

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 29 » августа 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Нелинейные эффекты в волоконной оптике
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
(код и наименование направления)

Направленность: Материалы и технологии волоконной оптики
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: освоение дисциплинарных компетенций в области нелинейной волоконной оптики, методов моделирования, анализа и оценки оптических нелинейностей при конструировании и производстве волоконно-оптических систем; формирование представлений о научно-технических проблемах, стратегиях и инновациях в современной нелинейной волоконной оптике.

Задачи дисциплины:

- формирование системы объектов, законов, моделей и методов исследований в области нелинейной волоконной и лазерной оптики, теоретических основ применения оптических нелинейностей в конструировании и производстве волоконно-оптических систем;
- формирование умений и готовности к профессиональной эксплуатации современного технологического оборудования для производства и исследования свойств нелинейных систем волоконной оптики, приобретение навыков организации инновационного процесса при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон;
- подготовка к деятельности выпускников в области нелинейной волоконной оптики (разработка, совершенствование и внедрение новых технологических процессов, элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики на основе методов нелинейной оптики, организация экспериментальных исследований нелинейных систем волоконной оптики на основе применения современных лазерных технологий).

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- оптические элементы, устройства и системы, в которых на основе нелинейных процессов генерируются, усиливаются, модулируются, распространяются и детектируются сигналы в оптическом диапазоне;
- физико-математические модели нелинейностей в волоконной оптике;
- оптические устройства и технологии систем нелинейной волоконной оптики, обеспечивающие передачу, прием, обработку, хранение и отображение информации.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|---|--------------------------|
| ПК-2.2 | ИД-1ПК-2.2 | <p>1. Освоение основных методов моделирования, анализа и оценки оптических нелинейностей в волоконной оптике.</p> <p>2. Знание особенностей преобразования частоты в нелинейно-оптических средах.</p> <p>3. Освоение основных методов оценки нелинейных оптических эффектов при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон.</p> <p>4. Знание основных областей применения и перспектив развития нелинейной волоконной оптики.</p> | <p>Знает теоретические основы нелинейных процессов в волоконной оптике; особенности преобразования частоты в нелинейно-оптических кристаллах; основные области применения и перспективы развития нелинейной волоконной оптики</p> | Дифференцированный зачет |
| ПК-2.2 | ИД-2ПК-2.2 | <p>1. Использование нелинейных оптических эффектов при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон.</p> <p>2. Умение получить точное решение для генерации второй гармоники.</p> <p>3. Умение использовать нелинейные оптические эффекты в организации инновационного процесса при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон.</p> <p>4. Уметь моделировать процессы, связанные с нелинейными эффектами в волоконно-оптических системах передачи информации.</p> | <p>Умеет моделировать нелинейные эффекты, проводить их оценку в волоконно-оптических системах передачи информации</p> | Индивидуальное задание |
| ПК-2.2 | ИД-3ПК-2.2 | <p>1. Освоение навыков применения методов нелинейной волоконной</p> | <p>Владеет навыками моделирования нелинейных эффектов,</p> | Дифференцированный зачет |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|--|-----------------|
| | | <p>оптики при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон и других компонентов волоконной оптики.</p> <p>2. Владение навыками работы с оптическими схемами генерации второй гармоники, параметрической генерации света.</p> <p>3. Владение навыками моделирования нелинейных эффектов в системах фотоники и оптоинформатики.</p> | <p>проведения их оценки в волоконно-оптических системах передачи информации; навыками применения методов нелинейной волоконной оптики при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон</p> | |

3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |
|--|-------------|------------------------------------|
| | | Номер семестра |
| | | 3 |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 54 | 54 |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них: | | |
| - лекции (Л) | 16 | 16 |
| - лабораторные работы (ЛР) | | |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ) | 32 | 32 |
| - контроль самостоятельной работы (КСР) | 6 | 6 |
| - контрольная работа | | |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС) | 90 | 90 |
| 2. Промежуточная аттестация | | |
| Экзамен | | |
| Дифференцированный зачет | 9 | 9 |
| Зачет | | |
| Курсовой проект (КП) | | |
| Курсовая работа (КР) | | |
| Общая трудоемкость дисциплины | 144 | 144 |

4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| 3-й семестр | | | | |
| Модели и методы прикладной нелинейной оптики | 2 | 0 | 6 | 14 |
| Квадратично-нелинейные и кубично-нелинейные оптические среды. Нелинейно-оптическое преобразование частоты. Условие фазового (волнового) синхронизма и способы его реализации. Физические процессы трехволнового смешения. Постановка задачи для трехволнового взаимодействия. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения. Приближение заданного поля. Точное решение для генерации второй гармоники. Применение моделей и методов прикладной нелинейной оптики для описания генерации второй гармоники и параметрического усиления. Дифференциальные и интегральные соотношения Мэнли-Роу. | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| Моделирование и применение нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах | 10 | 0 | 20 | 62 |
| <p>Физические принципы формирования коротких и сверхкоротких оптических импульсов. Теория синхронизации мод. Лазеры с активной и пассивной синхронизацией мод. Роль нелинейности и дисперсии волокна. Насыщаемые поглотители (лимитеры) на основе полупроводников и углеродных наноструктур. Нелинейные эффекты керровской линзы и вращения эллипса поляризации. Схемы фемтосекундных волоконных лазеров и их применение.</p> <p>Математическое описание и типичные формы оптических импульсов. Чирпированные импульсы. Прохождение гауссова импульса через фильтр с чирпом. Физические принципы и схемы формирования чирпированных импульсов. Оптическое волокно как фильтр с чирпом. Технические проблемы, связанные с усилением оптических импульсов. Использование дисперсионных свойств среды для усиления чирпированных импульсов.</p> <p>Классификация и физические основы работы волоконных брэгговских решеток. Основные допущения и математическая постановка задачи о распространении двух связанных мод. Теория связанных мод. Спектр отражения волоконной решетки. Метод аподизации решеток и способы его реализации. Длиннопериодные волоконные решетки и их применение. Современные нелинейные и неоднородные волоконные решетки и их применение.</p> <p>Оптика фазового сопряжения и использование методов нелинейной оптики для обработки световых (электромагнитных) полей в реальном масштабе времени. Физические основы обращения волнового фронта световой волны. Методы получения обращенной волны: на основе вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна и на основе четырехволнового смешения. Компенсация фазовых искажений и восстановление изображений при передаче информации по волоконным световодам с помощью обращения волнового фронта.</p> <p>Восстановление формы и амплитуды оптических сигналов в волоконно-оптическом тракте с помощью оптоэлектронной регенерации и с помощью оптического усиления. Физические основы работы и классификация волоконных усилителей. Усилители на эрбиевом волокне.</p> | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| Рамановские усилители. Параметрические усилители. Эффект насыщения коэффициента усиления. Современные научно-технические проблемы волоконных усилителей и пути их решения. | | | | |
| Стратегии и инновации в нелинейной волоконной оптике | 4 | 0 | 6 | 14 |
| Основные этапы развития волоконно-оптических линий связи. Обобщенная характеристика нелинейных оптических явлений и современные тенденции развития волоконно-оптических технологий. Роль инноваций в развитии волоконной оптики. Понятие об инновационной политике и технологических платформах. Современные технологические платформы в области фотоники. Инновационные направления развития нелинейной волоконной оптики. | | | | |
| ИТОГО по 3-му семестру | 16 | 0 | 32 | 90 |
| ИТОГО по дисциплине | 16 | 0 | 32 | 90 |

Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия |
|--------|---|
| 1 | Расчет трехволновых параметрических взаимодействий |
| 2 | Виды нелинейно-оптического преобразования частоты |
| 3 | Схемы фемтосекундных волоконных лазеров |
| 4 | Насыщаемые поглотители на основе углеродных наноструктур |
| 5 | Применение дифференциальных уравнений для моделирования нелинейных оптических явлений |
| 6 | Способы сжатия chirпированных оптических импульсов |
| 7 | Физико-математические модели нелинейных и неоднородных волоконных решеток |
| 8 | Компенсация фазовых искажений и восстановление изображений с помощью обращения волнового фронта |
| 9 | Расчет волоконного усилителя |
| 10 | Выполнение индивидуальных заданий |

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. Основная литература | | |
| 1 | Беспрозванных В. Г. Нелинейные эффекты в волоконной оптике : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. | 10 |
| 2. Дополнительная литература | | |
| 2.1. Учебные и научные издания | | |
| 1 | Агравал Г. П. Применение нелинейной волоконной оптики : учебное пособие : пер с англ. / Г. П. Агравал. - Санкт-Петербург[и др.]: Лань, 2011. | 2 |
| 2 | Беспрозванных В. Г. Нелинейная оптика : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В.П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. | 10 |

| 2.2. Периодические издания | | |
|---|---|---|
| 1 | Квантовая электроника : журнал. - Москва: , Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева РАН, , 1971 - . 2016, т. 46, № 1. | 1 |
| 2.3. Нормативно-технические издания | | |
| | Не используется | |
| 3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины | | |
| | Не используется | |
| 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента | | |
| 1 | Крюков П. Г. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения : учебное пособие / П. Г. Крюков. - Долгопрудный: Интеллект, 2012. | 3 |

6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы | Наименование разработки | Ссылка на информационный ресурс | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|--|---|---|---|
| Дополнительная литература | Беспрозванных В. Г. Нелинейная оптика : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В.П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. | http://pstu.ru/title1/faculties/fpmm/of/?sources=1&cid=70 | сеть Интернет; свободный доступ |
| Основная литература | Беспрозванных В. Г. Нелинейные эффекты в волоконной оптике : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. | http://pstu.ru/title1/faculties/fpmm/of/?sources=1&cid=70 | сеть Интернет; свободный доступ |
| Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов | . Беспрозванных В.Г. Физические основы нелинейной оптики: учебное пособие. ? Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. ? 320 с. | http://pstu.ru/title1/faculties/fpmm/of/?sources=1&cid=70 | сеть Интернет; свободный доступ |
| Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов | Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «нелинейная оптика» | http://pstu.ru/title1/faculties/fpmm/of/?sources=1&cid=70 | сеть Интернет; свободный доступ |

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО | Наименование ПО |
|----------------------|---|
| Операционные системы | Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching) |

| Вид ПО | Наименование ПО |
|---|--|
| Офисные приложения. | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567 |
| ПО для обработки изображений | Adobe Photoshop CS3 Russian (ПНИПУ 2008 г.) |
| Прикладное программное обеспечение общего назначения | Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017 |
| Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением | Autodesk Inventor HSM Ultimate 2019 Education Multi-seat Stand-alone Single-user (s/n 564-16427446 |
| Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением | Autodesk Inventor Professional 2019 Education Multi-seat Stand-alone Single-user (s/n 564-05679252) |

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование | Ссылка на информационный ресурс |
|---|---|
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета | http://lib.pstu.ru/ |
| Электронно-библиотечная система Лань | https://e.lanbook.com/ |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks | http://www.iprbookshop.ru/ |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс | http://www.consultant.ru/ |

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

| Вид занятий | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения | Количество единиц |
|----------------------|---|-------------------|
| Лекция | Комплект мультимедийного оборудования, ауд. 253 Гл. | 1 |
| Практическое занятие | Комплект оборудования по фотонике, ауд. 252 Гл. | 1 |

8. Фонд оценочных средств дисциплины

| |
|------------------------------|
| Описан в отдельном документе |
|------------------------------|

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся
по дисциплине «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»

Приложение к рабочей программе дисциплины

| | |
|--|--|
| Направление подготовки: | 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика |
| Направленность (профиль) образовательной программы: | Материалы и технологии волоконной оптики |
| Квалификация выпускника: | Магистр |
| Выпускающая кафедра: | Общая физика |
| Форма обучения: | Очная |
| Курс: 2 | Семестр: 3 |

Трудоёмкость:

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| Кредитов по рабочему учебному плану: | 4 ЗЕ |
| Часов по рабочему учебному плану: | 144 ч |

Форма промежуточной аттестации:

диф. зачёт, 3 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций знать, уметь, владеть, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по индивидуальным заданиям и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

| Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы) | Вид контроля | | | |
|---|--------------|----------|----|---------------|
| | Текущий | Рубежный | | Промежуточный |
| | С, ТО | Т | ИЗ | Зачет |
| Усвоенные знания | | | | |
| З.1 – знать теоретические основы нелинейных оптических явлений при решении научно-исследовательских и производственных задач в области нелинейной волоконной оптики; | С, ТО | Т1,2,3 | ИЗ | ТВ |

| | | | | |
|---|-------|--------|----|----|
| 3.2 –знать законы и явления нелинейной волоконной оптики, фотоники и оптоинформатики для решения прикладных задач и оформления результатов исследования; | С, ТО | T1,2,3 | ИЗ | ТВ |
| 3.3 – знать теоретические основы нелинейных процессов в волоконной оптике, нелинейно-оптического преобразования частоты. | С, ТО | T1,2,3 | ИЗ | ТВ |
| Освоенные умения | | | | |
| У.1 – уметь использовать современную аппаратуру при исследовании элементов и систем в области нелинейной волоконной оптики; | С | | ИЗ | ПЗ |
| У.2 – уметь использовать отчеты, рефераты, публикации и публичные обсуждения при представлении результатов исследования; | С | | ИЗ | ПЗ |
| У.3 – уметь моделировать нелинейные эффекты, проводить их оценку в волоконно-оптических системах передачи информации. | С | | ИЗ | ПЗ |
| Приобретенные владения | | | | |
| В.1 – владеть опытом практической работы при решении научно-исследовательских и производственных задач в области нелинейной волоконной оптики; | С | | ИЗ | ПЗ |
| В.2 – владеть опытом оформления и представления результатов при решении научно-исследовательских и производственных задач в области нелинейной волоконной оптики; | С | | ИЗ | ПЗ |
| В.3 – владеть навыками применения методов нелинейной волоконной оптики при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон. | С | | ИЗ | ПЗ |

С – собеседование по теме; ТО – теоретический опрос; Т – рубежное тестирование; ИЗ – индивидуальное задание; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о

проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучающегося и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучающимися отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты индивидуальных заданий и рубежных тестирований (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита индивидуальных заданий

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используются индивидуальные задания студенту. Всего при изучении дисциплины запланировано выполнение 3 индивидуальных заданий.

Ниже приведен пример индивидуального задания.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ
по дисциплине «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»

Вариант № _____

1. Построить в электронном виде график зависимости безразмерной интенсивности \bar{I}_2 волны второй гармоники от безразмерной величины $L\Delta k$, где L – длина нелинейного взаимодействия, Δk – волновая расстройка между основной волной и волной второй гармоники. Значения $L\Delta k$ по оси абсцисс изменяются в пределах $0 \leq L\Delta k \leq 4\pi$.

Аналитическая зависимость $\bar{I}_2 = f(L\Delta k)$ выражается формулой:

$$\bar{I}_2 = \text{sinc}^2\left(\frac{L\Delta k}{2\pi}\right),$$

где функция $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$.

Дать физическое объяснение графику.

Указать на графике:

- точку, в которой $L = L_k$, где L_k – длина когерентности;
- максимальное значение \bar{I}_2 на интервале $2\pi \leq L\Delta k \leq 4\pi$ и определить это максимальное значение.

Объяснить, что характеризует длина когерентности применительно к процессу генерации второй гармоники.

2. Параметрический усилитель на основе нелинейного кристалла KDP (показатель преломления $n = 1,49$; квадратичная оптическая восприимчивость $\chi^{(2)} = 1,88 \cdot 10^{-12}$ м/В) длиной $L = 4$ см предназначен для усиления света с длиной волны $\lambda_1 = 550$ нм (сигнальная волна). Длина волны накачки составляет $\lambda_3 = 335$ нм, а ее интенсивность $I_3 = 10^{10}$ Вт/м².

В предположении коллинеарности световых волн (накачки, сигнальной и холостой):

– записать условие согласования частот световых волн: сигнальной ω_1 , холостой ω_2 и накачки ω_3 , а также условие фазового синхронизма для описанного случая;

– вычислить длину волны холостого излучения λ_2 , возникающего в процессе параметрического усиления;

– вычислить коэффициент усиления параметрического усилителя γ (м⁻¹), а также полное усиление за один проход по кристаллу:

$$G = \frac{I_1(L)}{I_1(0)},$$

где I_1 – интенсивность сигнальной волны.

3. Стационарный процесс распространения интенсивной световой волны с амплитудой $A(z)$ вдоль оси Oz в волоконном световоде описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 A}{dz^2} + k \frac{dA}{dz} = i(k^2 A + \gamma k A^3).$$

Здесь $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число, γ – коэффициент нелинейности, i – мнимая единица.

Получить укороченное уравнение для данной задачи, используя условия:

- медленного изменения амплитуды;
- сильной нелинейности

$$A \gg \sqrt{\frac{k}{\gamma}}$$

и проинтегрировать это уравнение при граничном условии $A(0) = A_0$.

Величины γ , A_0 считать известными.

Защита заданий проводится индивидуально каждым студентом. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежное тестирование

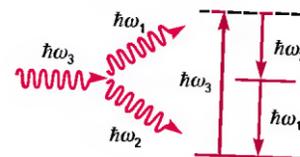
Согласно РПД запланировано 3 рубежных тестирования (Т1,2,3) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первое – по модулю 1 «Элементы прикладной нелинейной оптики», второе – по модулю 2 «Актуальные проблемы современной нелинейной волоконной оптики», третье – по модулю 3 «Перспективы нелинейной волоконной оптики».

Типовые вопросы тестирования по модулю 1

1. Зависимость поляризованности P от напряженности электрической составляющей E светового поля (материальное уравнение) для изотропной квадратично-нелинейной оптической среды выражается уравнением (здесь ε_0 – электрическая постоянная):

1) $P(E) = \varepsilon_0 \cdot (\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2)$; **2)** $P(E) = \varepsilon_0 \chi^{(2)} E^2$; **3)** $P(E) = \varepsilon_0 \cdot (\chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3)$;
4) $P(E) = \varepsilon_0 \cdot (\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3)$; **5)** $P(E) = \varepsilon_0 \cdot (\chi^{(1)} E + \chi^{(3)} E^3)$.

2. Для процесса нелинейно-оптического преобразования частоты, квантовая схема которого показана на рисунке справа, условие фазового синхронизма имеет вид (здесь \vec{k} – волновой вектор):



1) $\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3 = 0$; **2)** $\vec{k}_3 = \vec{k}_1 + \vec{k}_2$; **3)** $\vec{k}_2 = \vec{k}_1 + \vec{k}_3$;
4) $\vec{k}_1 = \vec{k}_3 + \vec{k}_2$; **5)** $\vec{k}_3 = \vec{k}_1 = \vec{k}_2$.

3. Интенсивность оптического излучения, напряженность электрического поля которого равна внутриатомной напряженности, имеет порядок...

1) 20 Вт/м^2 ; **2)** 10^4 Вт/м^2 ; **3)** 10^{14} Вт/м^2 ; **4)** 10^{20} Вт/м^2 ; **5)** 10^{25} Вт/м^2 .

4. На рисунке справа приведены 9 компонент тензора...

1) квадратичной оптической восприимчивости для анизотропной среды; **2)** квадратичной оптической восприимчивости для изотропной среды; **3)** линейной оптической восприимчивости; **4)** кубичной оптической восприимчивости для анизотропной среды; **5)** кубичной оптической восприимчивости для изотропной среды.

$$\begin{pmatrix} \chi_{211} & \chi_{212} & \chi_{213} \\ \chi_{221} & \chi_{222} & \chi_{223} \\ \chi_{231} & \chi_{232} & \chi_{233} \end{pmatrix}$$



5. Для идеально однородного оптического материала, строение молекулы которого показано на рисунке слева, отсутствует оптическая восприимчивость...

- 1) 1-го порядка; 2) 2-го порядка; 3) 3-го порядка;
4) 4-го порядка; 5) 5-го порядка.

6. Одним из способов плавной регулировки частоты в параметрическом генераторе света является...

- 1) изменение расстояния между зеркалами резонатора; 2) изменение интенсивности волны накачки; 3) нагрев нелинейного кристалла;
4) нарушение условия фазового синхронизма; 5) увеличение размеров нелинейного кристалла.

7. Метод медленно меняющихся амплитуд, применяемый в прикладной нелинейной оптике, позволяет...

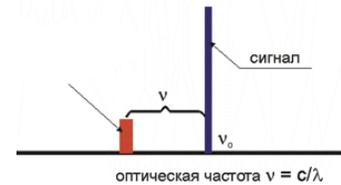
- 1) понизить порядок системы нелинейных дифференциальных уравнений;
2) преобразовать задачу в одномерную; 3) выполнить условие стационарности;
4) выполнить переход к линейной оптике; 5) уточнить величину фазового рассогласования.

8. В вакуумном фотоэлементе имеет место трехфотонный фотоэффект. Если мощность лазерного излучения, падающего на катод, увеличить с 2 Вт до 4 Вт, то фотоэлектронный ток при этом...

- 1) не изменится; 2) возрастет примерно в 8 раз; 3) возрастет примерно в 4 раза;
4) возрастет примерно в 2 раза; 5) уменьшится примерно в 2 раза.

9. Показанная на рисунке левой стрелкой наведенная спектральная компонента, обусловленная генерацией волны акустических фононов, иллюстрирует понятие...

- 1) бриллюэновского сдвига; 2) штарковского смещения;
3) антистоксового сдвига; 4) рамановского рассеяния; 5) максвелловского распределения.



10. Интегральные соотношения Мэнли-Роу для трехволнового смешения показывают, что приращения интенсивности взаимодействующих волн относятся друг к другу как их...

- 1) дисперсионные коэффициенты; 2) амплитуды;
3) фазовые скорости; 4) длины волн; 5) частоты.

Типовые вопросы тестирования по модулю 2

1. При увеличении числа полностью синхронизированных мод резонатора в 2 раза длительность генерируемых сверхкоротких оптических импульсов при прочих равных условиях...

- 1) увеличится в 4 раза; 2) уменьшится в 4 раза; 3) увеличится в 2 раза;
4) уменьшится в 2 раза; 5) не изменится.

2. В лазерах с активной синхронизацией мод применяют...

- 1) многослойное полупроводниковое зеркало SESAM;
2) углеродные наноструктуры; 3) акустооптический модулятор;
4) керровскую линзу; 5) нелинейное вращение плоскости поляризации.

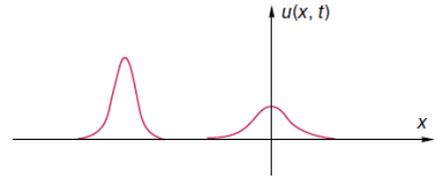
3. Явление модуляционной неустойчивости при распространении оптических импульсов в нелинейной среде с дисперсией иллюстрирует процесс...

- 1) нелинейного набега фазы; 2) нелинейно-оптического преобразования частоты; 3) наведения положительного чирпа; 4) четырехволнового смешения; 5) распада непрерывной волны на ряд коротких волн.

4. Если P – мощность, требуемая для формирования фундаментального солитона, то для образования солитона 2-го порядка необходима мощность, примерно равная...

- 1) $2P$; 2) $4P$; 3) P ; 4) $P/2$; 5) $P/4$.

5. На рисунке справа показаны два солитона, описываемые уравнением Кортевега-де Фриза и движущиеся вдоль положительного направления оси x . Для скоростей солитонов v_1 (левый) и v_2 (правый) справедливо соотношение:



- 1) $v_1 > v_2$; 2) $v_1 = v_2$; 3) $v_1 < v_2$; 4) может быть произвольным.

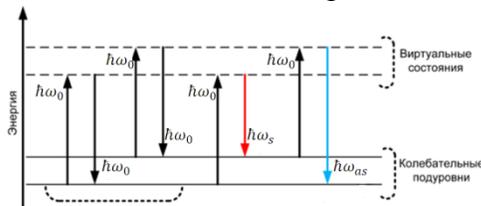
6. При измерении длительности сверхкоротких оптических импульсов используется нелинейный эффект...

- 1) оптического детектирования; 2) генерации 2-ой гармоники; 3) самофокусировки; 4) коллапса волнового поля; 5) оптического пробоя.

7. Применение насыщаемых поглотителей на основе графена в лазерах с пассивной синхронизацией мод связано с работами...

- 1) американского физика китайского происхождения Ч. Као; 2) российского физика Ж. Алферова; 3) российских физиков А. Гейма и К. Новоселова; 4) российского физика Е. Дианова; 5) российского физика В. Гинзбурга.

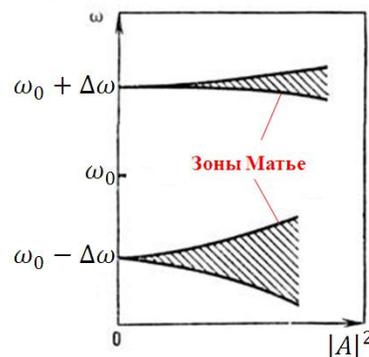
8. В схеме квантовых переходов, показанной на рисунке:



крайний правый переход соответствует...

- 1) стоксовому ВРМБ-рассеянию; 2) антистоксовому ВРМБ-рассеянию; 3) стоксовому ВКР-рассеянию; 4) антистоксовому ВКР-рассеянию; 5) рэлеевскому рассеянию.

9. Эффект образования зон Матье при увеличении интенсивности излучения, подаваемого в оптическое волокно (см. рисунок), иллюстрирует явление...



- 1) фазовой самомодуляции; 2) вынужденного рассеяния; 3) модуляционной неустойчивости; 4) параметрического усиления; 5) коллапса волнового поля.

10. Фильтры оптических импульсов, вносящие чирп, реализуются с помощью оптических элементов...

- 1) обладающих оптической активностью; 2) имеющих линейные характеристики; 3) имеющих сильное поглощение; 4) обладающих

дисперсией; 5) обладающих двойным лучепреломлением.

Типовые вопросы тестирования по модулю 3

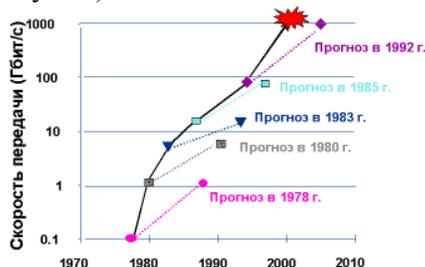
1. Достигнутые в настоящее время максимальные скорости передачи информации по многоканальным волоконно-оптическим линиям имеют порядок...

1) мбит/с; 2) Мбит/с; 3) кбит/с; 4) Тбит/с; 5) Гбит/с.

2. Какая из перечисленных стратегий позволяет исключить нелинейное перекрытие спектров соседних каналов волоконно-оптической WDM-линии без уменьшения скорости передачи по одному волоконному световоду?

1) Увеличение числа каналов; 2) разработка одномодовых световодов с большим диаметром сердцевины; 3) уменьшение энергопотребления и снижение стоимости; 4) полностью оптическая обработка сигналов.

3. Опережающий характер роста скорости передачи информации по ВОЛС по сравнению с прогнозируемыми значениями (см. рисунок) объясняется...



1) самоулучшением характеристик оптического волокна; 2) резким увеличением инвестиций; 3) применением инновационных решений; 4) неадекватностью существующих теоретических моделей.

4. Интенсивность излучения современных сверхмощных лазеров превышает максимальную интенсивность долазерных источников света...

1) примерно в 2 раза; 2) примерно на один порядок; 3) примерно на 5 порядков; 4) примерно на 10 порядков; 5) примерно на 20 порядков.

5. Повышение скорости передачи информации

$$V(\text{бит/с}) = N \cdot b(\text{бит/с})$$

в N-канальных ВОЛС в настоящее время решается путем...

1) одновременного увеличения N и b; 2) увеличения только N;

3) увеличения только b; 4) увеличения не N и b, а других параметров.

6. Метод аподизации волоконных решеток применяется для...

1) выполнения условия фазового синхронизма; 2) выполнения условия брэгговского отражения; 3) устранения боковых резонансов; 4) создания фазового сдвига; 5) отсеечения неуправляемых мод.

7. Нобелевская премия по физике 2009 г. за достижения в развитии волоконно-оптических систем связи была присуждена...

1) голландскому физика Н. Бломбергену; 2) советскому физика П.Л. Капице; 3) американскому физика Л. Молленауэру; 4) физика китайского происхождения Ч. Као; 5) советским физикам Н.Г. Басову и А.М. Прохорову.

8. Основным направлением повышения широкополосности современных волоконных оптических усилителей является...

1) переход от одномодового к многомодовому волокну; 2) варьирование состава сердцевины волокна; 3) отказ от распределенного усиления; 4) сглаживание кривой усиления; 5) отказ от многокаскадного усиления.

9. Если λ_0 и λ_D – соответственно длина волны минимальных потерь и длина волны нулевой дисперсии, то одним из условий образования оптических солитонов в одномодовых волоконных световодах является...

1) $\lambda < \lambda_0$; 2) $\lambda < \lambda_D$; 3) $\lambda > \lambda_D$; 4) $\lambda > \lambda_0$; 5) $\lambda_D < \lambda < \lambda_0$.

10. К нерешенным проблемам современной нелинейной волоконной оптики относится...

1) создание лазеров сверхкоротких импульсов; 2) накачка с помощью лазерных диодов; 3) технология спектрального уплотнения каналов; 4) широкополосное оптическое усиление; 5) достижение терабитных скоростей передачи по волокну.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежного тестирования приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, может использоваться индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача индивидуальных заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме зачетов устной форме в виде выполнения зачетного задания и собеседования по результатам выполнения зачетного задания и индивидуальных заданий, а также включает обсуждение публикаций магистрантов.

Зачетное задание содержит теоретический вопрос (вопросы) и практическую часть. Зачетное задание формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Физические процессы трехволнового смешения. Постановка задачи о трехволновом

взаимодействии. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения. Приближение заданного поля.

2. Применение моделей и методов прикладной нелинейной оптики для описания генерации второй гармоники и параметрического усиления. Дифференциальные и интегральные соотношения Мэнли-Роу.

3. Физические принципы формирования коротких и сверхкоротких оптических импульсов. Теория синхронизации мод. Лазеры с активной и пассивной синхронизацией мод.

4. Насыщаемые поглотители (лимитеры) на основе полупроводников и углеродных наноструктур. Нелинейные эффекты керровской линзы и вращения эллипса поляризации.

5. Чирпированные импульсы. Прохождение гауссова импульса через фильтр с чирпом. Физические принципы и схемы формирования чирпированных импульсов. Оптическое волокно как фильтр с чирпом.

6. Технические проблемы, связанные с усилением оптических импульсов. Использование дисперсионных свойств среды для усиления чирпированных импульсов.

7. Классификация и физические основы работы волоконных брэгговских решеток. Основные допущения и математическая постановка задачи о распространении двух связанных мод. Теория связанных мод.

8. Метод аподизации волоконных решеток и способы его реализации. Длиннопериодные волоконные решетки и их применение. Современные нелинейные и неоднородные волоконные решетки и их применение.

9. Оптика фазового сопряжения и использование методов нелинейной оптики для обработки световых (электромагнитных) полей в реальном масштабе времени. Физические основы обращения волнового фронта световой волны.

10. Методы получения обращенной волны: на основе вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и на основе четырехволнового смешения.

11. Волоконные усилители на эрбиевом волокне. Рамановские усилители. Параметрические усилители. Эффект насыщения коэффициента усиления. Современные научно-технические проблемы волоконных усилителей и пути их решения.

12. Роль инноваций в развитии волоконной оптики. Понятие об инновационной политике и технологических платформах. Современные технологические платформы в области фотоники. Инновационные направления развития нелинейной волоконной оптики.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Рассчитать нелинейный набег фазы и максимальный частотный сдвиг, обусловленные эффектом фазовой самомодуляции, для гауссова оптического импульса.

2. Рассчитать мощность, необходимую для формирования оптического солитона N-го порядка.

3. По известному расстоянию между зеркалами оптического резонатора лазера и заданному числу синхронизируемых мод рассчитать временной интервал следования сверхкоротких оптических импульсов, а также их длительность.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. На основе постановки задачи о трехволновом взаимодействии провести комплексный расчет для коллинеарного процесса параметрической генерации света при точном выполнении условия фазового синхронизма.

2. Провести комплексный расчет волоконного усилителя, работающего в ненасыщенном режиме, для случая однородного усиления (коэффициент усиления постоянен по всей длине усилителя).

2.4.3. Шкалы оценивания результатов обучения по дисциплине

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов знать, уметь, владеть заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов знать, уметь и владеть приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Оценка уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов и компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.