

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



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 07 » мая _____ 20 ____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ **Нелинейная оптика** _____
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: _____ **108 (3)** _____
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ **12.03.03 Фотоника и оптоинформатика** _____
(код и наименование направления)

Направленность: _____ **Фотоника и оптоинформатика (общий профиль, СУОС)** _____
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: освоение 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.

Задачи:

- 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.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

1. Основные нелинейные оптические процессы и физико-математические модели.
2. Оптические элементы, устройства и системы, в которых на основе нелинейных процессов генерируются, усиливаются, распространяются и детектируются сигналы в оптическом диапазоне.
3. Оптические технологии нелинейной волоконной оптики.

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-1.4	ИД-1пк-1.4	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>Знает теоретические основы и механизмы оптических нелинейностей при анализе поставленной задачи в области нелинейной оптики.</p>	<p>Дифференцированный зачет</p>
ПК-1.4	ИД-2пк-1.4	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 	<p>Умеет использовать законы и явления нелинейной оптики, фотоники и оптоинформатики при исследовании элементов и систем волоконной оптики.</p>	<p>Защита лабораторной работы</p>

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>применяемых оптических импульсов для обеспечения требуемой эффективности волоконно-оптических линий в условиях действия нелинейных эффектов;</p> <p>- осуществлять выбор возможных вариантов и схем использования различных видов нелинейных оптических материалов и нелинейно-оптического преобразования характеристик лазерного излучения в волоконной оптике;</p> <p>- идентифицировать многофотонные процессы.</p>		
ПК-1.4	ИД-3пк-1.4	<p>Владеть:</p> <p>- методами комплексной оценки влияния нелинейных явлений на эффективность волоконно-оптических систем;</p> <p>- методами и способами идентификации типа решаемой задачи нелинейной оптики как теоретической, экспериментальной или технологической проблемы;</p> <p>- навыками анализа проблем нелинейной оптики и их связи с общими проблемами фотоники, оптоинформатики и других областей науки, техники и технологии;</p> <p>- методикой синтеза и анализа нелинейных явлений, применяемых при передаче, приеме, обработке, хранении и отображении</p>	Владеет навыками оценки нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах.	Индивидуальное задание

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

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
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)	36	36	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

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
7-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Общезнакомительские основы нелинейной оптики	4	4	0	12
Введение в нелинейную оптику. Понятие о нелинейных восприимчивостях. Нелинейно-оптическое преобразование частоты. Элементы многофотонной оптики. Термооптические явления при сверхвысоких интенсивностях света.				
Общая характеристика нелинейных оптических явлений	10	32	0	38
Самовоздействия в волоконной оптике. Фазовая самомодуляция и фазовая кросс-модуляция. Нелинейное рассеяние света и его применение. Модели распространения лазерных импульсов в волоконно-оптических системах. Оптические солитоны. Оптика сверхкоротких импульсов. Параметрические взаимодействия.				
Основные проблемы и перспективы развития нелинейной оптики	2	0	0	4
Основные области применения, современные проблемы и перспективы развития нелинейной оптики. Пути повышения скорости передачи информации. Роль нелинейных явлений в волоконно-оптической связи.				
ИТОГО по 7-му семестру	16	36	0	54
ИТОГО по дисциплине	16	36	0	54

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Исследование свойств нелинейных кристаллов
2	Генерация второй гармоники
3	Исследование энергетических характеристик параметрического генератора света
4	Измерение фазового и частотного сдвига оптических импульсов
5	Исследование призмного стретчера и призмного компрессора
6	Исследование бистабильного оптического устройства
7	Изучение угловой структуры второй гармоники
8	Изучение характеристик усилителя EDFA
9	Исследование режимов распространения лазерных импульсов

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором 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 установление связей с ранее освоенным материалом.

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

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, 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. Нелинейная оптика : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011.	40
2	Дмитриев В. Г. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта / В. Г. Дмитриев. - Москва: Физматлит, 2003.	2
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
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
2.2. Периодические издания		

1	Оптический журнал : научно-технический журнал / Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; Оптическое общество им. Д.С. Рождественского. - Санкт-Петербург: ГОИ им. С.И. Вавилова, 1931 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
1	Реферативный журнал. 23. Электроника : электронный ресурс / Российская академия наук ; Всероссийский институт научной и технической информации. - Москва: ВИНТИ, 2005 - .	1
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
1	А. П. Кащенко Учебная практика : Методические указания / А. П. Кащенко, Г. С. Строковский, С. Е. Строковская. - Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015.	2
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
1	Евсин Е.А. Самостоятельная работа студентов. Организация самостоятельной работы : учебное пособие для вузов / Е.А. Евсин, Е.В. Евсина. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2006.	112

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Методические указания для студентов по освоению дисциплины	Методические указания для студентов по освоению дисциплин	http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Metodicheskie_ukazaniya_dlya_studentov_po_osvoeniyu_disciplini.pdf	сеть Интернет; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента	http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Dlya_samostoyatelnoy_raboty_studenta.pdf	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)
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

Вид ПО	Наименование ПО
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
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/
Виртуальный читальный зал Российской государственной библиотеки	https://dvs.rsl.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
Лабораторная работа	Модульный учебный комплекс МУК-1 "Нелинейная оптика"	5
Лекция	Проектор, экран (в мультимедийной учебной аудитории)	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся
по дисциплине «Нелинейная оптика»

Приложение к рабочей программе дисциплины

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: **3 ЗЕ**
- часов по рабочему учебному плану: **108 ч**

Форма промежуточной аттестации:
диф. зачет, 7 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 (7-го семестра 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 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 лабораторным работам, а также 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	
Усвоенные знания					
3.1 – теоретические основы и механизмы оптических нелинейностей при анализе поставленной задачи исследований в области нелинейной оптики; 3.2 – теоретические основы нелинейных оптических явлений при применении методики исследования объектов в области нелинейной оптики.	С, ТО	Т1,2,3	ИЗ		ТВ
	С, ТО	Т1,2,3	ИЗ		ТВ
Освоенные умения					

У.1 – использовать законы и явления нелинейной оптики, фотоники и оптоинформатики при исследовании элементов и систем волоконной оптики; У.2 – использовать законы и явления нелинейной оптики при исследовании элементов и систем по заданной методике.			ИЗ	ОЛР	ПЗ
			ИЗ	ОЛР	ПЗ
Приобретенные владения					
В.1 – опытом практической работы по решению прикладных задач в области элементов и систем нелинейной волоконной оптики; В.2 – опытом практической работы по проведению научных исследований элементов и систем нелинейной волоконной оптики по заданной методике.				ОЛР	КЗ
				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.

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 обучаемого 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 обучаемыми 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 усвоения материала

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 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 «Общая характеристика нелинейных оптических явлений», 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...

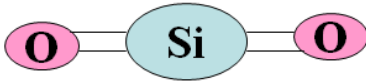
- 1) 20 Вт/м²; 2) 10⁴ Вт/м²; 3) 10¹⁴ Вт/м²; 4) 10²⁰ Вт/м²; 5) 10²⁵ Вт/м².

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



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):

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

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.

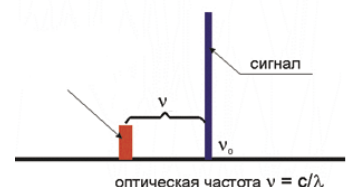
7. Принципиальная возможность реализации многофотонных переходов при взаимодействии излучения с веществом вытекает из...

- 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...

$$1) P(E) = \varepsilon_0 \cdot [\chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3]; \quad 2) P(E) = \varepsilon_0 \cdot [\chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3];$$

$$3) P_i = \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \chi_{ik}^{(1)} E_k + \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \chi_{ikj}^{(2)} E_k E_j + \varepsilon_0 \cdot \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{m=1}^3 \chi_{ikjm}^{(3)} E_k E_j E_m;$$

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

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 ...

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...

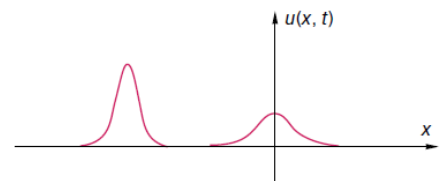
1) *нелинейного набега фазы*; 2) *нелинейно-оптического преобразования частоты*; 3) *наведения положительного чирпа*; 4) *четырёхволнового смещения*; 5) *распада непрерывной волны на ряд коротких волн*.

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*.



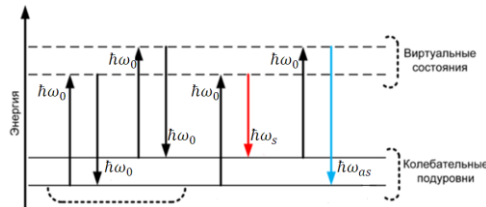
6. При измерении длительности сверхкоротких оптических импульсов используется нелинейный эффект...

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*.

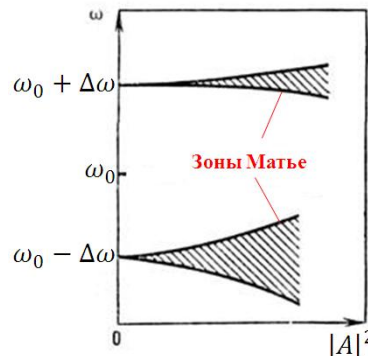
8. В схеме квантовых переходов, показанной на рисунке:



крайний правый переход соответствует...

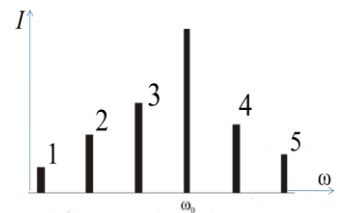
- 1) стоксовому ВРМБ-рассеянию; 2) антистоксовому ВРМБ-рассеянию;
- 3) стоксовому ВКР-рассеянию; 4) антистоксовому ВКР-рассеянию;
- 5) рэлеевскому рассеянию.

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

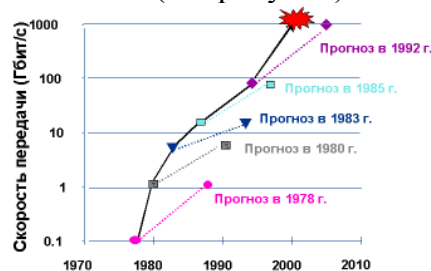
1. Достигнутые в настоящее время максимальные скорости передачи информации по многоканальным волоконно-оптическим линиям имеют порядок...

- 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) режим

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 физику Н. Бломбергену*; 2) *советскому физику П.Л. Капице*;

3) *американскому физику Л. Молленауэру*; 4) *физику 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. Защита индивидуальных заданий

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

Ниже приведен пример индивидуального задания.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ
по дисциплине «Нелинейная оптика»

Вариант № _____

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. Отрицатель- ный 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

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде зачета и содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний,

практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Зачетное задание формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролируемые уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций.

2.4.2. Типовые вопросы и задания для зачета 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.

<i>№ п/п</i>	<i>Материал, хим. формула</i>	<i>Показатель преломления (для длины волны λ)</i>	<i>Показатель преломления (для длины волны λ)</i>
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 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

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.