

· Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета



С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейная оптика

по направлению подготовки
03.03.02 Физика

Профиль подготовки «**Фундаментальная и прикладная физика**»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2021

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.02.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

О.Н. Чайковская

Председатель УМК

О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить теоретические материал о физических основах линейного и нелинейного взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, особенностях и типах нелинейно-оптических процессов (взаимодействий) в различных материалах;

– Владеть практическими навыками работы с современной лазерной техникой, нелинейными средами, включая анизотропные кристаллы, освоить основы преобразования частоты и изменения интенсивности лазерного излучения методами нелинейной оптики.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору «Физика атомов и молекул».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 1, зачет.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Методы математической физики, Электричество и магнетизм, Оптика, Физика лазеров.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 24 ч.;

– лабораторные работы: 12 ч.

в том числе практическая подготовка: 12 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Лекции:

Тема 1. Предмет нелинейной оптики

Отличие линейной и нелинейной оптики. Примеры когерентных и некогерентных нелинейно-оптических явлений. Практическое применение нелинейно-оптических эффектов.

Тема 2. Нелинейный отклик среды

Уравнения Максвелла в среде. Нелинейный отклик среды. Разложение поляризации по степеням поля. Нелинейная поляризация. Нелинейные параметрические процессы второго и третьего порядков. Нелинейные непараметрические процессы.

Тема 3. Нелинейная поляризация среды

Поляризация диэлектрика при внешнем воздействии, типы поляризации в диэлектриках: электронная, ионная, ориентационная

Тема 4. Ангармонический осциллятор

Классическое описание, уравнение движения электрона в переменном электрическом поле. Линейный осциллятор, нелинейный осциллятор 2-го и 3-го порядка. Линейный и нелинейный отклик среды. Правило Миллера и его следствия.

Тема 5. Тензор нелинейной восприимчивости среды.

Свойства симметрии: вещественность полей, внутренняя перестановочная симметрия, симметрия в среде без потерь, Клейнмановская симметрия. Сокращенная запись. Описание нелинейных процессов 2-го порядка при помощи тензора.

Тема 6. Нелинейные оптические кристаллы

Пространственная симметрия нелинейных сред. Типы кристаллических решеток, точечные группы симметрии. Одно-, двухосные и изотропные кристаллы. Центросимметричные и нецентросимметричные среды. Тензор квадратичной восприимчивости для нецентросимметричных кристаллов. Эффективная нелинейная восприимчивость.

Тема 7. Временное представление поляризации и нелинейной восприимчивости

Частотное представление зависимости поляризации от напряженности электрического поля. Связь между частотным и временным представлением электрического поля. Поляризация и электрическое поле световой волны во временном представлении.

Тема 8. Метод медленно меняющихся амплитуд

Уравнения для связанных амплитуд (укороченные уравнения). Соотношение Мэнли-Роу. Описание нелинейных оптических процессов второго порядка при помощи укороченных уравнений: генерация суммарной частоты, генерация второй гармоники, генерация второй гармоники с учетом истощения накачки.

Тема 9. Фазовый синхронизм.

Понятие фазового синхронизма. Распространение электромагнитной волны в нелинейном кристалле. Распространение электромагнитной волны и фазовый синхронизм в одноосных кристаллах (синхронизм I и II типа). Виды фазового синхронизма при ГВГ. Векторный фазовый синхронизм. Фазовый синхронизм при ГСЧ и ГРЧ. Направление синхронизма, ширина синхронизма. Температурные зависимости. Квазисинхронизм, кристаллы с РДС.

Тема 10. Эффекты, влияющие на нелинейное преобразование частоты

Влияние поглощения в кристалле, диафрагменный апертурный эффект, угол сноса, временные эффекты: групповое запаздывание импульсов и эффект дисперсионного расплывания импульсов

Тема 11. Параметрическая генерация света

Параметрическое усиление, параметрическая люминесценция (рассеяние), параметрическая генерация, одно- и двухрезонаторные ПГС, порог генерации, перестройка частоты ПГС, влияние мод резонатора, ПГС с синхронной накачкой, ПГС бегущей волны

Тема 12. Вынужденное рассеяние света

Природа и виды рассеяния света (рэлеевское, рассеяние крыла линии Рэлея, комбинационное, Манделъштама-Бриллюэна). Спонтанное и вынужденное рассеяние

Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). Электрострикция, ВРМБ-усиление и ВРМБ-генерация. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). ВКР-среды и ВКР лазеры.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости (фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр), выполнение заданий, составление и сдачу отчетов по лабораторным работам. Успешное выполнение лабораторных работ и посещение не менее 75 % лекций основанием допуска к зачету.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет проводится в письменной форме по билетам. Билет состоит из двух основных вопросов и третьего, дополнительного вопроса, который преподаватель задает по результатам выполнения учащимся лабораторных работ из списка вопросов к лабораторным работам. На основные вопросы учащийся дает развернутый ответ, на дополнительный – краткий. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Основные вопросы проверяют ИПК-1.1., дополнительный – ИПК-1.2.

Примерный перечень теоретических вопросов:

Вопрос 1. Непараметрические нелинейно-оптические явления, Насыщающееся и обратное насыщенное поглощение, мультифотонное поглощение, вынужденное рассеяние

Вопрос 2. Фазовый синхронизм при ГСЧ и ГРЧ скалярный/векторный.

Дополнительный вопрос.

Вопрос 1. Какие факторы ограничивают коэффициент преобразования лазерного излучения во вторую гармонику?

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24800>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на зачет:

1. Предмет нелинейной оптики. Обзор когерентных и некогерентных нелинейно-оптических явлений, области применения

2. Нелинейный отклик среды: Уравнения Максвелла в среде, разложение поляризации по степеням поля, нелинейная поляризация, нелинейные параметрические процессы второго и третьего порядков

3. Непараметрические нелинейно-оптические явления, Насыщающееся и обратное насыщенное поглощение, мультифотонное поглощение, вынужденное рассеяние

4. Фазовый синхронизм, длина когерентности, условие фазового синхронизма

5. Нелинейная поляризация среды, тензор нелинейной восприимчивости, симметрия

6. Нелинейные кристаллы, типы кристаллических решеток, изотропные и анизотропные среды, центрально-симметричные и центрально-несимметричные кристаллы, эффективная восприимчивость среды

7. Ангармонический осциллятор, поляризация, правило Миллера

8. Метод медленно меняющихся амплитуд, система укороченных уравнений, соотношения Мэнли-Роу

9. Метод медленно-меняющихся амплитуд, генерация суммарной частоты, генерация второй гармоники

10. Фазовый синхронизм, распространение электро-магнитной волны в одноосном нелинейном кристалле

11. Фазовый синхронизм при ГВГ, скалярный/векторный

12. Фазовый синхронизм при ГСЧ и ГРЧ скалярный/векторный
13. Экспериментальное определение направления фазового синхронизма, температурная зависимость синхронизма
14. Квазисинхронизм, РДС
15. Пространственные и временные эффекты при нелинейном преобразовании частоты света
16. Параметрическая генерация света
17. Вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна
18. Вынужденное комбинационное рассеяние

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ:

Лабораторная работа № 1 Генерация второй гармоники излучения Nd:YAG лазера в нелинейном кристалле

Лабораторная работа № 2 Измерение коэффициента нелинейного поглощения органических красителей методом z-сканирования с открытой диафрагмой

Лабораторная работа № 3 Измерение сечения двухфотонно-возбуждаемой люминесценции органических молекул методом двухквантового эталона

Лабораторная работа № 4 Моделирование нелинейного пропускания красителя при импульсном лазерном возбуждении

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке лекционным занятиям и лабораторным работам;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- обработку результатов практических заданий, выполненных на лабораторных работах и составление отчета
- подготовку к дифференцированному зачету.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 512 с.

– Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики: Пер с англ. / Под ред. С.А. Ахманова. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 560 с.

– Boyd R.W. Nonlinear Optics. Fourth Edition. – Academic Press, Elsevier, London., 2020. – 609 p.

– Сизмин Д.В. Нелинейная оптика / Саров.: СарФТИ, 2015. 147 с.

б) дополнительная литература:

– Цернике Ф., Мидвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика: Пер с англ. / Под ред. С.А. Ахманова. М.: Мир, 1976. – 261 с.

– Murti Y., Vijayan C. Essentials of Nonlinear Optics. – Ane Books Pvt. Ltd., John Wiley & Sons Ltd., 2014. – 205 p.

– Li C. Nonlinear Optics Principles and Applications. – Shanghai Jiao Tong University Press, Shanghai and Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. – 399 p.

в) к лабораторным работам:

– Толстик А.Л., Агишев И.Н., Мельникова Е.А. Лазерная физика: лабораторный практикум // Минск: Изд-во БГУ, 2006. – 91 с.

г) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы по нелинейной оптике

– Журнал «Квантовая электроника» – <https://www.quantum-electron.ru>

– Журнал «Оптика и спектроскопия» – <https://journals.ioffe.ru/journals/5>

– Информационный бюллетень лазерной ассоциации «Лазер-информ»
<https://bibl.laser.nsc.ru/lazer-inform/>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

– Scopus – <https://www.scopus.com/>

– Web of Science – <https://clarivate.com/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Специализированная аудитория (аудитории) для проведения лабораторных работ, оснащенная стендами с соответствующим лазерным и метрологическим оборудованием, оптомеханикой, расходными материалами.

15. Информация о разработчиках

Светличный Валерий Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра оптики и спектроскопии физического факультета ТГУ, доцент.