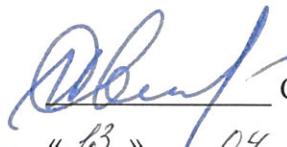


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

УТВЕРЖДАЮ

 Директор
С.В. Иванов
« 13 » 04 2022 г.



Рабочая программа факультативной дисциплины

НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности 1.3.6 Оптика

Принята решением Ученого совета
от 04.03.2022 № 03/22

Санкт-Петербург

2022 г.



Рабочая программа факультативной дисциплины «Нелинейная оптика» составлена на основании программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.6 Оптика (далее – программа аспирантуры)

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 ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

2.1. Рассматриваемая дисциплина входит в факультативную часть программы аспирантуры с целью расширения и углубления научных и прикладных знаний аспирантов и организуется по выбору и желанию аспиранта.

2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ФТИ им. А.Ф. Иоффе, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имеющих по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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 проявления 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 самодействия 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

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

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 кубичной 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;

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

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступления на семинарах.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Нелинейная оптика». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации

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

Лекционные аудитории (3 аудитории), оборудованы:

- Столы;
- Стулья;
- Доски магнитно – маркерные;
- Экраны для презентаций;
- Мультимедийные проекторы и (или) LCD панели большого размера;
- Персональные компьютеры;
- Экран для презентаций

Программу разработал:

г.н.с. лаборатории оптики биомолекул и кластеров,
д-р физ.- мат. наук Васютинский О.С.