

Рабочая программа дисциплины

1. Современные методы моделирования нелинейных задач фотоники

2. Лекторы.

2.1. Д.ф.-м.н., профессор Трофимов Вячеслав Анатольевич, кафедра вычислительных методов, факультет ВМК, vatro@cs.msu.ru, тел. 939-52-55.

2.2. К.ф.-м.н., доцент, Захарова Ирина Гургеновна, кафедра фотоники и физики микроволн, физический факультет, zaharova@physics.msu.ru, тел. 939-16-62.

3. Аннотация дисциплины.

В настоящее время любое теоретическое или экспериментальное исследование требует привлечения математического моделирования. В связи с этим умение грамотно использовать аппарат моделирования применительно к выбранной области современной физики является необходимым практически для каждого специалиста. В процессе чтения курса студенты получают как базовые, так и профильные знания о принципах выполнения вычислительного эксперимента в области нелинейной фотоники. Особое внимание уделяется современным задачам фотоники, включая терагерцовую фотонику.

Распространение фемтосекундных импульсов, как правило, сопровождается нелинейными процессами. Поэтому некоторые базовые принципы при построении численных методов для его компьютерного моделирования являются основой получения правильных результатов. Большую роль в этом играют инварианты задачи. Они используются не только для контроля результатов компьютерного моделирования, но и для построения точных аналитических решений. Последние, в свою очередь, позволяют проанализировать множественность решений, а также могут быть использованы для тестирования численных методов.

При выборе материала учитывалась специфика научных направлений, развиваемых на кафедре фотоники и физики микроволн. В рамках лекционного курса студенты познакомятся с многочисленными примерами, иллюстрирующими численные подходы к различным типам возникающих задач, на простейших примерах научатся самостоятельно строить численные методы и анализировать применимость этих методов к конкретным задачам.

4. Цели освоения дисциплины.

Основной целью лекционного курса является введение в современные проблемы фотоники и численные методы для расчета соответствующих нелинейных уравнений, а также освоение студентами знаний о тех принципах, которыми следует руководствоваться при проведении математического моделирования различных явлений, изучаемых в фотонике. Поскольку важнейшей составной частью моделирования является численный метод, большое внимание уделяется выбору численного алгоритма, адекватного поставленной задаче. Студенты узнают на какие свойства модели следует обращать внимание при ее численном решении, какими свойствами должен обладать численный метод для получения надежных результатов вычислений.

5. Задачи дисциплины.

Основными задачами лекционного курса являются: (1) систематическое изложение основополагающих принципов современного подхода к моделированию задач фотоники; (2) приобретение навыков построения алгоритмов моделирования на примере характерных задач, исследуемых в современной фотонике.

6. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать основные принципы подхода к моделированию задач нелинейной фотоники; владеть полученными теоретическими и практическими знаниями и уметь применять эти знания для построения алгоритмов моделирования современных задач фотоники.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	5			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:	30			30
Лекции, акад. часов	-			-
Семинары , акад. часов	-			-
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	42			42
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	зачет			зачет

№ раз-дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий		Форма текущего контроля
		Аудиторная работа	Самостоятельная работа	
		Лекции		
1	Постановки задач о распространении световых волн в линейных и нелинейных средах	<p><i>Лекция 1 (2 часа)</i> Примеры физических постановок задач распространения светового излучения в линейных и нелинейных средах. Виды нелинейности (кубичная, квадратичная, тепловая и т.п.). Отличительные черты фемтосекундной оптики с точки зрения уравнений и нелинейностей.</p>		
		<p><i>Лекция 2 (2 часа)</i> Понятие математической модели для исследуемого класса задач. Ее связь с физической моделью. Нормировки физических величин. Постановка начальных и граничных условий.</p>	(2 часа) Самостоятельная проработка примера получения математической модели путем нормировки физических величин для задачи генерации второй гармоники.	ДЗ
		<p><i>Лекция 3 (2 часа)</i> Законы сохранения при взаимодействии лазерного фемтосекундного импульса с веществом. Метод их получения. Преобразование обобщенного нелинейного уравнения Шредингера.</p>	(2 часа) Самостоятельная проработка примера вывода трех интегралов движения для задачи генерации второй оптической гармоники.	ДЗ
2	Подходы к построению численных методов	<p><i>Лекция 4 (2 часа)</i> Сохранение интегралов движения, присущих физической модели, как базовый принцип построения численного метода. Понятие о консервативных разностных схемах. Важность свойства асимптотической устойчивости. Примеры их построения.</p>	(2 часа) Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
		<p><i>Лекция 5 (2 часа)</i> Методы расщепления по физическим факторам для расчета эволюционных многомерных нелинейных моделей.</p>	(2 часа) Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
		<p><i>Лекция 6 (2 часа)</i> Нелинейные консервативные разностные схемы. Методы их решения. Место итерационных алгоритмов при построении численных методов для расчета нелинейных процессов.</p>	(2 часа) Самостоятельное построение итерационного алгоритма для модели стационарного самовоздействия световой волны в кристалле с керровской нелинейностью.	ДЗ
		<p><i>Лекция 7 (2 часа)</i> Многоэтапные итерационные методы, как универсальный инструмент для реализации консервативных разностных схем для уравнений с произвольными краевыми условиями.</p>	(2 часа) Самостоятельное построение численного алгоритма для трехмерной модели генерации второй гармоники.	ДЗ

	Их преимущества перед методами расщепления по физическим процессам.		
	<i>Лекция 8 (2 часа)</i> Адаптивные искусственные краевые условия для нелинейного уравнения Шредингера. Их преимущества перед другими искусственными условиями.	<i>(2 часа)</i> Самостоятельное построение адаптивных краевых условий для двумерной модели распространения дифрагирующего светового пучка в кристалле с кубичной нелинейностью.	ДЗ
	<i>Лекция 9 (2 часа)</i> Численное решение уравнений Максвелла с помощью разностной схемы Finite Difference Time Domain (FDTD).	<i>(2 часа)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
	<i>Лекция 10 (2 часа)</i> Солитонные решения “классических” задач нелинейной оптики. Солитонные решения в фотонных кристаллах. Остановка света и эффект локализации света в нелинейном фотонном кристалле. ”Блуждающие” солитоны и солитоны, формирующиеся вблизи поверхности фотонного кристалла. Управление скоростью движения солитонов нелинейностью средой, окружающей фотонный кристалл.	<i>(2 часа)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
	<i>Лекция 11 (2 часа)</i> Чирпированные солитоны и автомодельные решения - новый класс солитонов нелинейной оптики.	<i>(2 часа)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
	<i>Лекция 12 (2 часа)</i> Роль инвариантов при построении точных решений систем нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих преобразование частоты высокоинтенсивных оптических импульсов среде с комбинированной нелинейностью.	<i>(2 часа)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
	<i>Лекция 13 (2 часа)</i> Четырехволновое взаимодействие – важный инструмент диагностики веществ. Методы анализа множественности решений задачи.	<i>(2 часа)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции.	ДЗ
	<i>Лекция 14 (2 часа)</i> Современные методы импульсной терагерцовой спектроскопии веществ.	<i>(6 часов)</i> Самостоятельный анализ материалов лекции. Повторение материала курса и решение тестовых задач	ДЗ
	<i>(2 часа)</i> <i>Итоговая контрольная работа</i>		ДЗ

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости:

1. Домашнее задание (ДЗ);
2. Итоговая контрольная работа (ИКР).

9. Образовательные технологии

Основное изложение материала, необходимого для решения задач, ведётся традиционным способом в виде лекций, сопровождаемых демонстрацией слайдов. Используется мультимедийный проектор, что позволяет, в том числе, наглядную демонстрацию примеров моделирования. В процессе лекционного решается множество задач, нацеленных на выработку умения строить алгоритмы для моделирования круга явлений, исследуемых в лабораториях кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета.

10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Текущий контроль успеваемости проводится с помощью проверки домашних заданий. Критерии формирования оценки – умение решать тестовые задачи по пройденной части курса.

- **Промежуточная аттестация** проводится в конце семестра в виде экзамена в письменной форме. На экзамене предлагается контрольная работа, состоящая из 5 задач. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на занятиях, результаты контрольной работы.

Образцы тестовых задач для контрольной работы

1. Записать математическую модель, описывающую самовоздействие двумерного светового пучка в среде с кубической нелинейностью. Для этой модели построить численный метод на основе расщепления по физическим факторам. Указать способ реализации этого метода.
2. Для щелевого пучка, распространяющегося в кубично-нелинейной среде, записать модель с прозрачными граничными условиями. Для этой модели построить численный метод и указать способ ее реализации.
3. Построить консервативную разностную схему на характеристической сетке для модели встречных волн, распространяющихся в кубической среде.
4. Построить алгоритм метода FDTD для уравнений Максвелла в ТМ случае.
5. Записать математическую модель, описывающую процесс генерации второй оптической гармоники, когда можно пренебречь эффектами дисперсионного расплывания импульсов, а групповые скорости всех волн одинаковы. Построить разностную схему для этой модели и указать способ ее реализации.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. А.А. Самарский, А.П. Михайлов. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры, М. “Физматлит”, 2005.

2. Р.П.Федоренко. Введение в вычислительную физику, Изд-во МФТИ, 1994, 2008.
3. Ю.Н.Карамзин, А.П.Сухоруков, В.А.Трофимов. Математическое моделирование в нелинейной оптике. М., Изд-во МГУ, 1989.
4. А.А.Самарский, А.В.Гулин. Численные методы математической физики. 2000.
5. Дифракционная нанофотоника/ Под ред. В.А. Сойфера. М. “Физматлит”, 2011.

Дополнительная литература

- 1.Г.П. Агравал. Нелинейная волоконная оптика. 1996.
- 2.Г.И. Марчук. Методы вычислений, 1977.
3. Ю.С. Кившарь, Г.П. Агравал. Оптические солитоны. От волоконных световодов к фотонным кристаллам. М. “Физматлит”, 2005.

Периодическая литература

1. P. Monk, Finite element methods for Maxwell's equations (Oxford Science Publications, Oxford, 2003).
2. A. Taflove and S. C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3rd ed. (Artech House, Boston, 2005).
3. A. Aceves, C.M. deSterke and M. Weinstein, Book chapter: “Theory of nonlinear pulse propagation periodic structures “ Nonlinear Photonic Crystals, B. Eggleton and R.E. Slusher. Springer series in Photonics, (2003), Vol 10. Springer Eds.
4. T. Dohnal, A. Aceves (2005), “Optical soliton bullets in (2+1)D nonlinear bragg resonant periodic geometries”, Studies in Applied Mathematics, 115 209-232.
53. T. Dohnal and A. B. Aceves . A finite dimensional model for defect-trapped light in 2D periodic nonlinear structures, (2006), Optics Letters, 13, 3013-3015.
5. A. Alberucci, and G. Assanto , Modeling nematicon propagation, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 572 (1), (2013), 2-12
6. M. Conforti, F. Baronio, S. Trillo, Dispersive shock waves in phase-mismatched second-harmonic generation. Optics Letters. Vol. 37, No. 6, 2012, pp: 1082-1084
7. K. Busch, M. König, and J. Niegemann, Discontinuous Galerkin method in nanophotonics. Laser & Photonics Rev. 5, No. 6, 773– 809, 2011
8. Guy Bouchitté, Christophe Bourel, Didier Felbacq , Homogenization of the 3D Maxwell system near resonances and artificial magnetism, (2009), 571-576. In Comptes Rendus Mathematique 347 (9-10).

13. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Занятия проводятся в аудитории 2-59 физического факультета МГУ. Она оснащена мультимедийным проектором, экраном и доской.