

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

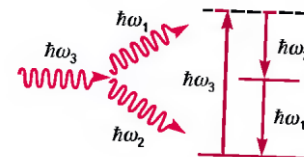
Согласно РПД запланировано 3 рубежных тестирования (Т1,2,3) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первое – по модулю 1 «Элементы прикладной нелинейной оптики», второе – по модулю 2 «Актуальные проблемы современной нелинейной волоконной оптики», третье – по модулю 3 «Перспективы нелинейной 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)** $\vec{k}_3 = \vec{k}_1 = \vec{k}_2$.

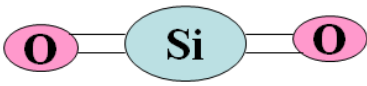
3. Интенсивность оптического излучения, напряженность электрического поля которого равна внутриатомной напряженности, имеет порядок...

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...

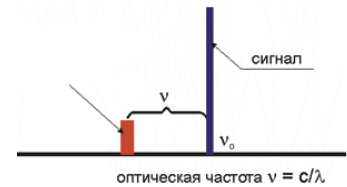
- 1) понизить порядок системы нелинейных дифференциальных уравнений;
2) преобразовать задачу в одномерную; 3) выполнить условие стационарности;
4) выполнить переход к линейной оптике; 5) уточнить величину фазового рассогласования.

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.

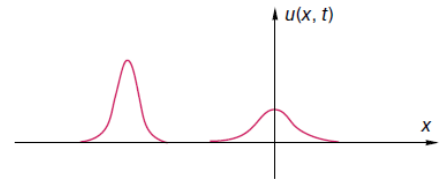
3. Явление модуляционной неустойчивости при распространении оптических импульсов в нелинейной среде с дисперсией иллюстрирует процесс...

- 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.

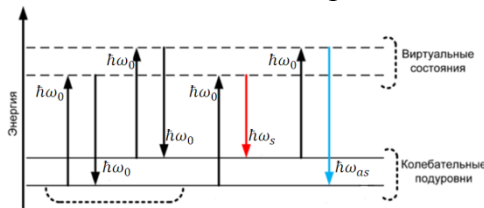
6. При измерении длительности сверхкоротких оптических импульсов используется нелинейный эффект...

- 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.

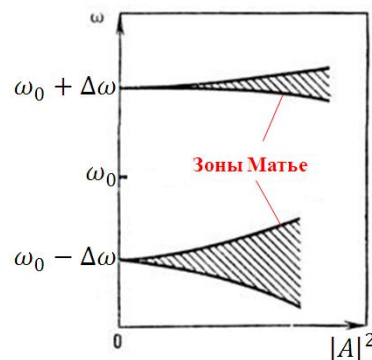
8. В схеме квантовых переходов, показанной на рисунке:



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

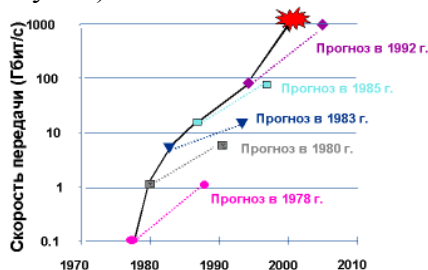
1. Достигнутые в настоящее время максимальные скорости передачи информации по многоканальным волоконно-оптическим линиям имеют порядок...

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.