta t/2$? Объяснить результат.

2. Что будет, если использовать для области моделирования граничные условия $H=0$?
Объяснить результат.
3. 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?
4. Создать монохроматическую волну в резонаторе с граничными условиями $E=0$. Достаточно взять несколько пространственных периодов. 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.
5. Используя метод КРВО рассчитать распространение 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, полученной для дискретной среды. Сравнить распределения поля импульса после прохождения одного и того же расстояния, используя эти два метода. Получить полное совпадение результатов.
6. Используя программу одномерного моделирования и методы нахождения частотных характеристик, решить следующую задачу. 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 $\epsilon=2$ в области частот, задаваемой начальным импульсом. Сравнить с аналитической зависимостью.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. 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 $\epsilon=2$ при наличии поглощения с $\sigma=2\omega_0$, где $\omega_0=2\pi c/\lambda_0$. Сравнить с аналитической зависимостью.
2. Создать в вакууме начальный импульс с длиной волны $\lambda_0=600$ нм и длительностью $\tau=5$ фс. На границе области моделирования создать поглощающий слой, в котором создаются электрические и магнитные токи. Поглощение считать однородным во всем слое. Для нескольких значений параметра $\eta=2\pi\sigma\Delta t$ найти и построить зависимость коэффициента отражения от толщины слоя (количества ячеек).
3. Отражение можно оценивать используя максимальное значение отраженного импульса. Сделать выводы об оптимальном (максимально уменьшающем отражение) выборе параметра η и толщины слоя.
4. 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.
5. Рассчитать численно на основе метода КРВО частотную зависимость коэффициента отражения и коэффициента прохождения, если имеется слой с проницаемостью $\epsilon=4$ и толщиной $L=1500$ нм. Сравнить результаты с аналитическими.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения,

Оценка	Критерии оценивания
	<p>владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»</p>
не зачтено	<p>Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»</p>

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

Основная литература:

1. Маслов А. В. Решение электродинамических задач методом конечных разностей во временной области : учебно-методическое пособие / Маслов А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. - 42 с. - Рекомендовано научно-методическим советом исследовательской школы «Лазерная физика» для аспирантов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», и для магистрантов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.04.03 «Радиофизика», 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730408&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Джексон Джон. Классическая электродинамика / пер. с англ. Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева ; под ред. Э. Л. Бурштейна. - М. : Мир, 1965. - 702 с. : черт. - 2.95., 23 экз.

2. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред : Учебное пособие. - 5-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1702-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741032&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Маслов Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.