



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
(ИАиЭ СО РАН)

УТВЕРЖДЕНА

приказом директора ИАиЭ СО РАН
от 23.05.2024 № 241

Рабочая программа раздела
«НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА»
дисциплины «ОПТИКА»

Научная специальность: 1.3.6. Оптика
Форма обучения: очная

№	Вид деятельности	Семестр
		3
1	Лекции, час.	18
2	Практические занятия (семинары), час.	26
3	Самостоятельная работа, час.	100
4	Всего зачетных единиц	4

Форма аттестации – дифференцированный зачет

Новосибирск – 2024

1. Аннотация к рабочей программе дисциплины

Целью подготовки по дисциплине «Оптика», раздел «Нелинейная волоконная оптика» программы аспирантуры по научной специальности 1.3.6 Оптика, является овладение основными понятиями, моделями, теоретическими и экспериментальными методами нелинейной волоконной оптики и знакомство с современным состоянием данной области науки.

Задачи раздела дисциплины:

- углубленное изучение теоретических вопросов волоконной оптики;
- развитие практических навыков решения задач в области волоконной оптики и лазерной физики, применения оптических методов в системах анализа вещества, передачи и обработки информации, в технологических и измерительных оптических системах;
- формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах волоконной оптики, лазерной физики, проблемах приложения оптических методов исследования в науке, технике и биомедицине;
- формирование у аспирантов представления о теоретических основах нелинейного взаимодействия оптического излучения с веществом световода (кварцевым стеклом), включая вопросы когерентности лазерного излучения, а также об экспериментальных методах наблюдения нелинейных эффектов в волоконной оптике и их проявлений в лазерных системах измерения, обработки и передачи информации по оптоволокну;
- ознакомление аспирантов с научно-техническими достижениями в области волоконно-оптических телекоммуникационных и сенсорных систем.

Преподавание раздела дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия (семинары), самостоятельная работа.

Общая трудоемкость составляет 4 зачетных единицы, (144 часа).

2. Место дисциплины в образовательной программе

Рабочая программа раздела «Нелинейная волоконная оптика» программы аспирантуры по научной специальности 1.3.6 Оптика относится к образовательному компоненту и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена, является обязательной для освоения обучающимися в 3 семестре (второй год обучения в аспирантуре). Раздел «Оптические стандарты частоты» является базовым для выполнения научно-исследовательской

деятельности и подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

3. Образовательные технологии

Технология процесса обучения аспирантов включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- аудиторные занятия (лекции);
- практические занятия (семинары);
- самостоятельная работа аспирантов.

В процессе изучения дисциплины, как лектором, так и обучающимися используется метод проблемного изложения материала, самостоятельное чтение аспирантами учебной, учебно-методической и справочной литературы, анализ информационных ресурсов в научных библиотеках и сети Internet по актуальным проблемам и последующие свободные дискуссии по освоенному ими материалу.

Аудиторные занятия проводятся с использованием информационно-телекоммуникационных технологий: учебный материал представлен также в виде мультимедийных презентаций. Презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

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

- поиск научной информации в открытых источниках с целью ее анализа и выявления ключевых особенностей исследуемых явлений;
- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- решение проблемных задач стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

4. Требования к результатам освоения дисциплины

В результате изучения раздела «Нелинейная волоконная оптика» программы аспирантуры по научной специальности 1.3.6 Оптика и в соответствии с программой кандидатского экзамена аспирант должен:

знать:

- теоретические основы нелинейной волоконной оптики;
- технику эксперимента и основы базовых технологий нелинейной волоконной оптики;
- основные физические процессы, связанные с распространением интенсивного (лазерного) излучения в волоконных световодах, как линейные,

так и нелинейные,

– принципы работы основных волоконно-оптических устройств и систем, работающих на принципах нелинейной волоконной оптики.

уметь

– оценивать и рассчитывать основные физические процессы при распространении, усилении и генерации света в пассивных и активных световодах и волоконных лазерах,

– объяснить принципы работы основных волоконно-оптических устройств и систем.

владеть навыками подготовки, реализации и интерпретации результатов исследовательской деятельности по решению научных задач в следующих областях:

- волновые уравнения: вывод и решение, моды световода;
- потери, дисперсия и нелинейность разной физической природы;
- теория связанных мод, взаимодействие мод в волоконных ответвителях и брэгговских решётках;
- теоретические методы описания элементов волоконных лазеров и их особенностей в сравнении с лазерами на дискретных элементах;
- работы с волоконными световодами, усилителями и лазерами;
- вывод и решение нелинейного уравнения Шредингера;
- солитоны, диссипативные солитоны;
- формирование и распространение сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов света;
- спонтанное и вынужденное рассеяние света в световодах (Рэля, Мандельштам-Бриллюэна);
- волоконно-оптические сенсорные и телекоммуникационные системы.

5. Структура и содержание раздела учебной дисциплины

Раздел, тема занятия		Виды аудиторных занятий (час.)		
		Лекции	Семинары	Итого
Семестр 3		18	26	44
1.	<i>Основные понятия волоконной оптики</i>	2	2	4
2.	<i>Моды волоконного световода</i>	2	2	4
3.	<i>Волоконные брэгговские решётки (ВБР)</i>	2	2	4
4.	<i>Волоконные усилители и лазеры</i>	2	4	6
5.	<i>Керровская нелинейность и солитоны в оптоволокне</i>	2	4	6
6.	<i>Рассеяние света в оптоволокне в линейном и нелинейном режимах</i>	2	2	4
7.	<i>Нелинейное преобразование частоты волоконных лазеров</i>	2	4	6
8.	<i>Волоконно-оптическая связь</i>	2	2	4
9.	<i>Волоконно-оптические сенсорные системы</i>	2	4	6

Вопросы для самостоятельного изучения:

Раздел 1. Основные понятия волоконной оптики

1. Изучить и сравнить основные методы изготовления заготовок (MCVD, OVD, VAD) и вытяжки волоконных световодов, их преимущества и недостатки.

2. Оценить потери при сочленении волоконных световодов с разным размером сердцевины и потери на изгибе световода с заданным радиусом кривизны.

3. Вывести формулы для величины межмодовой дисперсии в многомодовых волоконных световодах, получить оценку предельной длины многомодовой линии связи.

Раздел 2. Моды волоконного световода

1. Оценить количество мод в многомодовом волоконном световоде по его параметрам.

2. Вывести выражение для коэффициента отражения волоконного зеркала Саньяка в зависимости от коэффициента ветвления

Раздел 3. Волоконные брэгговские решётки (ВБР)

1. Вывести формулу для брэгговской длины волны отражения ВБР.

2. Оценить амплитуду и период боковых резонансов при аподизации ВБР гауссовой функцией.

Раздел 4. Волоконные усилители и лазеры

1. Оценить длину резонатора волоконного лазера, достаточную для селекции одной продольной моды при использовании в качестве зеркал ВБР с заданными характеристиками.

2. Теоретически сравнить результаты аналитической модели генерации волоконных лазеров в кольцевом и линейном резонаторе при прочих равных условиях.

3. Сравнить параметры волоконных лазеров (эрбиевых, иттербиевых) с их твердотельными аналогами, сформулировать основные преимущества и недостатки волоконных лазеров.

Раздел 5. Керровская нелинейность и солитоны в оптоволокне

1. Сравнить нелинейную и дисперсионные длины при распространении импульса гауссовой формы длительностью 100 пс пиковой мощностью 0,1 Вт с центральной длиной волны 1550 нм в световоде SMF-28.

2. Оценить минимальную длительность импульса при синхронизации мод волоконного иттербиевого лазера с диапазоном усиления 1000-1100 нм (выше уровня потерь).

3. Оценить длительность солитона пиковой мощностью 1 Вт с центральной длиной волны 1550 нм в световоде с коэффициентом дисперсии - 10 пс²/км.

Раздел 6. Рассеяние света в оптоволокне в линейном и нелинейном режимах

1. Оценить период динамической решётки и величину сдвига частоты в процессе ВРМБ и для излучения эрбиевого волоконного лазером (1,55 мкм), если известна скорость звука в среде.

2. Найти длину волны и порог генерации ВКР-лазера на основе световода SMF-28 длиной 1 км с накачкой иттербиевым волоконным лазером (1060 нм) с кольцевым резонатором на основе ответвителя 70:30.

Раздел 7. Нелинейное преобразование частоты волоконных лазеров

1. Сравнить отношение эффективности генерации второй гармоники для случаев идеального синхронизма и квази-синхронизма с периодической компенсацией набега фазы.

2. Оценить и сравнить порог параметрической генерации в однопроходной и резонаторной схемах.

Раздел 8. Волоконно-оптическая связь

1. Оценить длину безрегенерационного участка волоконной линии связи для мощности передатчика 1 мВт, квантового предела приемника 10 нВт в зависимости от скорости передачи (1, 10, 100 Гб/с).

2. Для линии связи в волокне с потерями $\alpha = 0,2$ дБ/км протяженностью 1000 км число промежуточных усилителей составляет $N_0=10$. Определить число таких же усилителей N , которые обеспечили бы прежнее значение OSNR для линии 2000 км.

Раздел 9. Волоконно-оптические сенсорные системы

1. Оценить пространственное и температурное разрешение распределённого датчика температуры на основе комбинационного рассеяния импульсов мощностью 1 Вт и длительностью 10 нс на 1,55 мкм в зависимости от длины волокна SMF-28 (0,1, 1 и 10 км).

2. Изучить базовые принципы волоконных акустических датчиков, эффект Саньяка и волоконные гироскопы.

6. Литература

Основная литература

1. G. Agrawal, Fiber-optic Communications Systems, Wiley-Interscience, New York, 2002.

2. Г. Агравал, Нелинейная волоконная оптика, Москва, Мир, 1996.

3. G. Agrawal, Applications of Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, London, 2001.

4. R. Kashyap, Fiber Bragg Gratings, Academic Press, London, 1999.

5. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения, пер. с англ. В 2 т. - М.: Изд-во «Интеллект», 2012. Т.1. 760 с. Т2. 784 с.

6. Michel J.F. Dignonnet. Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifiers, Revised and Expanded. CRC Press, May 31, 2001

Дополнительная литература

1. Д. Стерлинг, Техническое руководство по волоконной оптике, Москва, Лори, 1998.

2. A.Othonos, K. Kalli, Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing, Artech House Publishers, 1999

3. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М; Наука, 1989.

4. Ю. Н. Кульчин, Распределенные волоконно-оптические измерительные системы, Москва, Наука, 2001.

5. М. Адамс, Введение в теорию оптических волноводов (Москва: Мир, 1984).

6. А. М. Желтиков, Оптика микроструктурированных волокон, Москва, Наука, 2004.

7. Akhmediev, N. and & Ankiewicz, A. (eds.) Dissipative solitons: From optics to biology and medicine, Springer, 2008.

8. Okhotnikov, O. G. (ed.). Fiber Lasers, Wiley, 2012.

7. Электронные энциклопедические издания свободного доступа

1. Электронный справочник по «Опике когерентного излучения»
<http://optics.sinp.msu.ru/co/toc.html>

2. Ресурсы Энциклопедия фотоники: <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>