

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**
Факультет прикладной математики и механики
Кафедра «Общая физика»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
д-р техн. наук, профессор

Н.В. Лобов

2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ «НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа академического бакалавриата
Направление 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Профиль программы бакалавриата:	Волоконная оптика
Квалификация выпускника:	Бакалавр
Выпускающая кафедра:	«Общая физика»
Форма обучения:	Очная

Курс: 4 **Семестр: 7**

Трудоёмкость:

- кредитов по рабочему учебному плану:	5 ЗЕ
- часов по рабочему учебному плану (РУП):	180 ч

Виды контроля:

Экзамен: -	Зачёт: -	Курсовой проект: -	Курсовая работа: -
------------	----------	--------------------	--------------------

7 семестр

Пермь
2016

Учебно-методический комплекс дисциплины «Нелинейная оптика» разработан на основании:

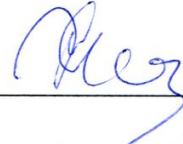
- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» (уровень бакалавриат), утверждённого Министерством образования и науки Российской Федерации 3.09.2015 г., приказ № 958;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», профилю «Волоконная оптика», утверждённой 14.09.2016 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», профилю «Волоконная оптика», утверждённого 28.04.2016 г.

Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин «Введение в фотонику и оптоинформатику», «Оптическая физика», «Оптическое материаловедение», «Основы фотоники», «Основы оптоинформатики», «Специальные разделы физики», «Волноводная фотоника», «Волоконно-оптические измерения», НИРС, «Физика твердого тела», «Конструкции и технологии волоконно-оптических элементов и систем», Учебная практика 1, Учебная практика 2, Производственная практика, Преддипломная практика, участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик
канд. физ.-мат. наук, доцент

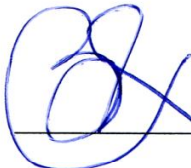

В.Г. Беспрозванных

Рецензент
канд. техн. наук, доцент


Н.А. Харламова


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Общая физика»
« 21 » сентября 2016 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой,
ведущей дисциплину,
канд. физ.-мат. наук, доцент


Г.Н. Вотинов

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией факультета прикладной математики и механики « 22 » 09 2016 г., протокол № 2.

Председатель учебно-методической комиссии
факультета прикладной математики и механики
канд. физ.-мат. наук, доцент


Э.В. Плехова

СОГЛАСОВАНО

Начальник управления образовательных программ
канд. техн. наук, доцент


Д.С. Репецкий

1 Общие положения

1.1 Цель учебной дисциплины «Нелинейная оптика» – освоение дисциплинарных компетенций, формирование у студентов системы понятий и представлений о нелинейной оптике как научно-техническом направлении, основанном на закономерностях взаимодействия интенсивного оптического излучения с веществом, определение места нелинейных оптических явлений в современных волоконно-оптических устройствах и технологиях, обеспечивающих передачу, прием, обработку, хранение и отображение информации.

Наибольшее внимание при изучении дисциплины уделяется физическим основам оптических нелинейностей, общей характеристике и особенностям нелинейных оптических явлений, перспективам развития нелинейной волоконной оптики.

В процессе изучения дисциплины студент расширяет и углубляет части следующих компетенций по направлениям подготовки ВО:

- способность к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики (ПК-1);
- способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике (ПК-3).

1.2 Задачи дисциплины:

- освоить основные физические механизмы, лежащие в основе оптической нелинейности, закономерности и модели распространения интенсивного лазерного излучения и его взаимодействия с веществом с учетом многофотонного характера процессов;
- сформировать у студентов системное представление о нелинейных оптических явлениях, связанных с применением современных волоконно-оптических систем передачи информации, эффективным преобразованием характеристик лазерного излучения, разработкой новых волоконно-оптических и лазерных технологий;
- выработать у студентов навыки расчетно-теоретического анализа нелинейных оптических схем и материалов, применяемых на практике;
- сформировать у студентов общее представление о современных научно-технических проблемах и перспективах развития нелинейной волоконной оптики.

1.3 Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- основные нелинейные оптические процессы и физико-математические модели;
- оптические элементы, устройства и системы, в которых на основе нелинейных процессов генерируются, усиливаются, распространяются и детектируются сигналы в оптическом диапазоне;
- оптические устройства и технологии систем нелинейной волоконной оптики.

1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нелинейная оптика» относится к вариативной части блока 1 и является обязательной при освоении ОПОП по профилю программы бакалавриата «Волоконная оптика» направления ВО 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика».

Дисциплина дает возможность общения студентов с ведущими отечественными и зарубежными специалистами в рассматриваемой области, ознакомления с современными проблемами и перспективами развития нелинейной оптики, получения наглядного представления о практике обсуждения новых идей и создания высокотехнологичной продукции на их основе. Дисциплина «Нелинейная оптика» сохраняет непосредственную взаимосвязь с другими дисциплинами основных образовательных программ бакалавриата: «Введение в фотонику и оптоинформатику», «Оптическая физика», «Оптическое материаловедение», «Основы фотоники», «Основы оптоинформатики», «Специальные разделы физики», «Волноводная фотоника», «Волоконно-оптические измерения», НИРС, «Физика твердого тела», «Конструкции и технологии волоконно-оптических элементов и систем», Учебная практика 1, Учебная практика 2, Производственная практика, Преддипломная практика.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен расширить и углубить освоение частей указанных в пункте 1.1 компетенций и продемонстрировать следующие результаты:

знать:

- различия в основных принципах и методологических подходах, на которых базируются линейная и нелинейная оптика;
- общефизические основы и механизмы оптических нелинейностей;
- особенности взаимодействия световых волн большой интенсивности с веществом;
- физико-химическую природу и основы применения различных видов нелинейных оптических материалов;
- системные основы нелинейных явлений в современной волоконной оптике, фотонике и оптоинформатике;
- перспективы развития нелинейной оптики;

уметь:

- использовать математический аппарат и основные положения фотоники, оптической физики и физики твердого тела применительно к прикладным задачам нелинейной оптики;
- проводить сбор и анализ научно-технической информации о современных тенденциях и достижениях отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в области нелинейной оптики;
- осуществлять выбор оптических волокон и характеристик применяемых оптических импульсов для обеспечения требуемой эффективности волоконно-оптических линий в условиях действия нелинейных эффектов;
- осуществлять выбор возможных вариантов и схем использования различных видов нелинейных оптических материалов и нелинейно-оптического преобразования характеристик лазерного излучения в волоконной оптике;
- идентифицировать различные многофотонные процессы и оценивать их вероятность;
- использовать справочную информацию и текущую научно-техническую литературу в области нелинейной оптики на основе как электронных носителей, так и традиционных библиотечных фондов;

владеть:

- методами комплексной оценки влияния нелинейных явлений на эффективность волоконно-оптических систем;
- методами и способами идентификации типа решаемой задачи нелинейной оптики как теоретической, экспериментальной или технологической проблемы;
- навыками анализа проблем нелинейной оптики и их связи с общими проблемами фотоники, оптоинформатики и других областей науки, техники и технологии;
- методикой синтеза и анализа нелинейных явлений, применяемых при передаче, приеме, обработке, хранении и отображении информации в оптическом диапазоне частот;
- навыками делать презентацию учебно-научного сообщения, доклада, выполнять информационный поиск, участвовать в научных дискуссиях на конференциях, а также на предприятиях.

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1. Дисциплины, направленные на формирование компетенций

Код	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины
Профессиональные компетенции			
ПК-1	Способность к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики	Введение в фотонику и оптоинформатику, Оптическая физика, Основы фотоники, Основы оптоинформатики, Конструкции и технологии волоконно-оптических элементов и систем, Учебная практика 1, Учебная практика 2	Волноводная фотоника, Научно-исследовательская работа студентов, Преддипломная практика
ПК-3	Способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике	Оптическая физика, Специальные разделы физики, Физика твердого тела, Производственная практика	Оптическое материаловедение, Волоконно-оптические измерения, Преддипломная практика

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1 и ПК-3.

2.1 Дисциплинарная карта компетенции ПК-1

Код	Формулировка компетенции
ПК-1	Способность к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ПК-1 Б1.В.07	Способность к анализу поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики

Требования к компонентному составу компетенции

Код	Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
1	2	3	4
ПК-1-з	Знание теоретических основ и механизмов оптических нелинейностей при анализе поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики	Лекции. Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Текущее и рубежное тестирование. Защита лабораторных работ. Экзамен
ПК-1-у	Умение использовать законы и явления нелинейной оптики, фотоники и оптоинформатики при исследовании элементов и систем волоконной оптики	Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Защита лабораторных работ
ПК-1-в	Владение опытом практической работы по решению прикладных задач в области элементов и систем нелинейной волоконной оптики	Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Защита лабораторных работ. Экзамен

2.2 Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

Код	Формулировка компетенции
ПК-3	Способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике

Код	Формулировка дисциплинарной части компетенции
ПК-3 Б1.В.07	Способность к проведению исследования различных объектов по заданной методике в области нелинейной оптики

Требования к компонентному составу компетенции

Код	Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
1	2	3	4
ПК-3-з	Знание теоретических основ нелинейных оптических явлений при применении методики исследования объектов в области нелинейной оптики	Лекции. Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Текущее и рубежное тестирование. Защита лаборатор-

			ных работ. Экзамен
ПК-3-у	Умение использовать законы и явления нелинейной оптики при исследовании элементов и систем по заданной методике	Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Защита лабораторных работ
ПК-3-в	Владение опытом практической работы по проведению научных исследований элементов и систем нелинейной волоконной оптики по заданной методике	Лабораторные занятия. СРС	Индивидуальное задание. Защита лабораторных работ. Экзамен

3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

3.1 Основными видами аудиторной (контактной) работы по дисциплине являются:

- лекции (Л);
- лабораторные работы (ЛР).
- тестирование в часы контроля самостоятельной работы (КСР).

3.2 Основными видами самостоятельной работы (СРС) по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение теоретического материала (ИТМ);
- выполнение индивидуальных заданий (ИЗ);
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ (ЗЛР).

3.3 Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 5 ЗЕ.

Количество часов, выделенных на аудиторную (контактную) работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Объем и виды учебной работы

№ п/п	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч	
		семестр 7	всего
1	2	3	4
1	Аудиторная (контактная) работа	72	72
	- в том числе в интерактивной форме	14	14
	- лекции (Л)	32	32
	- в том числе в интерактивной форме	8	8
	- лабораторные занятия (ЛР)	36	36
	- в том числе в интерактивной форме	6	6
	- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
2	Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72
	- изучение теоретического материала (ИТМ)	34	34
	- выполнение индивидуальных заданий (ИЗ)	20	20
	- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ (ЗЛР)	18	18
3	Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине: экзамен	36	36

4	Трудоёмкость дисциплины, всего:	в часах (ч)	180	180
		в зачётных единицах (ЗЕ)	5	5

4 Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Общая структура содержания дисциплины представлена тематическим планом, который задаёт распределение трудоёмкости разделов и тем содержания по видам аудиторной и самостоятельной работы (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учебного модуля	Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов (очная форма обучения) и виды занятий						Трудоёмкость, ч/ЗЕ
			Аудиторная работа				Самостоятельная работа	Контроль	
			Всего	Л	ЛР	КСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	4	4			4		
		2	6	2	4		4		
		3	6	2	4		4		
		4	2	2			4		
		5	2	2			4		
		6	3	2		1	4		
		Всего по модулю:	23	14	8	1	24		47/1,30
2	2	7	6	2	4		6		
		8	6	2	4		4		
		9	6	2	4		6		
		10	6	2	4		6		
		11	8	2	4	2	6		
		Всего по модулю:	32	10	20	2	28		60/1,67
3	2	12	6	2	4		8		
		13	6	2	4		6		
		14	4	4		1	6		
		Всего по модулю:	17	8	8	1	20		37/1,03
Промежуточная аттестация								36	36/1
Итого:			72	32	36	4	72	36	180/5

4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Модуль 1. Общефизические основы нелинейной оптики

Раздел 1. Исходные понятия, законы и модели нелинейной оптики

ЛК – 14 ч, ЛР – 8 ч, СРС – 24 ч.

Тема 1. Введение в нелинейную оптику

Линейная и нелинейная оптика. Предмет, задачи и основные этапы развития нелинейной оптики. Интенсивность света и ее влияние на характер оптических явлений. Нарушение принципа суперпозиции в нелинейной оптике. Физические причины различий между линейной и нелинейной оптикой. Нелинейные явления и современные оптические технологии.

Тема 2. Понятие о нелинейных восприимчивостях

Волновое уравнение для электромагнитного поля в нелинейной среде. Поляризация диэлектриков в световом поле. Нелинейные оптические восприимчивости и их свойства. Классификация нелинейных эффектов в оптике. Материальное уравнение для анизотропной среды. Квадратично-нелинейные и кубично-нелинейные материалы. Нелинейные оптические кристаллы.

Тема 3. Нелинейно-оптическое преобразование частоты

Нелинейно-оптическое преобразование частоты в квадратично-нелинейной среде. Генерация второй гармоники. Опыт Франкена. Понятие об оптическом детектировании. Фазовый (волновой) синхронизм. Интерференционная природа фазового синхронизма. Физическая аналогия между фазовым синхронизмом и пространственным резонансом. Обеспечение синхронизма в анизотропных кристаллах.

Тема 4. Модели взаимодействия светового поля с веществом

Классические и квантовые модели взаимодействия светового поля с веществом. Модели гармонического и ангармонических осцилляторов. Правило Миллера. Уравнение Дуффинга. Полуклассический подход к описанию взаимодействия излучения с веществом. Резонансное взаимодействие излучения с квантовой системой. Частота Раби. Эффект «насыщения». Градиентные макро-модели.

Тема 5. Элементы многофотонной оптики

Однофотонные и многофотонные процессы. Виды многофотонных переходов и оценка их вероятности. Квантовомеханические закономерности многофотонных переходов. Виртуальные состояния. Динамический эффект Штарка. Экспериментальное исследование многофотонных процессов. Нелинейный (многофотонный) фотоэффект.

Тема 6. Термооптические явления при сверхвысоких интенсивностях света

Термооптические явления при сверхвысоких интенсивностях света. Область сверхсильных световых полей. Оптический пробой среды. Физические процессы, сопровождающие оптический пробой в твердом теле. Линейное и нелинейное поглощение. Ударные и тепловые нелинейные эффекты. Понятие о силовой оптике. Лучевая прочность.

Модуль 2. Нелинейная волоконная оптика**Раздел 2. Общая характеристика нелинейных оптических явлений**

ЛК – 10 ч, ЛР – 20 ч, СРС – 28 ч.

Тема 7. Самовоздействия в волоконной оптике

Понятие о самовоздействиях световых волн. Физические механизмы, приводящие к зависимости показателя преломления от интенсивности света. Влияние рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка. Самофокусировка и самоканализация световых пучков. Многофокусная структура светового пучка при самофокусировке. Оптическая бистабильность и ее применение.

Тема 8. Фазовая самомодуляция и фазовая кросс-модуляция

Физические процессы, вызывающие фазовую самомодуляцию (ФСМ) в оптоволокне. Расчет дополнительного фазового и частотного сдвига оптических импульсов. Фазовая кросс-модуляция (ФКМ) и ее связь с самомодуляцией. Влияние ФСМ и ФКМ на характеристики волоконно-оптических линий связи.

Тема 9. Нелинейное рассеяние света и его применение

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна (ВРМБ), их физический механизм. Квантовая трактовка и пороговые параметры ВКР и ВРМБ. ВКР- и ВРМБ-усиление и их применение.

Тема 10. Модели распространения лазерных импульсов в волоконно-оптических системах

Модели эволюции нелинейных волн: уравнения Римана, Бюргерса, Кортевега-де Фриза, нелинейное уравнение Шредингера, обобщенное эволюционное уравнение. Соотношение между нелинейностью, дисперсией и диссипацией. Основные режимы распространения лазерных импульсов. Модуляционная неустойчивость.

Тема 11. Оптические солитоны

Физика образования и основные свойства оптических солитонов. Аналитические солитонные решения. Оптические солитоны: фундаментальный и высших порядков. Применение оптических солитонов в высокоскоростных линиях связи. Схемы солитонных волоконно-оптических линий связи. Применение усилителей на эрбиевом волокне.

Модуль 3. Основные проблемы и перспективы развития нелинейной оптики

ЛК – 8 ч, ЛР – 8 ч, СРС – 20 ч.

Тема 12. Оптика сверхкоротких импульсов

Сверхкороткие оптические импульсы. Генерация коротких и сверхкоротких импульсов с помощью модуляции добротности и синхронизации мод. Методы сжатия оптических импульсов в диспергирующих средах (волоконно-решеточная компрессия, многосолитонная компрессия). Измерение длительности сверхкоротких импульсов.

Тема 13. Параметрические процессы в волоконной оптике

Четырехволновое смешение, его физический механизм и влияние на характеристики волоконно-оптических линий связи. Параметрическое усиление. Ширина полосы усиления для параметрических, ВКР- и ВРМБ-усилителей. Параметрическая генерация света. Физические основы работы параметрического генератора света.

Тема 14. Перспективы нелинейной волоконной оптики

Основные области применения, современные проблемы и перспективы развития нелинейной оптики. Пути повышения скорости передачи информации. Роль нелинейных явлений в волоконно-оптической связи. Технология WDM. Фотонно-кристаллические волоконные световоды. Проблема полностью оптической обработки сигналов.

4.3 Перечень тем лабораторных занятий

Таблица 4.2. Темы лабораторных занятий

№ п/п	Номер темы дисциплины	Наименование темы лабораторной работы
1	2	3
1	2	Исследование свойств нелинейных кристаллов
2	3	Генерация второй гармоники
3	7	Исследование самофокусировки лазерного пучка
4	8	Измерение фазового и частотного сдвига оптических импульсов
5	9	Изучение характеристик ВКР-усилителя
6	10	Исследование режимов распространения лазерных импульсов
7	11	Изучение характеристик усилителя на эрбиевом волокне
8	12	Пара дифракционных решеток как компрессор оптических импульсов
9	13	Параметрический генератор света

4.4 Перечень тем практических занятий

Не предусмотрены.

5 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 лабораторным работам и индивидуальным заданиям на самостоятельную работу.
4. Изучение дисциплины осуществляется в течение одного семестра, график изучения дисциплины приводится в п. 7.
5. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь, вновь изданные, в том числе, в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

Таблица 5.1. Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3

1-14	Изучение теоретического материала (ИТМ).	34
6,11,14	Выполнение индивидуальных заданий (ИЗ).	20
2,3,7,8-13	Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ (ЗЛР).	18
Итого: в ч / в ЗЕ		72/2,0

5.1. Изучение теоретического материала

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно:

Тема 1. Нелинейные явления и современные оптические технологии.

Тема 2. Классификация нелинейных эффектов в оптике.

Тема 3. Физическая аналогия между фазовым синхронизмом и пространственным резонансом.

Тема 4. Градиентные макромоделли.

Тема 5. Экспериментальное исследование многофотонных процессов.

Тема 6. Понятие о силовой оптике.

Тема 7. Влияние рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка.

Тема 8. Расчет дополнительного фазового и частотного сдвига оптических импульсов.

Тема 9. ВКР- и ВРМБ-усиление и их применение.

Тема 10. Нелинейное уравнение Шредингера и обобщенное эволюционное уравнение.

Тема 11. Схемы солитонных волоконно-оптических линий связи.

Тема 12. Измерение длительности сверхкоротких импульсов.

Тема 13. Ширина полосы усиления для параметрических, ВКР- и ВРМБ-усилителей.

Тема 14. Роль нелинейных явлений в волоконно-оптической связи.

5.2 Индивидуальные задания

Тематика индивидуальных заданий, связанных с выполнением и защитой лабораторных работ:

1. Стандартные формулы для обработки результатов эксперимента (2 ч).

2. Средства моделирования в активной компьютерной среде Stratum (2 ч).

3. Методы и средства построения доверительного интервала (2 ч).

4. Применение стандартного программного обеспечения для оценки погрешностей эксперимента (2 ч).

5. Модели вычислений (2 ч).

6. Модели измерений (2 ч).

7. Средства оформления результатов эксперимента (2 ч).

8. Использование программного редактора *EXCEL* для построения графиков (2 ч).

9. Округление результатов эксперимента (2 ч).

Пример индивидуального задания по модулям дисциплины

1. Построить в электронном виде график зависимости угла синхронизма $\theta_{\text{синх}}$ (в градусах) от длины волны падающего излучения λ (в мкм) в ближнем инфракрасном диапазоне $\lambda = 0,8 \text{ мкм} \dots 1,5$

мкм для генерации второй гармоники в отрицательном нелинейном кристалле титаната бария, дисперсионные формулы для которого имеют следующий вид:

Титанат бария. Отрицательный кристалл	$n_o^2 - 1 = \frac{4,239\lambda^2}{\lambda^2 - 0,2229^2},$ длина волны в микрометрах	$n_e^2 - 1 = \frac{4,0854\lambda^2}{\lambda^2 - 0,2087^2},$ длина волны в микрометрах
--	--	---

Угол синхронизма $\theta_{\text{синх}}$ определяется по формуле:

$$\theta_{\text{синх}} = \arcsin \sqrt{\frac{(n_o(\omega))^{-2} - (n_o(2\omega))^{-2}}{(n_e(2\omega))^{-2} - (n_o(2\omega))^{-2}}},$$

где ω – циклическая частота падающей волны, 2ω – циклическая частота волны второй гармоники. Дать физическое объяснение графику.

2. Два лазерных луча высокой интенсивности (длины волн в вакууме соответственно λ_1 и λ_2) попадают: первый – из воздуха, а второй – из стекла (показатель преломления $n_2 = 1,5$) в нелинейный кристалл KDP (показатель преломления $n_3 = 1,49$), где имеет место нелинейный процесс генерации на суммарной частоте при точном выполнении условия фазового синхронизма. В результате возникает новая оптическая компонента с длиной волны в вакууме $\lambda_3 = 231$ нм.

В предположении коллинеарности трех названных световых волн определить длины волн исходных лазерных лучей λ_1 и λ_2 .

5.3 Перечень тем курсовых работ (проектов), рефератов, расчетно-графических работ

Не предусмотрены.

5.4 Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся являются не пассивными слушателями, а активными участниками занятия. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Все лекционные занятия проводятся с применением мультимедийных информационных технологий.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при которой студенты взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом стимулируется активность студентов в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности студентов на достижение целей занятия.

6 Фонд оценочных средств дисциплины

6.1 Текущий контроль освоения заданных

дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в следующих формах:

- защита индивидуальных заданий;
- оценка работы студента на лекционных и лабораторных занятиях в рамках рейтинговой системы;
- текущее тестирование.

6.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в следующих формах:

- защита лабораторных работ (модули 1, 2, 3);
- компьютерное тестирование (модули 1, 2);
- контрольные работы (модули 1, 2).

Средствами контроля являются контрольно-измерительные материалы по модулям и разделам дисциплины.

Объектами рубежного контроля являются компоненты заявленных дисциплинарных частей компетенций.

6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Зачёт

Не предусмотрен.

2) Экзамен

Экзамен по дисциплине проводится в форме выполнения комплексного задания, включающего письменную работу, а также собеседование по результатам письменной работы, обсуждение публикаций студента, итогов выполнения индивидуального задания.

Экзаменационная оценка выставляется с учетом результатов рубежной аттестации.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы оценки, критерии оценивания, перечень контрольных точек и таблицу планирования результатов обучения, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

6.3.1 Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний

1. Интенсивность света и ее влияние на характер оптических явлений. Нарушение принципа суперпозиции в нелинейной оптике. Физические причины различий между линейной и нелинейной оптикой.

2. Волновое уравнение для электромагнитного поля в нелинейной среде. Нелинейные оптические восприимчивости и их свойства. Классификация нелинейных эффектов в оптике.

3. Нелинейно-оптическое преобразование частоты в квадратично-нелинейной среде. Генерация второй гармоники. Опыт Франкена.

4. Классические и квантовые модели взаимодействия светового поля с веществом. Модели гармонического и ангармонических осцилляторов. Правило Миллера.

5. Однофотонные и многофотонные процессы. Виды многофотонных переходов и оценка их вероятности. Квантовомеханические закономерности многофотонных переходов. Динамический эффект Штарка.

6. Физические механизмы, приводящие к зависимости показателя преломления от интенсивности света. Влияние рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка. Самофокусировка и самоканализация световых пучков.

7. Физические процессы, вызывающие фазовую самомодуляцию (ФСМ) и фазовую кросс-модуляцию (ФКМ) в оптических волокнах. Влияние ФСМ и ФКМ на характеристики волоконно-оптических линий связи.

8. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ), их физический механизм. Квантовая трактовка и пороговые параметры ВКР и ВРМБ.

9. Модели эволюции нелинейных волн: уравнения Римана, Бюргерса, Кортевега-де Фриза, нелинейное уравнение Шредингера, обобщенное эволюционное уравнение.

10. Основные свойства оптических солитонов. Аналитические солитонные решения. Применение оптических солитонов в высокоскоростных линиях связи. Схемы солитонных волоконно-оптических линий связи.

11. Методы сжатия оптических импульсов в диспергирующих средах (волоконно-решеточная компрессия, многосолитонная компрессия). Измерение длительности сверхкоротких оптических импульсов.

12. Четырехволновое смешение, его физический механизм и влияние на характеристики волоконно-оптических линий связи. Параметрическое усиление. Ширина полосы усиления.

6.3.2 Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений

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

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.

6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1. Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля					
	*ТТ	РТ	АО	ИЗ	Трен. (ЛР)	Экзамен
В результате освоения компетенций, их элементов и частей студент	+			+		+

Знает: - теоретические основы и механизмы оптических нелинейностей при анализе поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики (ПК-1-3); - теоретические основы нелинейных оптических явлений при применении заданной методики исследования объектов в области нелинейной оптики (ПК-3-3)																				
Умеет: - использовать законы и явления нелинейной оптики, фотоники и оптоинформатики при исследовании элементов и систем волоконной оптики (ПК-1-у); - использовать законы и явления нелинейной оптики при исследовании элементов и систем по заданной методике (ПК-3-у)	+	+					+			+				+					+	
Владеет: - опытом практической работы по решению прикладных задач в области элементов и систем нелинейной волоконной оптики (ПК-1-в); - опытом практической работы по проведению научных исследований элементов и систем нелинейной волоконной оптики по заданной методике (ПК-3-в)																			+	+

Примечание:

*ТТ – текущее тестирование (контроль знаний по теме);

РТ – рубежное тестирование по модулю (автоматизированная система контроля знаний);

АО – защита аналитического обзора по тематике самостоятельного изучения теоретического материала;

ИЗ – индивидуальное задание (оценка умений и владений);

Трен. (ЛР) – выполнение тренажей и лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка владения).

7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1. График учебного процесса по дисциплине

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																		Итого (ч)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Раздел:	P1						P2													
Лекции	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				32
Лабораторные занятия		4	4				4	4	4	4	4	4	4							36
Самост. работа студентов	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	2	2	2	2	4	4	4		72

Модуль:	М1					М2					М3						
КСР					1					2						1	4
Дисциплин. контроль																	Экза- мен

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

8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

Б1.В.07 Нелинейная оптика <small>(индекс и полное название дисциплины)</small>	Блок 1. Дисциплины (модули)		
	<input type="checkbox"/> базовая часть цикла	<input checked="" type="checkbox"/> обязательная	
	<input checked="" type="checkbox"/> вариативная часть цикла	<input type="checkbox"/> по выбору студента	
12.03.03 <small>(код направления подготовки / специальности)</small>	Фотоника и оптоинформатика (профиль «Волоконная оптика») <small>(полное название направления подготовки / специальности)</small>		
ФОП <small>(аббревиатура направления подготовки / специальности)</small>	Уровень подготовки: <input type="checkbox"/> специалист <input checked="" type="checkbox"/> бакалавр <input type="checkbox"/> магистр	Форма обучения: <input checked="" type="checkbox"/> очная <input type="checkbox"/> заочная <input type="checkbox"/> очно-заочная	
2016 <small>(год утверждения учебного плана ООП)</small>	Семестр: <u>7</u>	Количество групп: <u>1</u>	Количество студентов: <u>20</u>
Беспрозванных Владимир Геннадьевич <small>(фамилия, имя, отчество преподавателя)</small>		доцент <small>(должность)</small>	
Прикладной математики и механики <small>(факультет)</small>			
Общая физика <small>(кафедра)</small>		e-mail: bvg1959@rambler.ru <small>(контактная информация)</small>	

8.2 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ 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., Первадчук В.П. Нелинейная оптика: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 200 с.	40
2	Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника: принципы и применения. Учебное пособие в 2-х т. Т. 2. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2012. – 784 с.	
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Беспрозванных В.Г., Первадчук В.П. Нелинейные эффекты в волоконной оп-	40

Карта книго-
обеспеченности
в библиотеке

	тике: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. – 228 с.	
2	Агравал Г. Применение нелинейной волоконной оптики: учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 592 с.	
3	Булгакова С.А., Дмитриев А.Л. Нелинейно-оптические устройства обработки информации: учебное пособие. – СПб: Изд-во СПбГУИТМО, 2009. – 56 с.	
2.2 Периодические издания		
1	Журналы «Прикладная фотоника», «Оптический журнал», «Оптика и спектроскопия», «Проблемы передачи информации».	
2.3 Нормативно-технические издания		
	Не используются.	
2.4 Официальные издания		
	Не используются.	
2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины		
1	Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступа: http://elib.pstu.ru/ . – Загл. с экрана.	
2	Лань [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань» . – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: http://e.lanbook.com/ . – Загл. с экрана.	
3	Консультант Плюс [Электронный ресурс : справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992– . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный.	

Основные данные об обеспеченности на 21 сентября 2016 г.*(дата составления рабочей программы)*Основная литература обеспечена не обеспеченаДополнительная литература обеспечена не обеспеченаЗав. отделом комплектования научной библиотеки  Н.В. Тюрикова**Текущие данные об обеспеченности на _____***(дата контроля литературы)*Основная литература обеспечена не обеспеченаДополнительная литература обеспечена не обеспечена

Зав. отделом комплектования научной библиотеки

_____ Н.В. Тюрикова

Карта книг
обеспеченности
в библиотеку сдана

8.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе, компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 Используемые аудио- и видеопособия

Вид аудио-, видео-пособия				Наименование учебного пособия
теле-фильм	кино-фильм	слайды	аудио-пособие	
1	2	3	4	5
		+		Мультимедийный курс лекций

9 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Таблица 9.1 Специализированные лаборатории и классы

№ п/п	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1	Мультимедийная учебная аудитория	ОФ	253, гл. к.	34	30
2	Лаборатория фотоники (с комплектом компьютеров)	ОФ	252, гл. к.	48	20

Таблица 9.2 Основное учебное оборудование

№ п/п	Помещения			Примечание
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории	
1	2	3	4	5
1	Комплект мультимедийного оборудования	ОФ	253, гл. к.	
2	Комплект учебного и исследовательского спецоборудования по фотонике и оптоинформатике	ОФ	252, гл. к.	

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Нелинейная оптика»**

основной профессиональной образовательной программы высшего образования –
программы академического бакалавриата

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Направление подготовки: 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

**Профиль программы
бакалавриата:** Волоконная оптика

Квалификация выпускника: «Бакалавр»

Выпускающая кафедра: Общая физика

Форма обучения: Очная

Курс: 4

Семестр: 7

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 5 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 180 ч.

Виды промежуточного контроля:

Экзамен: 7 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «**Нелинейная оптика**» и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;

1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения

1.1. Формируемые части компетенций

Согласно КМВ ОПОП, учебная дисциплина Б1.В.07 «Нелинейная оптика» участвует в формировании 2-х компетенций: ПК-1, ПК-3. В рамках учебного плана образовательной программы в 7-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. **ПК-1.Б1.В.07.** Способность к анализу поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики.
2. **ПК-3.Б1.В.07.** Способность к проведению исследования различных объектов по заданной методике в области нелинейной оптики.

1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра базового учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (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 лабораторным работам, выполнении индивидуальных заданий и экзамене. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля				Промежуточный Экзамен
	Текущий	Рубежный		ОЛР	
Усвоенные знания. Знает:	С, ТО	Т	ИЗ	ОЛР	Экзамен
3.1 – теоретические основы и механизмы оптических нелинейностей при анализе поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики;	С, ТО	Т1,2,3	ИЗ		ТВ
3.2 – теоретические основы нелинейных оптических явлений при применении методики исследования объектов в области нелинейной оптики.	С, ТО	Т1,2,3	ИЗ		ТВ
Освоенные умения. Умеет:					
У.1 – использовать законы и явления нелинейной оптики, фотоники и оптоинформатики при исследовании элементов и систем волоконной оптики;			ИЗ	ОЛР	ПЗ
У.2 – использовать законы и явления нелинейной оптики при исследовании элементов и систем по заданной методике.			ИЗ	ОЛР	ПЗ
Приобретенные владения. Владеет:					
В.1 – опытом практической работы по решению прикладных задач в области элементов и систем нелинейной волоконной оптики;				ОЛР	КЗ
В.2 – опытом практической работы по проведению научных исследований элементов и систем нелинейной волоконной оптики по заданной методике.				ОЛР	КЗ

Примечание:

С – собеседование по теме; ТО – теоретический опрос; ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т – рубежное тестирование; ИЗ – индивидуальное задание; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

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

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) 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, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты лабораторных работ, выполнения индивидуальных заданий и рубежных тестирований (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 9 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС бакалаврской 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 «Общезначимые основы нелинейной оптики», второе – по модулю 2 «Нелинейная волоконная оптика», третье – по модулю 3 «Основные проблемы и перспективы развития нелинейной оптики».

Типовые вопросы тестирования по модулю 1

1. К некогерентным оптическим явлениям, не требующим выполнения дополнительных фазовых соотношений, относится...

- 1) генерация второй гармоники; 2) параметрическое усиление света;
3) параметрическая генерация света; 4) самофокусировка светового пучка;
5) четырехволновое смешение.

2. 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 .

3. 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.

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



4. 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.

5. В формуле для отношения интенсивностей волны 2-ой гармоники и падающей волны (Δk – волновая расстройка):

$$\frac{I(2\omega)}{I(\omega)} = \text{const} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2} \Delta k \cdot z\right)}{\left(\frac{1}{2} \Delta k\right)^2}$$

в случае точного выполнения условия фазового синхронизма следует положить...

1) $\omega = 0$; 2) $z \rightarrow \infty$; 3) $\Delta k \rightarrow \infty$; 4) $\Delta k = 0$; 5) $I(2\omega) = 0$.

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. Принципиальная возможность реализации многофотонных переходов при взаимодействии излучения с веществом вытекает из...

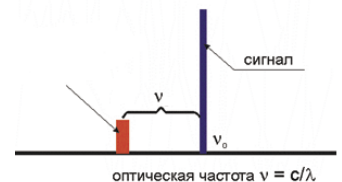
1) моделей классических осцилляторов; 2) нелинейного волнового уравнения; 3) нулевой вероятности виртуальных состояний; 4) эффекта насыщения; 5) законов квантовой механики.

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. Материальное уравнение для кубично-нелинейного *изотропного* кристалла имеет вид...

$$\begin{aligned} & 1) P(E) = \varepsilon_0 \cdot [\chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3]; \quad 2) P(E) = \varepsilon_0 \cdot [\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3]; \\ & 3) P_i = \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \chi_{ik}^{(1)} E_k + \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \chi_{ikj}^{(2)} E_k E_j + \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{m=1}^3 \chi_{ikjm}^{(3)} E_k E_j E_m; \\ & 4) P(E) = \varepsilon_0 \cdot [\chi^{(1)} E + \chi^{(3)} E^3]; \quad 5) P_i = \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \chi_{ik}^{(1)} E_k + \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{m=1}^3 \chi_{ikjm}^{(3)} E_k E_j E_m. \end{aligned}$$

Типовые вопросы тестирования по модулю 2

1. Одно из эталонных уравнений, описывающих эволюцию нелинейных волн, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial z} = a \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}.$$

Член в правой части этого уравнения отвечает за физический фактор...

1) нестационарности; 2) нелинейности; 3) дисперсии; 4) поляризации; 5) диссипации.

2. Если модуль $|\beta_2|$ коэффициента дисперсии групповой скорости увеличится в 2 раза, то при этом соответствующая дисперсионная длина $L_D \dots$

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

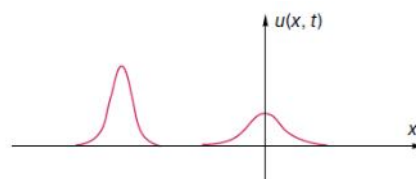
3. Явление модуляционной неустойчивости при распространении оптических импульсов в нелинейной среде с дисперсией иллюстрирует процесс...

- 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.

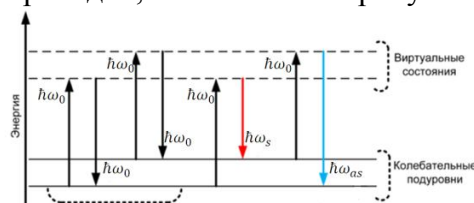
6. При измерении длительности сверхкоротких оптических импульсов используется нелинейный эффект...

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

7. При уменьшении скорости передачи информации по одномодовому волоконному световоду от $B_1 = 40$ Гбит/с до $B_2 = 20$ Гбит/с коэффициент искажения сигналов за счет действия фазовой самомодуляции и кросс-модуляции...

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

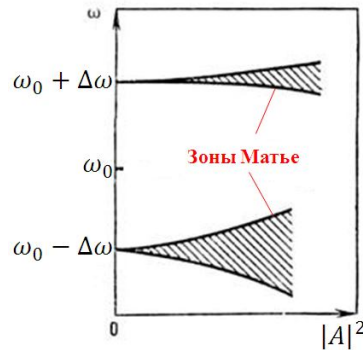
8. В схеме квантовых переходов, показанной на рисунке:



крайний правый переход соответствует...

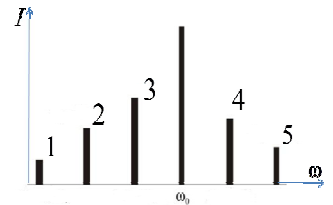
- 1) стоксовому ВРМБ-рассеянию; 2) антистоксовому ВРМБ-рассеянию;
3) стоксовому ВКР-рассеянию; 4) антистоксовому ВКР-рассеянию;
5) рэлеевскому рассеянию.

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. На рисунке справа показан фрагмент спектра вынужденного комбинационного рассеяния (ω_0 – частота падающего излучения). Антистоксовой компоненте с наибольшей длиной волны соответствует спектральная линия, обозначенная цифрой...



1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

Типовые вопросы тестирования по модулю 3

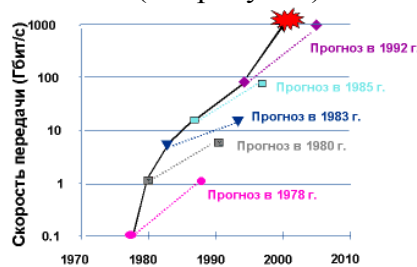
1. Достигнутые в настоящее время максимальные скорости передачи информации по многоканальным волоконно-оптическим линиям имеют порядок...

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. При распространении оптических сигналов мощность, вводимая в волоконный световод, уменьшается в 100 раз на каждые 40 км длины волокна. Это означает, что оптические потери в световоде составляют...

1) 100 дБ/км; 2) 40 дБ/км; 3) 0,01 дБ/км;

4) 0,2 дБ/км; 5) 0,5 дБ/км.

7. Нобелевская премия по физике 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. К факторам, усиливающим роль нелинейных оптических эффектов в волоконно-оптических системах передачи информации, относится...

1) *повышение мощности, вводимой в волоконный световод*; 2) *снижение*

скорости передачи информации; 3) *отказ от спектрального уплотнения*

каналов; 4) *уменьшение коэффициента нелинейности*.

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 бакалаврской программы.

2.3. Выполнение индивидуального задания на самостоятельную работу

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

Типовое индивидуальное задание

1. Зависимость показателя преломления необыкновенной волны n_e от угла θ между направлением волнового вектора и оптической осью отрицательного двулучепреломляющего кристалла имеет следующий вид:

$$n_e(\theta) = n_o n_e / \sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2 \theta} = n_o n_e / \sqrt{n_o^2 \sin^2 \theta + n_e^2 \cos^2 \theta}.$$

Построить в электронном виде график зависимости безразмерной скорости $v_e(\theta)/c$ волны второй гармоники (c – скорость света в вакууме), являющейся необыкновенной волной, в диапазоне $\theta = 0 \dots 90^\circ$ в отрицательном нелинейном

кристалле титаната бария, дисперсионные формулы для которого имеют следующий вид:

Титанат бария. Отрицательный кристалл	$n_o^2 - 1 = \frac{4,239\lambda^2}{\lambda^2 - 0,2229^2},$ длина волны в микрометрах	$n_e^2 - 1 = \frac{4,0854\lambda^2}{\lambda^2 - 0,2087^2},$ длина волны в микрометрах
--	--	---

Длина волны основного излучения, падающего на нелинейный кристалл, равна $\lambda = 1,06$ мкм.

Дать физическое объяснение графику.

2. При многофотонном фотоэффекте интенсивное лазерное излучение направляется на поверхность металла, при этом энергия падающих фотонов равна 1,5 эВ, а максимальная кинетическая энергия выбиваемых фотоэлектронов составляет 2 эВ. Известно, что для данного металла длина волны, соответствующая красной границе однофотонного фотоэффекта, равна 310 нм.

Определить:

- число фотонов, поглощаемых в каждом акте (степень нелинейности) данного процесса;
- работу выхода электронов для данного металла (в Дж).

Объяснить, почему при многофотонном фотоэффекте отсутствует понятие «красной границы».

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

2.4. Промежуточная аттестация

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

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации

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

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Экзаменационный билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех*

заявленных дисциплинарных компетенций.

Ниже представлена форма типового экзаменационного билета по дисциплине «Нелинейная оптика».

**Министерство образования и науки РФ
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

**Кафедра
общей физики**

Дисциплина: нелинейная оптика

Экзаменационный билет № _____

1. Фазовый (волновой) синхронизм. Интерференционная природа фазового синхронизма. Обеспечение синхронизма в анизотропных нелинейных кристаллах.

2. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ), их физический механизм и сравнительная характеристика. Квантовая трактовка и пороговые параметры ВКР и ВРМБ.

3. 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.

2.4.2. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Интенсивность света и ее влияние на характер оптических явлений. Нарушение принципа суперпозиции в нелинейной оптике. Физические причины различий между линейной и нелинейной оптикой.

2. Волновое уравнение для электромагнитного поля в нелинейной среде. Нелинейные оптические восприимчивости и их свойства. Классификация нелинейных эффектов в оптике.

3. Нелинейно-оптическое преобразование частоты в квадратично-нелинейной среде. Генерация второй гармоники. Опыт Франкена.

4. Классические и квантовые модели взаимодействия светового поля с веществом. Модели гармонического и ангармонических осцилляторов. Правило Миллера.

5. Однофотонные и многофотонные процессы. Виды многофотонных переходов и оценка их вероятности. Квантовомеханические закономерности многофотонных переходов. Динамический эффект Штарка.

6. Физические механизмы, приводящие к зависимости показателя преломления от интенсивности света. Влияние рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка. Самофокусировка и самоканализация световых пучков.

7. Физические процессы, вызывающие фазовую самомодуляцию (ФСМ) и фазовую кросс-модуляцию (ФКМ) в оптических волокнах. Влияние ФСМ и ФКМ на характеристики волоконно-оптических линий связи.

8. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ), их физический механизм. Квантовая трактовка и пороговые параметры ВКР и ВРМБ.

9. Модели эволюции нелинейных волн: уравнения Римана, Бюргерса, Кортевега-де Фриза, нелинейное уравнение Шредингера, обобщенное эволюционное уравнение.

10. Основные свойства оптических солитонов. Аналитические солитонные решения. Применение оптических солитонов в высокоскоростных линиях связи. Схемы солитонных волоконно-оптических линий связи.

11. Методы сжатия оптических импульсов в диспергирующих средах (волоконно-решеточная компрессия, многосолитонная компрессия). Измерение длительности сверхкоротких оптических импульсов.

12. Четырехволновое смешение, его физический механизм и влияние на характеристики волоконно-оптических линий связи. Параметрическое усиление. Ширина полосы усиления.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

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

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.

Типовое комплексное задание для контроля приобретенных владений:

1. Используя данные нижеприведенной таблицы о характеристиках нелинейных кристаллов и пренебрегая двулучепреломляющими свойствами этих материалов, рассчитать волновую расстройку Δk между основной волной и волной второй гармоники и длину когерентности L_k (результаты расчетов представить в виде таблицы). Сделать вывод о предпочтительности использования представленных кристаллов в опыте по генерации второй гармоники. Длина волны основного излучения, падающего на нелинейный кристалл, равна $\lambda = 1,06$ мкм.

№ n/n	Материал, хим. формула	Показатель преломления (для длины волны λ)	Показатель преломления (для длины волны λ)
1	Дигидрофосфат калия KH_2PO_4	1,49 ($\lambda = 1,06$ мкм)	1,52 ($\lambda = 0,53$ мкм)
2	Йодат лития LiIO_3	1,86 ($\lambda = 1,06$ мкм)	1,90 ($\lambda = 0,53$ мкм)
3	Селенид кадмия CdSe	2,52 ($\lambda = 1,06$ мкм)	2,58 ($\lambda = 0,53$ мкм)
4	Ниобат лития LiNbO_3	2,23 ($\lambda = 1,06$ мкм)	2,24 ($\lambda = 0,53$ мкм)
5	Селенид галлия GaSe	2,90 ($\lambda = 1,06$ мкм)	3,01 ($\lambda = 0,53$ мкм)

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

2.4.3. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

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

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

3. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

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

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных 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-хбалльной 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 магистерской программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются следующие критерии.

$$OЗ = 0,5 \cdot OЗЭ + 0,3 \cdot OЗР + 0,2 \cdot OЗИ,$$

где OЗ – общая оценка уровня сформированности знаний, OЗЭ – оценка знаний при ответе на билет экзамена, OЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, OЗИ – оценка знаний при выполнении индивидуальных заданий. (Все оценки по 4-хбалльной шкале: 2,3,4,5).

$$OУ = 0,2 \cdot OУЛ + 0,3 \cdot OУИ + 0,5 \cdot OУЭ,$$

где OУ – общая оценка уровня сформированности умений, OУЛ – оценка умений по итогам защиты лабораторных работ, OУИ – оценка умений по итогам выполнения индивидуальных заданий, OУЭ – оценка умений при ответе на билет экзамена.

$$OВ = 0,7 \cdot OВЛ + 0,3 \cdot OВЭ,$$

где OВ – общая оценка уровня сформированности владений, OВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ, OВЭ – оценка владений при ответе на билет экзамена.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по следующей формуле:

$$O = 0,6 \cdot OЗ + 0,2 \cdot OУ + 0,2 \cdot OВ.$$



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

Факультет прикладной математики и механики

(наименование факультета)

Кафедра «Общая физика»

(наименование кафедры, ведущей дисциплину)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«Нелинейная оптика»

основной профессиональной образовательной программы высшего образования –
программы академического бакалавриата

Методические указания по освоению дисциплины

«Нелинейная оптика»

Направление подготовки:	<u>12.03.03 Фотоника и оптоинформатика</u>
Профиль программы бакалавриата:	<u>Волоконная оптика</u>
Квалификация выпускника:	<u>Бакалавр</u>
Выпускающая кафедра:	<u>Общая физика</u>
Форма обучения:	<u>Очная</u>

Курс: 4 **Семестр:** 7

Трудоёмкость:

- кредитов по рабочему учебному плану:	5 ЗЕ
- часов по рабочему учебному плану:	180 ч

Виды промежуточного контроля:

Экзамен: - Зачёт: - Курсовой проект: - Курсовая работа: -
7 семестр

Методические указания по освоению дисциплины обучающимися являются частью УМК (приложением 2 к рабочей программе) дисциплины «**Нелинейная оптика**» и разработаны на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.

1. Рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса

Учебно-методический комплекс дисциплины (УМК) включает в себя:

- рабочую программу дисциплины (РПД);
- фонд оценочных средств (ФОС) – Приложение 1 к РПД;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины – Приложение 2 к РПД (настоящий документ);
- учебно-методические разработки: методические рекомендации по изучению теоретического материала, выполнению индивидуальных заданий и лабораторных работ, электронные образовательные ресурсы.

РПД – учебная программа, утвержденная научно-методическим советом направления (НМСН) для изучения дисциплины. Она определяет цели и задачи дисциплины, формируемые в ходе ее изучения компетенции и их компоненты, содержание изучаемого материала, виды занятий и объем выделяемого учебного времени, а также порядок изучения и преподавания учебной дисциплины.

Для самостоятельной учебной работы студента важное значение имеют разделы «Содержание дисциплины» и «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины». В первом указываются разделы и темы изучаемой дисциплины, а также виды занятий и планируемый объем (в академических часах), во втором – рекомендуемая литература и электронные образовательные ресурсы. Работая с РПД, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемой учебной литературе и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля, приведенных в основном учебном пособии и других учебно-методических материалах;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего и промежуточного контроля;

- каждому часу аудиторных занятий в РПД соответствует 2 часа самостоятельной работы для выполнения домашнего задания.

Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно по дисциплине «Нелинейная оптика»:

Тема 1. Нелинейные явления и современные оптические технологии.

Тема 2. Классификация нелинейных эффектов в оптике.

Тема 3. Физическая аналогия между фазовым синхронизмом и пространственным резонансом.

Тема 4. Градиентные макромодели.

Тема 5. Экспериментальное исследование многофотонных процессов.

Тема 6. Понятие о силовой оптике.

Тема 7. Влияние рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка.

Тема 8. Расчет дополнительного фазового и частотного сдвига оптических импульсов.

Тема 9. ВКР- и ВРМБ-усиление и их применение.

Тема 10. Нелинейное уравнение Шредингера и обобщенное эволюционное уравнение.

Тема 11. Схемы солитонных волоконно-оптических линий связи.

Тема 12. Измерение длительности сверхкоротких импульсов.

Тема 13. Ширина полосы усиления для параметрических, ВКР- и ВРМБ-усилителей.

Тема 14. Роль нелинейных явлений в волоконно-оптической связи.

ФОС дисциплины предназначены для использования обучающимися и вузом при оценивании результативности и качества учебного процесса, образовательных программ, степени их адекватности условиям будущей профессиональной деятельности.

ФОС текущего контроля используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) студентов. В условиях рейтинговой системы контроля результаты текущего оценивания студента используются как показатель его текущего рейтинга.

ФОС промежуточной (семестровой) аттестации обучающихся по модулю (дисциплине) предназначен для оценки степени достижения запланированных результатов обучения по завершению изучения дисциплины «Нелинейная оптика» в установленной учебным планом форме: экзамен.

Учебно-методические разработки – учебные материалы различного вида и назначения, разработанные сотрудниками кафедры или взятые из внешних источников, которые рекомендуются для использования студентами при изучении теоретического курса, выполнении лабораторных работ и индивидуальных заданий, решении практических задач. Эти материалы доступны студенту в электронной форме в режиме чтения. Сканировать фрагменты учебно-методических разработок и вставлять в свою работу запрещается.

Следует понимать, что учебно-методические разработки отражают лишь основное содержание изучаемой дисциплины и без проработки учебной литературы не могут обеспечить требуемый объем знаний.

2. Описание последовательности действий студента

Приступая к изучению дисциплины, необходимо в первую очередь ознакомиться содержанием РПД, где в разделе «Содержание дисциплины» приведено общее распределение часов аудиторных занятий и самостоятельной работы по темам дисциплины и видам занятий.

Залогом успешного освоения дисциплины является посещение лекционных и лабораторных занятий, так как пропуск одного, а, тем более, нескольких занятий может осложнить освоение разделов курса.

Лекции имеют целью дать систематизированные основы научных знаний по содержанию дисциплины. При изучении и проработке теоретического материала необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- при самостоятельном изучении теоретической темы подготовить конспект, используя рекомендованные в РПД литературные источники и электронные образовательные ресурсы (ЭОР);
- ответить на контрольные вопросы по теме, представленные в учебно-методических разработках, входящих в состав УМК;
- при подготовке к текущему контролю использовать материалы ФОС;
- при подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы ФОС (раздел «Вопросы для проведения промежуточной аттестации»).

Лабораторные занятия проводятся с целью углубления и закрепления навыков проведения экспериментальных исследований и обработки результатов экспериментов.

При подготовке к лабораторному занятию и выполнению индивидуальных заданий необходимо:

- изучить или повторить лекционный материал по соответствующей теме;
- изучить материалы учебно-методических разработок по заданной теме, уделяя особое внимание расчетным формулам.

3. Виды контроля, контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

3.1. Текущий контроль

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

Результаты оценки успеваемости заносятся в рейтинговую ведомость и доводятся до сведения студентов. Студентам, не получившим зачетное количество баллов по текущему контролю выдается дополнительные задания на зачетном занятии в промежуточную аттестацию.

В случае пропусков занятий студенты должны представить конспект пропущенного занятия и пройти собеседование по его теме.

3.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания уровня знаний, умений и владений студентов проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в формах защиты индивидуальных заданий по тематике самостоятельного изучения теоретического материала.

Защита индивидуальных заданий позволяет оценить умение и владение обучающегося излагать суть поставленной задачи, самостоятельно применять стандартные методы решения задачи, проводить анализ результатов работы. Количество индивидуальных заданий и их трудоемкость указаны в РПД. По результатам выполнения работ обучающийся формирует электронный письменный отчет. Оценка уровня сформированности компетенций производится путем проверки содержания и качества оформления отчета и индивидуальной защиты полученных результатов. Шкалы и критерии оценки приведены в ФОС.

3.3. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в виде сдачи экзамена.

3.3.1. Дифференцированный зачет

Условием допуска к экзамену является успешная сдача всех индивидуальных заданий. Экзамен по дисциплине проводится в форме выполнения комплексного задания, включающего письменную работу, а также собеседование по результатам письменной работы, обсуждение публикаций студента, итогов выполнения индивидуального задания. Экзаменационные материалы содержат вопросы и задания, оценивающие уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций. Пример теста для промежуточного контроля приведён в ФОС. Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий хранится на выпускающей кафедре.

Шкалы и критерии оценки результатов промежуточной аттестации приведены в ФОС. Итоговая оценка по дисциплине определяется как сумма оценок, полученных в ходе текущего и рубежного контроля, а также результатов ответа на экзамене. Объявление результатов производится в день сдачи экзамена. Результаты аттестации заносятся в зачетную ведомость и зачетную книжку студента (при получении оценки). Студенты, не прошедшие промежуточную аттестацию по графику сессии, долж-

ны ликвидировать задолженность в установленном порядке.

4. Критерии оценивания уровня сформированности дисциплинарных компетенций и их компонентов

4.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

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

4.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций

Общая оценка уровня сформированности дисциплинарных 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. Результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.


5. Рекомендации по работе с литературой и источниками

Работу с литературой следует начинать с анализа РПД, содержащей список основной и дополнительной литературы, а также знакомства с учебно-методическими разработками, входящими в состав УМК.

В случае возникновения затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, рекомендованным преподавателем, где изложение может оказаться более доступным.

Работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменений	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись зав. кафедрой
1	2	3
1	<p>На стр. 11 в таблице 4.2 «Темы лабораторных занятий» содержание столбца № 3 изложить следующим образом:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Генерация второй гармоники. 2. Исследование излучения накачки параметрического генератора света. 3. Определение энергетических характеристик параметрического генератора света. 4. Исследование спектральных характеристик параметрического генератора света. 5. Исследование призмного стретчера и призмного компрессора. 6. Исследование оптического бистабильного устройства. 7. Определение коэффициента связи мод в волоконном световоде. 8. Исследование угловой структуры второй гармоники. 9. Генерация суперконтинуума в оптическом волокне на основе эффекта фазовой самомодуляции. 	<p>Протокол № 5 заседания кафедры от «25» октября 2017 г. Зав. кафедрой «Общая физика» д-р физ.-мат. наук, доц.  А.В. Перминов</p>
2		
3		
4		