

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора Института по научной работе

П.Н. Брунков

«01» 01 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению 03.06.01 Физика и Астрономия

Профиль 01.04.05 Оптика

Квалификация:

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом

Протокол № 4 от 29.03 2019 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями учебной дисциплины являются:

-создание у аспиранта комплекса знаний о фундаментальных свойствах распространения оптического излучения в среде.

-формирование у аспирантов современного представления о нелинейно-оптических эффектах и их применении

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Нелинейная оптика» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта и преподается на втором и третьем году обучения.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Нелинейная оптика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность формулировать задачи экспериментальных исследований, планировать и реализовывать постановку экспериментов, направленных на решение поставленных задач (ПК-1);

- способность проводить самостоятельные исследования, владеть современными методами оптической спектроскопии (ПК-2).

- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области оптики (ПК-3).

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут

знать:

-основные физические механизмы возникновения оптических нелинейностей различных материалов

-основные физические явления нелинейной оптики (генерацию гармоник, параметрический распад и генерацию разностной частоты, вынужденное рассеяние, самовоздействие световых пучков).

уметь:

-использовать знания основных нелинейно-оптических эффектов для оценки их появления и величины в различных экспериментах

-свободно применять полученные знания по нелинейной оптике для решения научно-инновационных задач, связанных с созданием нелинейно-оптических приборов и устройств, применяемых в лазерной физике и других разделах науки и техники

владеть:

-навыками расчёта основных параметров нелинейно-оптических эффектов (коэффициентов оптической нелинейности, инкрементами вынужденного рассеяния, порогов самовоздействия световых пучков)

-методами описания нелинейно-оптических эффектов и навыками расчёта этих эффектов, которые могут проявляться в различных лазерных системах и приборах

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану 144 часа из них 54 часа- лекции, 90 часов - самостоятельная работа, 4 ЗЕ.

Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	Лаб. / практ	самостоятельная работа	контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Нелинейное распространение интенсивного оптического излучения	1		13		23	
Раздел 2. Материальные уравнения среды	1.5		21		34	
Раздел 3. Базовые нелинейнооптические явления	1		13		22	
Раздел 4. Экстремальная и топологическая нелинейная оптика	0.5		7		11	
Всего по дисциплине	4	144	54		90	зачет

4.2. Содержание разделов и тем

Раздел 1. НЕЛИНЕЙНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- 1.1. Введение.
- 1.2. Уравнения Максвелла для сплошных сред.
- 1.3. Энергетические соотношения.
- 1.4. Нелинейное волновое уравнение.
- 1.5. Квазиоптическое уравнение для изотропной нелинейной среды.
- 1.6. Квазиоптическое уравнение для анизотропных сред.
- 1.7. Квазиоптическое уравнение для метаматериалов.

Раздел 2. МАТЕРИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ СРЕДЫ

- 2.1. Классические модели среды.
 - 2.1.1. Линейная модель Друде – Лоренца.

- 2.1.2. Осцилляторы с квадратичной и кубической нелинейностью.
- 2.1.3. Другие осцилляторные модели. Модель связанных осцилляторов. Экситонные резонансы и пространственная дисперсия. Оптическая нелинейность наноструктур и метаматериалов.
 - 2.1.4. Ориентационная оптическая нелинейность.
- 2.2. Квантовомеханическая теория нелинейной поляризуемости.
 - 2.2.1. Уравнение Шредингера.
 - 2.2.2. Оптическая нелинейность конденсата Бозе – Эйнштейна.
- 2.3. Матрица плотности.
 - 2.3.1. Уравнение Неймана.
 - 2.3.2. Матрица плотности двухуровневой схемы и уравнения Блоха.
 - 2.3.3. Диполь-дипольное взаимодействие в наноструктурах.
 - 2.3.4. Теория возмущения для матрицы плотности.
- 2.4. Линейные и нелинейные восприимчивости на основе матрицы плотности.
 - 2.4.1. Первый порядок теории возмущений.
 - 2.4.2. Второй порядок теории возмущений.
 - 2.4.3. Третий и высшие порядки теории возмущений.
 - 2.4.4. Фактор локального поля.
- 2.5. Макромодели оптической нелинейности.
- 2.6. Феноменологический подход.
 - 2.6.1. Линейный отклик среды.
 - 2.6.2. Нелинейные восприимчивости. Общие соотношения. Пространственная симметрия кристаллов. Фотоэлектрические нелинейности.

2.7. Нелинейности в терагерцовой области спектра

2.8. Нелинейность и дисперсия электрон-позитронного вакуума.

Раздел 3. БАЗОВЫЕ НЕЛИНЕЙНООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

3.1. Генерация высших и комбинационных частот.

3.2. Обращение волнового фронта

3.3. Эффекты самовоздействия. Самофокусировка и самомодуляция света.

3.4. Нелинейная волоконная оптика.

3.4. Оптическая бистабильность.

3.5. Оптические солитоны.

3.5. Вынужденное рассеяние света.

3.6. Оптический пробой.

Раздел 4. ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ И ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

4.1. Предельно короткие биполярные и униполярные импульсы излучения.

4.2. Дислокации волнового фронта и нелинейные топологические структуры излучения.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Нелинейная оптика» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Комплект оценочных средств для текущего контроля

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регу-

лярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов реализуется в виде выступлений на семинарах по индивидуальным домашним заданиям, ответам на тестовые вопросники, проведением теоретических зачетов. По окончании курса аспиранты сдают зачет.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЕТА:

1. Уравнения Максвелла для сплошных сред. Энергетические соотношения.
2. Нелинейное волновое уравнение.
3. Квазиоптическое уравнение для изотропной нелинейной среды, анизотропных сред, метаматериалов.
4. Классические модели среды. Линейная модель Друде – Лоренца. Осцилляторы с квадратичной и кубичной нелинейностью.
5. Другие осцилляторные модели. Модель связанных осцилляторов. Экситонные резонансы и пространственная дисперсия. Оптическая нелинейность наноструктур и метаматериалов. Ориентационная оптическая нелинейность.
6. Квантовомеханическая теория нелинейной поляризуемости. Уравнение Шредингера. Оптическая нелинейность конденсата Бозе – Эйнштейна.
7. Матрица плотности. Уравнение Неймана. Матрица плотности двухуровневой схемы и уравнения Блоха.
8. Диполь-дипольное взаимодействие в наноструктурах. Теория возмущения для матрицы плотности.
9. Линейные и нелинейные восприимчивости на основе матрицы плотности. Первый порядок теории возмущений. Второй порядок теории возмущений.
10. Третий и высшие порядки теории возмущений. Фактор локального поля.
11. Макромодели оптической нелинейности.
12. Феноменологический подход. Линейный отклик среды. Нелинейные восприимчивости. Общие соотношения. Пространственная симметрия кристаллов. Фотоэлектрические нелинейности.
13. Нелинейности в терагерцовой области спектра
14. Нелинейность и дисперсия электрон-позитронного вакуума.
15. Генерация высших и комбинационных частот.
16. Обращение волнового фронта
17. Эффекты самовоздействия. Самофокусировка и самомодуляция света.
18. Нелинейная волоконная оптика.
19. Оптическая бистабильность.
20. Оптические солитоны.

21. Вынужденное рассеяние света.
22. Оптический пробой.
23. Предельно короткие биполярные и униполярные импульсы излучения.
24. Дислокации волнового фронта и нелинейные топологические структуры излучения.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Шен И.Р. “Принципы нелинейной оптики”, М., “Наука”, 1989.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. “Электродинамика сплошных сред”, М., “Наука”, 1982.
3. Клышко Д.Н. “Фотоны и нелинейная оптика”, М., “Наука”, 1980.
4. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. “Прикладная нелинейная оптика”, М., “Радио и Связь”, 1982.
5. Аллен Л., Эберли Дж. “Оптический резонанс и двухуровневые атомы”, М., “Мир”, 1978.

7.2. Дополнительная литература

1. Boyd R.W. Nonlinear Optics. Third edition. Amsterdam, Academic Press, 2008.
2. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. М. Мир, 1996.
3. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. М. Физматлит, 2005.
4. Розанов Н.Н. Диссипативные оптические солитоны. М. Физматлит, 2011.
5. Wegener M. Extreme Nonlinear Optics. An Introduction. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005

7.3. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

Н.Н. Розанов, Р.М. Архипов, М.В. Архипов. О законах сохранения в электродинамике сплошных сред. УФН, **188** (12), 1347-1353 (2018).

Иностранные журналы:

Ozawa T. et. al. Topological photonics. Rev. Mod. Phys. **91**, 015006 (2019).

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционная аудитория

Мультимедийный проектор

Персональный компьютер

Компьютерный класс