

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УРАВНЕНИЯ ОПТОФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие
по самостоятельной работе для студентов направлений
«Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и
наноэлектроника»

2012

Уравнения оптофизики: Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе для студентов направлений «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и нанoeлектроника» / С.М. Шандаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 13 с.

Целью преподавания дисциплины «Уравнения оптофизики» является формирование у бакалавров понимания теоретических основ и математического аппарата современной оптической физики для последующего использования этих знаний при разработке, эксплуатации, исследовании физических свойств и технических характеристик элементов и устройств когерентной и нелинейной оптики, нелинейной и волноводной фотоники.

Предназначено для студентов очной, очно-заочной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Уравнения оптофизики».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

_____ С.М. Шандаров

« ____ » _____ 2012 г.

УРАВНЕНИЯ ОПТОФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие
по самостоятельной работе для студентов направлений
«Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и наноэлектроника»

Разработчик

д. ф.-м. н., проф. каф.ЭП

_____ С.М. Шандаров

« ____ » _____ 2012 г.

Содержание

Введение.....	5
Раздел 1. Моделирование процессов и явлений в физике и оптике	5
Раздел 2. Основные уравнения математической и оптической физики. Уравнения теплопроводности и диффузии. Дифракция светового пучка в параксиальном приближении. Аналитические методы решения краевых и нестационарных задач.	5
Раздел 3. Основные уравнения математической физики. Волновое уравнение. Уравнение Шрёдингера. Нелинейные волновые уравнения.	6
Раздел 4. Основные уравнения математической физики. Уравнение Пуассона. Собственные числа и собственные функции оператора Лапласа. Специальные функции.....	6
5 Лабораторные работы.....	7
6 Практические занятия.....	8
Заключение	9
Рекомендуемая литература	11

Введение

Цель преподавания дисциплины: формирование у бакалавров понимания теоретических основ и математического аппарата современной оптической физики для последующего использования этих знаний при разработке, эксплуатации, исследовании физических свойств и технических характеристик элементов и устройств когерентной и нелинейной оптики, нелинейной и волноводной фотоники.

Задачи изучения дисциплины

В результате изучения данной дисциплины студенты должны получить навыки математического моделирования реальных (в первую очередь физических) процессов на основе краевых задач для уравнений в частных производных.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать основные представления об уравнениях с частными производными, законы сохранения как основу модельного описания линейных и нелинейных оптических явлений.
- уметь моделировать реальные (в первую очередь оптические) процессы и явления как краевые задачи для уравнений в частных производных.
- владеть методами решения уравнений в частных производных для решения теоретических и практических задач оптической физики.

Раздел 1. Моделирование процессов и явлений в физике и оптике

Основные дифференциальные операторы оптической физики. Основные сведения об уравнениях с частными производными (УЧП). Особенности решения УЧП. Линейные и квазилинейные уравнения. Понятие о краевых задачах математической физики. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Основные уравнения математической и оптической физики. Моделирование физических процессов и явлений в оптике уравнениями в частных производных. Законы сохранения как основа модельного описания физических процессов и явлений в оптике. Классификация линейных УЧП второго порядка.

Раздел 2. Основные уравнения математической и оптической физики. Уравнения теплопроводности и диффузии. Дифракция светового пучка в параксиальном приближении. Аналитические методы решения краевых и нестационарных задач.

Вывод одномерной математической модели теплопроводности на основе закона сохранения энергии и закона Фурье. Необходимость

граничных условий (ГУ) и начальных условий (НУ). Вывод уравнения диффузии. Вывод уравнения, описывающего распространение парааксиальных световых пучков. Решение УЧП методом разделения переменных (метод Фурье). Линейные однородные ГУ. Алгоритм разделения переменных. Учет граничных и начальных условий. Свойство ортогональности для системы функций. Анализ решения УЧП методом разделения переменных. Преобразование задачи с неоднородными ГУ в задачу с однородными ГУ. Задача теплопроводности с производной в ГУ. Собственные значения и собственные функции. Задача Штурма-Лиувилля. Типы краевых условий. Метод интегральных преобразований. Схема алгоритма решения задачи методом интегральных преобразований. Прямое и обратное преобразование. Виды интегральных преобразований. Интегральное преобразование как разложение функции в некоторый спектр компонент. Решение задачи Коши (на примере уравнения теплопроводности) методом преобразования Фурье. Алгоритм решения и его реализация. Анализ решения, функция Грина (функция источника). Физическая интерпретация решения. Проявление принципа суперпозиции. Условия применимости преобразования Фурье и преобразования Лапласа для УЧП.

Раздел 3. Основные уравнения математической физики. Волновое уравнение. Уравнение Шрёдингера. Нелинейные волновые уравнения.

Вывод уравнений акустики. Волновое уравнение. Формула Кирхгофа. Принцип Гюйгенса. Акустическая интерпретация. Граничные условия для акустических волн. Уравнение Гельмгольца. Уравнения теории упругости. Уравнения упругих колебаний. Уравнение Шрёдингера в квантовой механике и оптике волноводов. Нелинейное уравнение Шрёдингера. Уравнение Кортевега-де Фриза. Солитоны. Краевые задачи дифракции для световых волн.

Раздел 4. Основные уравнения математической физики. Уравнение Пуассона. Собственные числа и собственные функции оператора Лапласа. Специальные функции.

Математическое моделирование электрических процессов и оптических явлений на основе уравнений Максвелла. Уравнения электростатики. Объемный потенциал, его свойства. Электростатическая интерпретация объемного потенциала. Физическая интерпретация основных граничных условий в электростатике. Исследование основных краевых задач для уравнения Лапласа. Уравнение Пуассона. Обобщенные функции и их свойства. Сингулярные обобщенные функции, дельта-функция Дирака. Фундаментальные решения для уравнений математической физики. Метод функции Грина. Построение функций Грина.

5 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их.

Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений. Исходя из возможностей лабораторного оборудования и условий индивидуального задания, выбирается и обосновывается метод проведения эксперимента, составляется методика и программа выполнения работы. В процессе самостоятельной подготовки к лабораторной работе каждый студент ведет черновик отчета, куда вносятся:

- методика проведения работы;
- формулы и предполагаемые графики.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

Прежде чем, приступить к систематическим измерениям, необходимо убедиться, что Вы знаете, как работает прибор, какая

взаимосвязь между отдельными элементами установки, т.е. что чем регулируется. Разобраться в этом вопросе студенту поможет внимательное чтение инструкций, описаний приборов и частных методических указаний.

В каждом эксперименте очень важно сразу же записывать все сделанное. Все результаты измерений следует записывать немедленно и без какой-либо обработки. Не проводите никаких, даже самых простых, арифметических расчетов в уме, прежде чем записать результат измерения. Пересчет показаний прибора в истинное значение измеряемой величины выполняется в процессе обработки результатов измерений. При проведении и записи измерений хорошо проверить то, что Вы записали, взглянуть еще раз на прибор.

Все записи необходимо датировать и снабжать заголовками.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, составленным по установленной форме, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов. Анализ результатов является важной частью отчета.

Здесь нужно привести:

– сопоставление с другими аналогичными результатами, если они имеются, с обязательной ссылкой на литературный источник;

– сопоставление с соответствующими теориями.

Таким образом, отчет студента должен представлять собой пусть небольшую, но законченную работу, хорошо оформленную и грамотно изложенную.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Решение уравнений в частных производных гиперболического типа
2. Моделирование параболических уравнений в частных производных по схеме Кранка–Николсона
3. Решение дифференциальных уравнений эллиптического типа
4. Пространственные солитоны в керровской среде с насыщением нелинейности

6 Практические занятия

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы. Темы практических занятий приведены ниже:

1. Классификация линейных уравнений второго порядка

2. Дифференциальные операторы и классификация векторных полей
3. Краевая задача для однородного уравнения теплопроводности. Диффузия. Дифракция параксиальных пучков
4. Однородное волновое уравнение: Краевая задача. Формула Даламбера решения задачи Коши
5. Уравнение Шрёдингера
6. Краевые задачи для уравнения Лапласа

Заключение

В итоге изучения тем студент должен, как минимум, знать следующие темы и ответы на вопросы:

1. Общий вид линейного дифференциального уравнения второго порядка.
2. Процесс разделения переменных в случае одномерного уравнения теплопроводности, диффузии и дифракции параксиальных пучков с двумя независимыми переменными.
3. Какие физические процессы и оптические явления описывает гиперболическое уравнение?
4. Какое уравнение называется однородным линейным дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка? Приведите примеры таких уравнений.
5. Выполните процесс разделения переменных в случае уравнения с двумя независимыми переменными. Что такое параметр разделения?
6. Какое уравнение называется уравнением параболического типа? Приведите примеры.
7. Напишите общий вид уравнения колебаний.
8. Выполните процесс разделения переменных в случае уравнения с тремя независимыми переменными; сколько параметров разделения мы будем иметь в этом случае?
9. Какие физические процессы и оптические явления описывает параболическое уравнение?
10. Выведите уравнение теплопроводности.
11. Какие векторные поля называют потенциальными?
12. Какие векторные поля называют соленоидальными?
13. Какие поля называют гармоническими?
14. Какие функции называют гармоническими?
15. Выведите волновое уравнение с использованием уравнений Максвелла.
16. Выведите уравнение, описывающее распространение параксиальных скалярных пучков.
17. Выполните процесс разделения переменных в случае одномерного волнового уравнения с двумя независимыми переменными.

18. Какое уравнение называется уравнением эллиптического типа? Приведите примеры.

19. Сформулируйте краевые задачи для уравнения теплопроводности.

20. Выполните процесс разделения переменных в случае уравнения Лапласа в декартовых координатах.

21. Напишите каноническую форму уравнения гиперболического типа.

22. Какое уравнение называется уравнением гиперболического типа? Приведите примеры.

23. Дайте физическую интерпретацию светлых и темных оптических солитонов.

24. Какие физические процессы описывает эллиптическое уравнение?

25. Что такое начальные и граничные условия? С чем связана необходимость в постановке дополнительных условий? Приведите примеры.

26. К какому типу уравнений относится уравнение Лапласа? Пуассона?

Студент должен уметь:

1. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

2. Выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

3. Решать уравнения в частных производных методом разделения переменных

4. Моделировать физические процессы и оптические явления с помощью уравнений в частных производных.

Студент должен владеть:

1. Методами аналитического решения уравнений в частных производных.

2. Особенности подходов к решению уравнений диффузии, дифракции скалярных параксиальных световых пучков, линейного и нелинейного уравнения Шрёдингера, волнового уравнения, уравнений Лапласа и Пуассона.

3. Приемами моделирования физических задач, линейных и нелинейных оптических явлений с помощью уравнений в частных производных.

Рекомендуемая литература

1. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. – СПб.: Изд-во "Лань", 2009. – 688 с. 6-е изд., испр. ISBN: 978-5-8114-0572-5
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=281
2. Ушаков В. М. Методы математической физики: Курс лекций / В. М. Ушаков, Ю. В. Гриняев, С. В. Тимченко, Л. Л. Миньков. - 1-е изд. - Томск : ТМЦ ДО, 2003. – 144 с.
3. Будаков Б. М. Сборник задач по математической физике: Учебное пособие для вузов / Б. М. Будаков, А. А. Самарский, А. Н. Тихонов. - 4-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2004. - 688 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2122
4. Ильин А. М. Уравнения математической физики: Учебное пособие для вузов / А. М. Ильин. - 1-е изд. - М. : Физматлит, 2009. - 192 с. – URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2181
5. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах : монография / С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 242 с.,
<http://edu.tusur.ru/training/publications/1553>
6. Шандаров В.М. Основы физической и квантовой оптики: учеб. пособие / В.М. Шандаров; Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 197 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/750>
7. Шандаров С.М. Введение в оптическую физику : учебное пособие для студентов направления подготовки «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров; Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 127 с., <http://edu.tusur.ru/training/publications/2196>
8. Магазинников Л.И. Высшая математика III. Функции комплексного переменного. Ряды. Интегральные преобразования: Учебное пособие / Л. И. Магазинников. - 2-е изд. - Томск : ТМЦ ДО, 2002. – URL: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2258>
9. Емельянов В. М. Уравнения математической физики. Практикум по решению задач [Электронный ресурс] / Емельянов В. М., Рыбакина Е. А. - 1-е изд. - М. : Лань, 2008. - 224 с. – http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=140

Перечень методических указаний (УМП)

1. Решение уравнений в частных производных гиперболического типа: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства»

/ П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2346>

2. Моделирование параболических уравнений в частных производных по схеме Кранка–Николсона: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 9 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2347>

3. Решение дифференциальных уравнений эллиптического типа: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / П.П. Гейко. - Томск: ТУСУР, 2012. - 12 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2348>

4. Пространственные солитоны в керровской среде с насыщением нелинейности: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / А.Л. Магазинников. - Томск: ТУСУР, 2012. - 21 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2350>

5. Уравнения оптофизики: методические указания к практическим занятиям для студентов направлений «Фотоника и оптоинформатика» и «Электроника и наноэлектроника» / П.П. Гейко, С.М. Шандаров. - Томск: ТУСУР, 2012. - 38 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2538>

Учебное пособие

Шандаров С.М.

Уравнения оптофизики

Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40