

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

Направление 200700.68 «Фотоника и оптоинформатика»
 Факультет прикладной математики и механики
 Кафедра общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

д-р техн. наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Н.В.Лобов

(подпись) (инициалы, фамилия)

« ____ » _____ 2011 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Нелинейные эффекты в волоконной оптике»

**Профиль подготовки
 бакалавра/магистра,
 специализация специалиста**

Волоконная оптика

 (Профиль (специализация) подготовки)

Выпускающая кафедра

Общей физики

 (Наименование кафедры)

Квалификация (степень) выпускника

магистр

 (бакалавр/магистр/специалист)

Форма обучения

очная

 (очная, очно-заочная и др.)

Курс: 5

Семестр: 10

Трудоемкость:

1. Кредитов по рабочему учебному плану (РУП): 5

2. Часов по рабочему учебному плану (РУП): 144

Виды контроля:

Экзамен: - 1

Зачет: - нет

Курсовой проект: -нет

Курсовая работа: -нет

Пермь - 2011

Рабочая программа дисциплины «Нелинейные эффекты в волоконной оптике» разработана на основании:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 200700 – «Фотоника и оптоинформатика» (квалификация (степень) «магистр»), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 декабря 2009 г., № 705.

Рабочая программа согласована:

- с рабочими программами ранее изученных дисциплин бакалаврской подготовки;
- с рабочими программами дисциплин, участвующих в формировании компетенций и их составляющих, приобретение которых является целью данной дисциплины:
- история и методология фотоники и оптоинформатики;
- физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики;
- математические методы компьютерных технологий в научных исследованиях.

Разработчики канд. физ.-мат. наук, доцент _____ Беспрозванных В.Г.
уч. степень, уч. звание подпись

д-р техн. наук, профессор _____ Первадчук В.П.
уч. степень, уч. звание подпись

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доцент _____ Шумкова Д.Б.
уч. степень, уч. звание подпись

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей физики « 16 » ноября 2011 г., протокол № 2-11/12.

Заведующий кафедрой,
 ведущей дисциплину д-р техн. наук, профессор _____ Цаплин А.И.
уч. степень, уч. звание подпись

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета прикладной математики и механики « 17 » ноября 2011 г., протокол № 6.

Председатель методической комиссии
 факультета прикладной математики и механики
канд. техн. наук, доцент _____ Катаев С.П.
уч. степень, уч. звание подпись

Согласовано

Заведующий выпускающей
 кафедрой общей физики д-р техн. наук, профессор _____ Цаплин А.И.
уч. степень, уч. звание подпись

Начальник УМУ канд. техн. наук, доцент _____ Данилов А.Н.
уч. степень, уч. звание подпись

1. Цели и задачи освоения дисциплины

1.1. Цель дисциплины: ознакомление обучаемых с объектами и направлениями профессиональной деятельности магистров в области нелинейной волоконной оптики, методами моделирования, анализа и оценки нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах; формирование представлений о научно-технических проблемах, стратегиях и инновациях в современной нелинейной волоконной оптике; подготовка к научно-исследовательской, проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности.

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

профессиональные:

- способность использовать методiku разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-12);

профессионально-специальные:

- способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон (ПСК-2).

Задачи дисциплины:

- формирование системы понятий, объектов, моделей и методов исследований в области нелинейной волоконной оптики;

- подготовка к научно-исследовательской деятельности в области нелинейной волоконной оптики (формулирование задачи и плана научного исследования на основе анализа научно-технической информации с применением современных информационных технологий, построение математических моделей объектов исследования, выбор оптимального метода и разработка программ математического (компьютерного) моделирования и экспериментальных исследований);

- подготовка к проектно-конструкторской деятельности в области нелинейной волоконной оптики (анализ состояния научно-технического направления, постановка цели и задач проектирования на основе подбора и изучения литературных и патентных источников, оценка эффективности конструкторских решений, разработка технологических процессов сборки и контроля элементов, устройств и систем);

- подготовка к производственно-технологической деятельности в области нелинейной волоконной оптики (разработка и внедрение технологических процессов, оптимизация режимов производства, методик контроля качества элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики, разработка и внедрение информационных технологий обработки, преобразования, отображения и хранения информации на основе элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики).

1.2. Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- оптические элементы, устройства и системы, в которых на основе нелинейных процессов генерируются, усиливаются, модулируются, распространяются и детектируются сигналы в оптическом диапазоне;

- физико-математические модели нелинейных эффектов в волоконной оптике;

- оптические устройства и технологии систем нелинейной волоконной оптики, обеспечивающие передачу, прием, обработку, хранение и отображение информации.

1.3. Место дисциплины в структуре профессиональной подготовки выпускников.

Дисциплина «Нелинейные эффекты в волоконной оптике» относится к базовой части цикла специальных дисциплин и является обязательной при освоении основных образовательных программ магистратуры. Дисциплина дает возможность общения обучаемых с ведущими отечественными и зарубежными специалистами в рассматриваемой области, ознакомления с современными проблемами, стратегиями и инновациями нелинейной волоконной оптики, позволяет увидеть перспективы развития этого научно-технического направления, а также получить наглядное представление о практике обсуждения новых идей и методов создания высокотехнологичной продукции на их основе. Дисциплина «Нелинейные эффекты в волоконной оптике» сохраняет непосредственную взаимосвязь с другими дисциплинами базовой части профессионального цикла основных образовательных программ магистратуры: «Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики», «Математические методы компьютерных технологий в научных исследованиях». При освоении дисциплины используются знания, умения и готовности обучаемых, приобретенные при изучении дисциплины «Нелинейная оптика», относящейся к базовой части основных образовательных программ бакалавриата.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты освоения:

1) знать (ПК-12, ПСК-2):

- особенности взаимодействия световых волн большой интенсивности с веществом и связанных с этим нелинейно-оптических явлений и физических механизмов в волоконно-оптических системах;
- основные методы математического (компьютерного) моделирования и экспериментальных исследований в нелинейной волоконной оптике;
- современные научно-технические и технологические разработки в области нелинейной волоконной оптики;
- методы измерения и контроля в нелинейной волоконной оптике;

2) уметь (ПК-12, ПСК-2):

- обосновывать выбор математических моделей и экспериментальных методик на основе принципов идентификации физических процессов и технических систем нелинейной волоконной оптики;
- использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон;
- использовать современные информационные технологии в нелинейной волоконной оптике;

- работать с приборами и оборудованием, используемым в волоконной оптике, нанотехнологиях фотоники и оптоинформатики;
- работать с базами данных по нелинейной волоконной оптике;
- делать презентацию научного доклада, организовывать инновационный процесс, а также выполнять информационный поиск с использованием Интернет-ресурсов;
- обсуждать научные вопросы, корректно участвовать в научных дискуссиях на конференциях, а также на предприятиях;

3) *владеть* (ПК-12, ПСК-2):

- навыками использования современных математических, вычислительных и экспериментальных методов, пакетов инженерных программ, поисковых систем, методами научно-исследовательской работы в области нелинейной волоконной оптики.

В таблице приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в разделе «Цели и задачи освоения дисциплины»:

Индекс	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Профессиональные компетенции			
ПК-12	Способность использовать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере	Математические методы компьютерных технологий в научных исследованиях Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики	Оборудование и материалы для производства оптических волокон Методы измерений в волоконной оптике Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон
Профессионально-специальные компетенции			
ПСК-2	Способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	Математические методы компьютерных технологий в научных исследованиях Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики	Оборудование и материалы для производства оптических волокон Методы измерений в волоконной оптике Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон

2. Требования к результатам освоения дисциплины

2.1. Дисциплина участвует в формировании двух компетенций из перечня компетенций выпускника, заданных следующими картами:

2.1.1. Карта компетенции

Индекс <u>ПК-12</u>	Формулировка: способность использовать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере
------------------------	--

Компонентный состав компетенции

Перечень компонентов:	Технологии формирования:	Средства и технологии оценки:
Знает: – основные методы и способы разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов	- Лекции; - семинар; - самостоятельная работа; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Умеет: – синтезировать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов	- Самостоятельная работа; - мультимедиа-технологии; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Владеет: – навыками физико-математического моделирования	- Семинар; - НИРС.	Выступление на семинаре. Итоговый контроль (экзамен).

2.1.2. Карта компетенции

Индекс <u>ПСК-2</u>	Формулировка: способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон
------------------------	---

Компонентный состав компетенции

Перечень компонентов:	Технологии формирования:	Средства и технологии оценки:
Знает: – основные методы моделирования, анализа и оценки оптических нелинейностей в волоконной оптике	- Лекции; - мультимедиа-технологии; - самостоятельная работа; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования, выполнения контрольной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Умеет: – использовать нелинейные опти-	- Самостоятельная работа;	Текущий контроль в форме тестирования и

ческие эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	- лабораторные занятия; - семинар; - НИРС.	выполнения контрольной работы. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Владеет: – навыками применения методов нелинейной волоконной оптики при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	- лабораторные занятия; - НИРС.	Выступление на семинаре. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).

2.2. Результатом освоения дисциплины являются части формируемых компетенций обучающихся, представленных следующими дисциплинарными картами компетенций:

2.2.1. Дисциплинарная карта компетенции

Наименование части компетенции, формируемой в дисциплине «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»

Индекс <u>ПК-12</u>	Формулировка: способность использовать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере.
Индекс <u>ПК-12</u>	Формулировка части компетенции: способность использовать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области нелинейной волоконной оптики.

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов:	Технологии формирования:	Средства и технологии оценки:
Знает: – основные методы и способы разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области нелинейной волоконной оптики	- Лекции; - семинар; - самостоятельная работа; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Умеет: – синтезировать методику разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области нелинейной волоконной оптики	- Самостоятельная работа; - мультимедиа-технологии; - лабораторные занятия; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Владеет:	- Семинар;	Выступление на

– навыками физико-математического моделирования	- лабораторные занятия; - НИРС.	семинаре. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).
---	------------------------------------	--

2.2.2. Дисциплинарная карта компетенции

Наименование части компетенции, формируемой в дисциплине «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»

Индекс <u>ПСК-2</u>	Формулировка: способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон.
Индекс <u>ПСК-2</u>	Формулировка части компетенции: способность к моделированию, анализу и оценке нелинейных оптических эффектов и использованию результатов на практике.

Компонентный состав компетенции

Перечень компонентов:	Технологии формирования:	Средства и технологии оценки:
Знает: – основные методы моделирования, анализа и оценки оптических нелинейностей в волоконной оптике	- Лекции; - мультимедиа-технологии; - самостоятельная работа; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Умеет: – использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	- Самостоятельная работа; - семинар; - лабораторные занятия; - НИРС.	Текущий контроль в форме тестирования и выполнения контрольной работы. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).
Владет: – навыками применения методов нелинейной волоконной оптики при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	- лабораторные занятия; - НИРС.	Выступление на семинаре. Защита лабораторной работы. Итоговый контроль (экзамен).

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Виды учебной работы	Трудоемкость в АЧ
1	2	3
1	Аудиторная работа / в том числе в интерактивной форме	54/38
	Лекции (Лек) / в том числе в интерактивной форме	16/16
	Практические занятия (Пр) / в том числе в интерактивной форме	4/4
	Лабораторный практикум(Лаб) / в том числе в интерактивной форме	16/0
	Семинары (С) / в том числе в интерактивной форме	12/12
	Контроль самостоятельной работы (КСР) / в том числе в интерактивной форме	6/6
2	Самостоятельная работа	90
4	Изучение теоретического материала	30
	Выполнение расчетно-графической работы	30
	Подготовка к лабораторным работам	16
	Подготовка к тестированию	10
	Другие виды самостоятельной работы	4
3	Вид текущего контроля (контрольные работы, виды тестирования)	Контрольные работы – 2, тестирования по модулям №№ 1, 2, 3
4	Трудоемкость дисциплины Всего: в академич. час. (АЧ) в зачетных единицах (ЗЕТ)	144 5

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Модульный тематический план

Номер учебного модуля	Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов (очная форма обучения)						Трудоёмк., АЧ/ трудоёмк., ЗЕТ
			Аудиторная работа					Самостоят. работа (СРС)	
			Всего	Лк	ПЗ (С)	ЛР	Аттестация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Введение		2	2	-	-	-	4	6/0,17
1	1	1	8	2	4	-	2	16	24/0,67

	Всего по модулю:	8	2	4	-	2	16		
2	2	2	5	1	-	4	-	4	
		3	5	1	-	4	-	4	
		4	5	1	-	4	-	6	
		5	1	1	-	-	-	6	
		6	14	2	6	4	2	10	
	Всего по модулю:	30	6	6	16	2	30		
3	3	7	12	4	6	-	2	38	
	Всего по модулю:	12	4	6	-	2	38	50/1,39	
	Заключение		2	2	-	-	-	2	4/0,11
Итого:		54	16	16	16	6	90	144/4	

**Матрица соотношения тем /разделов учебной дисциплины/модуля
и формируемых в них компетенций**

Темы, разделы дисциплин ы	Количество о часов	Компетенции		
		1	2	Σ общее количество компетенций
Введение	6			
Раздел 1	24	+	+	2
Тема 1	24	+	+	2
Раздел 2	60	+	+	2
Тема 2	9	+	+	2
Тема 3	9	+	+	2
Тема 4	11	+	+	2
Тема 5	7	+	+	2
Тема 6	24	+	+	2
Раздел 3	50	+	+	2
Тема 7	50	+	+	2
Заключение	4			
Итого	144			

4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение

Лк – 2 часа, СРС – 4 часа

Особенности федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению «Фотоника и оптоинформатика» (квалификация (степень) «магистр»). Предмет, цели и задачи дисциплины. Общефизические и квантовомеханические основы оптических нелинейностей.

Модуль 1

Раздел 1. Прикладная нелинейная оптика

Лк – 2 часа, ПЗ – 4 часа, СРС – 16 часов

Тема 1. Генерация второй гармоники и параметрическая генерация света

Нелинейно-оптическое преобразование частоты. Особенности преобразования частоты в нелинейно-оптических кристаллах. Фазовый (волновой) синхронизм и его интерференционная природа. Фазовый синхронизм в случае генерации второй гармоники. Точное решение для генерации второй гармоники. Оптические схемы генерации второй гармоники. Трехволновое взаимодействие в квадратично-нелинейной среде. Параметрическая генерация света при непрерывной и импульсной накачке. Соотношения Мэнли-Роу. Оптические схемы параметрической генерации света.

Модуль 2

Раздел 2. Моделирование нелинейных эффектов

в волоконно-оптических системах передачи информации

Лк – 6 часов, ЛР – 16 часов, С – 6 часов, СРС – 30 часов

Тема 2. Нелинейные эффекты, вызванные самовоздействиями в волоконной оптике

Самовоздействия световых волн в кубично-нелинейных средах. Распространение световых пучков и волновых пакетов в нелинейных диспергирующих средах. Самофокусировка и самоканализация световых пучков. Фазовая самомодуляция. Фазовая кросс-модуляция.

Тема 3. Вынужденное рассеяние света в оптическом волокне

Вынужденные нелинейные процессы. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). ВКР- и ВРМБ-усиление.

Тема 4. Модели распространения лазерных импульсов в волоконно-оптических системах передачи

Модели эволюции нелинейных волн. Уравнения Римана, Бюргерса, Кортевега-де-Фриза. Нелинейное уравнение Шредингера. Обобщенное эволюционное уравнение. Модуляционная неустойчивость. Оптические солитоны в волоконной оптике. Синхронизация мод. Методы компрессии оптических импульсов в диспергирующих средах. Измерение длительности сверхкоротких оптических импульсов.

Тема 5. Параметрические процессы в волоконной оптике

Четырехволновое взаимодействие в кубично-нелинейной среде. Четырехволновое смешение. Спектр стоксовых и антистоксовых компонент четырехволнового смешения в одномодовом световоде. Параметрическое усиление как частный случай частично

вырожденного четырехволнового смешения. Математическая модель параметрического усиления. Обращение волнового фронта.

Тема 6. Механизмы деградации оптических сигналов
в волоконно-оптических системах передачи

Ограничения, накладываемые дисперсионными и нелинейными явлениями в волокне. Требования к компонентам систем передачи. Методы компенсации дисперсионных и нелинейных эффектов и восстановления характеристик волоконно-оптических линий.

Модуль 3

Раздел 3. Стратегии и инновации в нелинейной волоконной оптике

Лк – 4 часа, С – 6 часов, СРС – 38 часов

Тема 7. Современные научно-технические проблемы и инновационные
направления развития нелинейной волоконной оптики

Основные области применения и перспективы развития нелинейной волоконной оптики. Развитие волоконно-оптической связи и роль нелинейных эффектов. Технология WDM. Волоконные лазеры, генераторы, усилители и датчики, основные направления их совершенствования. Механизмы генерации суперконтинуума. Фотонно-кристаллические волоконные световоды. Физический механизм передачи светового излучения на основе запрещенных фотонных зон. Лазерная генерация суперконтинуума в фотонно-кристаллических волокнах.

Заключение

Лк – 2 часа, СРС – 2 часа

Содержание основных видов профессиональной деятельности (научно-исследовательская, проектно-конструкторская, производственно-технологическая, организационно-управленческая) и подготовки к решению профессиональных задач в области нелинейной волоконной оптики.

**4.3. Модульная структура частей компетенций и требований
к результатам освоения элементов компетенций**

Номер модуля	Индексы и наименование элементов компетенций	Компоненты модуля	
		Формулировка результатов	Индексы результатов
1	<u>ПК-12</u> Способность использовать методику разработки	Знает: основные физические и математические модели генерации второй гармоники и параметрической генерации света	ПК-12.М1-3

	математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере	Умеет: применять закономерности генерации второй гармоники и параметрической генерации света для оценки нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах	ПК-12. М1-у
		Владеет: навыками синтеза оптических схем генерации второй гармоники и параметрической генерации света	ПК-12. М1-в
2	<u>ПСК-2</u> Способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	Знает: основные методы анализа и оценки нелинейных оптических эффектов при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	ПСК-2. М2-з
		Умеет: синтезировать методику использования нелинейных оптических эффектов при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	ПСК-2. М2-у
		Владеет: навыками использования нелинейных оптических эффектов при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	ПСК-2. М2-в
3	<u>ПСК-2</u> Способность использовать нелинейные оптические эффекты при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	Знает: основные научно-технические проблемы и перспективы развития нелинейной волоконной оптики	ПСК-2. М3-з
		Умеет: использовать нелинейные оптические эффекты в организации инновационного процесса при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	ПСК-2. М3-у
		Владеет: навыками организации инновационного процесса при конструировании и производстве специальных кварцевых волокон	ПСК-2. М3-в

4.4. Перечень тем практических занятий (семинаров)

№ п/п	Номер темы дисциплины	Наименование тем занятий
1	2	3
1	1	Способы обеспечения фазового синхронизма в нелинейно-оптических материалах (практическое занятие) – 4 часа
2	1	Прикладная нелинейная оптика (контрольная работа) – 2 часа
3	2 – 6	Физико-математические модели нелинейно-оптических процессов в волоконной оптике (семинар) – 6 часов
4	2 – 6	Моделирование нелинейных эффектов в волоконно-оптических

		системах передачи информации (контрольная работа) – 2 часа
6	7	Стратегии и инновации в нелинейной волоконной оптике (семинар) – 6 часов
7	7	Защита расчетно-графической работы – 6 часов

4.5. Перечень тем лабораторных работ

№ п/п	Номер темы дисциплины	Наименование тем занятий
1	2	3
1	2	Исследование фазовой самомодуляции – 4 часа
2	3	Экспериментальное определение спектральных компонент вынужденного комбинационного рассеяния – 4 часа
3	4	Экспериментальное определение коэффициента нелинейности в специальных кварцевых волокнах – 4 часа
4	6	Исследование поляризационной модовой дисперсии – 4 часа

4.6. Виды самостоятельной работы студентов

Номер раздела дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов (СРС)	Трудоемкость, часов
1	Изучение лекционного материала. Изучение рекомендованных источников из перечня литературы, периодических изданий и электронных ресурсов.	16
2	Изучение лекционного материала. Изучение рекомендованных источников из перечня литературы, периодических изданий и электронных ресурсов. Подготовка к семинару.	30
3	Изучение лекционного материала. Изучение рекомендованных источников из перечня литературы, периодических изданий и электронных ресурсов. Подготовка к семинару. Выполнение и подготовка к защите расчетно-графической работы.	38
	Другие виды СРС.	6
	Итого: в час. в зач. ед.	90 2,5

4.6.1. Подготовка к аудиторным занятиям

Студенту рекомендуется изучить материалы лекций, практических и семинарских занятий и дополнить его сведениями из перечня литературы, периодических изданий и электронных ресурсов – 30 часов.

4.6.2. Перечень тем курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены.

4.6.3. Перечень тем расчетно-графических работ

1. Стратегии и инновации в нелинейной волоконной оптике (по вариантам, в соответствии с выданным индивидуальным заданием) – 30 часов.

4.6.4. Перечень тем (вопросов) для самостоятельного изучения студентами

1. История и методология нелинейной волоконной оптики – 2 часа.

4.6.5. Другие виды самостоятельной работы студентов

Подготовка к тестированию:

- раздел 1 «Прикладная нелинейная оптика» – 2 часа;
- раздел 2 «Моделирование нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах передачи информации» – 4 часа;
- раздел 3 «Стратегии и инновации в нелинейной волоконной оптике» – 4 часа.

5. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Основные виды образовательных технологий, в том числе интерактивные формы проведения занятий, реализуемые на различных видах учебной работы по дисциплине «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»:

- мультимедийные технологии проведения лекций (введение, темы №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, заключение) – 16 часов;
- интерактивные семинары с мультимедийным сопровождением (разделы №№ 2, 3) – 12 часов;
- применение модульно-рейтинговой системы при аттестации студентов (разделы №№ 1, 2, 3) – 6 часов.

6. Виды контроля

6.1. Виды текущего и промежуточного контроля освоения элементов и частей компетенций

Индексы элементов и части компетенций – результатов изучения дисциплины	Способы контроля					
	ТТ	КТ	КР	ГиКР	Трен (ЛР)	Экзамен

ПК-12. М1-з	+	+	+			+
ПК-12. М1-у	+	+	+			+
ПК-12. М1-в	+	+	+			+
ПСК-2. М2-з	+	+	+		+	+
ПСК-2. М2-у	+	+	+		+	+
ПСК-2. М2-в	+	+	+		+	+
ПСК-2. М3-з	+	+		+		+
ПСК-2. М3-у	+	+		+		+
ПСК-2. М3-в	+	+		+		+

Обозначения:

ТТ – текущее тестирование (контроль знаний по теме);

КТ – промежуточное контрольное тестирование по модулю (независимый контроль знаний АСУ ВУЗ);

КР – рубежная контрольная работа по модулю (оценка умений);

ГиКР – индивидуальные графические или курсовые работы (оценка умений и владений);

Трен (ЛР) – выполнение тренажеров и лабораторных работ с подготовкой отчета (оценка владений).

№ п/п	Номер модуля	Номер раздела	Наименование видов контроля
1	2	3	4
1	Модуль 1	Раздел 1	Тема 1 (тестирование)
2	Модуль 2	Раздел 2	Темы 2...6 (тестирование)
3	Модуль 3	Раздел 3	Тема 7 (тестирование)

6.2. Виды итогового контроля

а) Экзамен.

б) Зачет не предусматривается.

Порядок проведения экзамена

Условием допуска к экзамену является аттестование по всем разделам дисциплины, выполнение и успешная защита расчетно-графической работы. Экзамен проводится в письменном виде путем выполнения комплексного экзаменационного задания. Экзаменационное задание содержит 16 тестовых вопросов открытого типа с предлагаемыми вариантами ответов и 2 вопроса исследовательского характера. Общая оценка по 20-балльной шкале складывается из суммы правильных ответов, умноженных на «удельный вес» соответствующего вопроса в экзаменационном задании (удельный вес каждого тестового вопроса в задании составляет 1 балл, а каждого исследовательского вопроса – 2 балла). Результаты выполнения комплексного экзаменационного задания переводятся в 5-ти балльную шкалу с использованием нижеследующей таблицы.

Пятибалльная шкала	«2»	«3»	«4»	«5»
Интервал набранных баллов	0-7	8-11	12-16	17-20

Программа экзамена

Особенности федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению «Фотоника и оптоинформатика» (квалификация (степень) «магистр»).

Общефизические и квантовомеханические основы оптических нелинейностей.

Нелинейно-оптическое преобразование частоты. Особенности преобразования частоты в нелинейно-оптических кристаллах. Фазовый (волновой) синхронизм и его интерференционная природа. Фазовый синхронизм в случае генерации второй гармоники. Точное решение для генерации второй гармоники. Оптические схемы генерации второй гармоники. Трехволновое взаимодействие в квадратично-нелинейной среде. Параметрическая генерация света при непрерывной и импульсной накачке. Соотношения Мэнли-Роу. Оптические схемы параметрической генерации света.

Самовоздействия световых волн в кубично-нелинейных средах. Распространение световых пучков и волновых пакетов в нелинейных диспергирующих средах. Самофокусировка и самоканализация световых пучков. Оптическая бистабильность. Фазовая самомодуляция. Фазовая кросс-модуляция.

Вынужденные нелинейные процессы. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). ВКР- и ВРМБ-усиление.

Модели эволюции нелинейных волн. Уравнения Римана, Бюргерса, Кортевега-де-Фриза. Нелинейное уравнение Шредингера. Обобщенное эволюционное уравнение. Модуляционная неустойчивость. Оптические солитоны в волоконной оптике. Синхронизация мод. Методы компрессии оптических импульсов в диспергирующих средах. Измерение длительности сверхкоротких оптических импульсов.

Четырехволновое взаимодействие в кубично-нелинейной среде. Четырехволновое смешение. Спектр стоксовых и антистоксовых компонент четырехволнового смешения в одномодовом световоде. Параметрическое усиление как частный случай частично вырожденного четырехволнового смешения. Математическая модель параметрического усиления. Принципы обращения волнового фронта световых волн. Методы получения обращенной волны.

Ограничения, накладываемые дисперсионными и нелинейными явлениями в волокне. Требования к компонентам систем передачи. Методы компенсации дисперсионных и нелинейных эффектов и восстановления характеристик волоконно-оптических линий.

Основные области применения и перспективы развития нелинейной волоконной оптики. Развитие волоконно-оптической связи и роль нелинейных эффектов. Технология WDM. Волоконные лазеры, генераторы, усилители и датчики, основные направления их совершенствования. Механизмы генерации суперконтинуума. Фотонно-кристаллические волоконные световоды. Физический механизм передачи светового излучения на основе

запрещенных фотонных зон. Лазерная генерация суперконтинуума в фотонно-кристаллических волокнах.

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Каковы особенности федерального государственного образовательного стандарта по фотонике и оптоинформатике для магистров по сравнению с соответствующим стандартом для бакалавров?
2. Объяснить различный характер взаимодействия световых полей малой и большой интенсивности с веществом.
3. Показать на примерах, что в нелинейной оптике нарушается принцип суперпозиции.
4. Каковы физические механизмы нелинейных оптических явлений?
5. Каковы физические причины одновременного возникновения нескольких волн с кратными частотами в нелинейно-оптической среде?
6. Каковы свойства симметрии компонентов тензора диэлектрической восприимчивости в анизотропных оптических материалах?
7. Чем определяется вероятность многофотонных процессов?
8. Какие термооптические явления имеют место при сверхвысоких интенсивностях светового поля?
9. Показать, что если на среду воздействуют две плоские монохроматические волны с различными частотами ω_1 и ω_2 , то квадратичная поляризованность среды будет содержать гармонические составляющие на частотах $2\omega_1$, $2\omega_2$, $\omega_1 - \omega_2$ и $\omega_1 + \omega_2$.
10. Пояснить схему опыта П.Франкена по наблюдению генерации второй гармоники.
11. В чём состоит механизм фазового синхронизма и как он обеспечивается в нелинейно-оптических материалах?
12. Какие оптические схемы генерации второй гармоники применяются?
13. Показать, что генерация второй гармоники обусловлена вещественной составляющей квадратичной оптической восприимчивости.
14. Показать, что кубично-нелинейная среда обладает более широкими возможностями обогащения спектра частот оптических волн, чем квадратично-нелинейная.
15. Дать математическую запись того, что некоторая оптическая среда является слабопоглощающей и слабонелинейной.
16. Какова связь между поляризацией среды на разностной частоте и параметрической генерацией света?
17. Объяснить, как определить пару частот, которые будут усиливаться в параметрическом генераторе света.
18. Как осуществляется плавная регулировка частоты в параметрическом генераторе света?
19. Каков физический смысл соотношений Мэнли-Роу?
20. Какие оптические схемы параметрической генерации света применяются?

21. Как влияет знак рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка в оптической среде?
22. Каковы физические причины возникновения особого нитевидного волноводного распространения светового пучка в нелинейно-оптической среде?
23. Пояснить многофокусный характер самофокусировки.
24. Какова связь между явлениями самофокусировки и фазовой самомодуляции?
25. Объяснить, почему фазовая самомодуляция приводит к частотной модуляции оптических импульсов.
26. Какую роль играет фазовая самомодуляция в волоконно-оптических линиях передачи информации?
27. Сравнить вклад фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции в многоканальных линиях оптической связи.
28. В чем состоит оптическая бистабильность и каково ее применение?
29. Доказать, что явления вынужденного комбинационного рассеяния и вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна накладывают ограничения на максимальную мощность оптических импульсов, используемых в волоконно-оптических линиях передачи информации.
30. Что представляют собой с квантовой точки зрения явления вынужденного комбинационного рассеяния и вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна?
31. Почему в одноканальных системах оптической связи возникновение вынужденного комбинационного рассеяния маловероятно?
32. Почему явление вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна аналогично явлению дифракции на пространственной решетке?
33. Доказать, что при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна волна накачки и волна рассеянного излучения распространяются в противоположных направлениях.
34. Показать, что дисперсия групповых скоростей имеет место и для линейных, и для нелинейных волн.
35. Дать характеристику уравнения Кортевега-де Фриза и нелинейного уравнения Шредингера.
36. Будет ли линейная комбинация двух решений волнового уравнения Кортевега-де Фриза также являться решением этого уравнения?
37. Охарактеризовать модель распространения лазерных импульсов, описываемую обобщенным эволюционным уравнением.
38. Каково математическое и физическое содержание понятия «модуляционная неустойчивость»?
39. Каковы условия существования и основные свойства оптических солитонов?
40. Объяснить, почему групповой солитон не может содержать слишком большое (более 20) количество волн.
41. Доказать, что образование оптического солитона – это нелинейный физический процесс.
42. Как можно использовать солитоны в волоконно-оптических линиях связи?

43. В чем состоит синхронизация мод при получении сверхкоротких оптических импульсов?
44. На каких нелинейных оптических эффектах базируются методы компрессии лазерных импульсов? Для чего в волоконно-оптических линиях передачи информации применяется компрессия оптических импульсов?
45. Каким образом можно сжать импульс с положительной и отрицательной частотной модуляцией?
46. Как измеряют длительность лазерных импульсов фемтосекундного диапазона?
47. Почему можно пренебречь параметрическими процессами второго порядка в кварцевых волокнах?
48. Почему четырехволновое смешение является одним из самых нежелательных нелинейных оптических эффектов в волоконных линиях связи?
49. Как можно уменьшить влияние четырехволнового смешения в волоконно-оптических линиях?
50. Почему случай частично вырожденного четырехволнового смешения является с практической точки зрения важным для волоконно-оптических линий?
51. Пояснить математическую модель параметрического усиления. При каких условиях в волоконном световоде возможно параметрическое усиление сигналов?
52. В чем состоит явление обращения волнового фронта и как оно используется?
53. Для чего необходимо управлять дисперсионными и нелинейными эффектами в волоконно-оптических системах передачи информации?
54. Каковы ограничения, накладываемые дисперсионными и нелинейными явлениями в оптическом волокне, и в чем их физический смысл?
55. Как изменяется физико-математическая модель стандартного одномодового волокна при увеличении дальности и битовой скорости передачи информации?
56. Каковы общие требования к компонентам волоконно-оптических систем передачи информации?
57. В каких случаях при моделировании распространения сигналов по оптическому волокну учитывают поляризационную модовую дисперсию и почему?
58. Как получают суперконтинуум и для чего он применяется?
59. Охарактеризовать основные научно-технические проблемы развития нелинейной волоконной оптики.
60. Какие инновационные технологии и конструкции в волоконной оптике основаны на использовании нелинейных эффектов?

Ниже приведен пример комплексного экзаменационного задания.

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
Дисциплина «Нелинейные эффекты в волоконной оптике»
Комплексное экзаменационное задание
Вариант № _____

Утверждаю
Заведующий кафедрой
общей физики
Цаплин А.И.
«__» _____ 201__ г.

1. (1 балл) В формуле для нелинейной поляризованности волоконного световода из кварцевого стекла

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

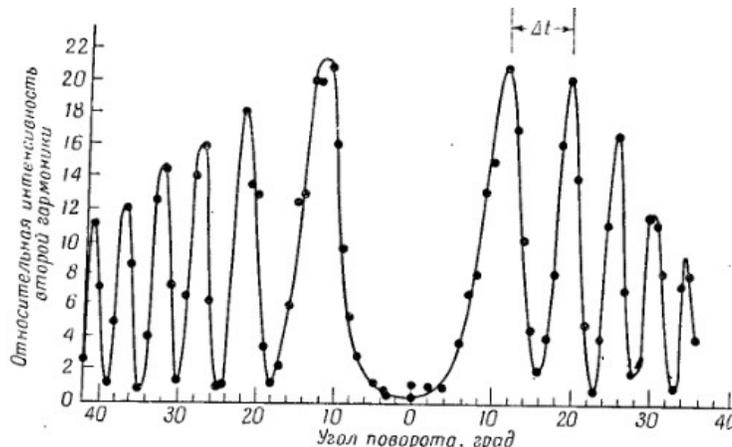
отношение квадратичной восприимчивости к кубичной восприимчивости...

- 1) является безразмерной величиной; 2) приближенно равно нулю;
3) равно бесконечности; 4) равно соответствующему отношению
для других типов волокон; 5) правильного ответа не приведено.**

2. (1 балл) Сужение оптических импульсов при распространении в волоконно-оптической линии может быть вызвано действием...

- 1) фазовой самомодуляции; 2) фазовой кросс-модуляции; 3) аномальной дисперсии;
4) совместным действием фазовой самомодуляции и нормальной дисперсии;
5) совместным действием нормальной и аномальной дисперсии.**

3. (1 балл) На рисунке представлена экспериментальная зависимость интенсивности второй гармоники излучения рубинового лазера от угла между направлением распространения излучения и перпендикуляром к поверхности тонкой пластинки из нелинейно-оптического кристаллического материала.



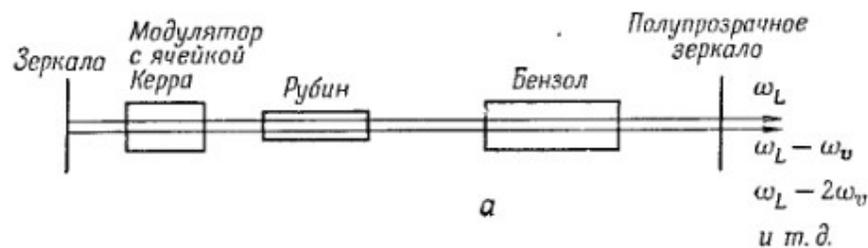
По этим данным можно определить величину...

- 1) коэффициента поглощения излучения; 2) компонент тензора кубичной восприимчивости; 3) длины когерентности; 4) коэффициента параметрического усиления; 5) групповой скорости.**

4. (1 балл) При увеличении скорости передачи информации по одномодовому волоконному световоду от 10 Гбит/с до 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.**

5. (1 балл) На рисунке (а) представлена схема генератора излучения, использующего эффект вынужденного комбинационного рассеяния.



Если ω_L – несущая частота, то наибольшее значение частоты красной (стоксовой) компоненты равно...

- 1) $\omega_L - 2\omega_\nu$; 2) $\omega_L - \omega_\nu$; 3) ω_L ; 4) $\omega_L + \omega_\nu$; 5) $\omega_L + 2\omega_\nu$.**

6. (1 балл) 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. (1 балл) В квантовой модели взаимодействия интенсивного излучения с веществом частота Раби характеризует...

- 1) осцилляции оптического электрона между резонансными состояниями; 2) частоту внешнего излучения; 3) собственные колебания оптического электрона; 4) частоту переизлучения второй гармоники; 5) правильного ответа не приведено.**

8. (1 балл) Принцип параметрической генерации света был предложен...

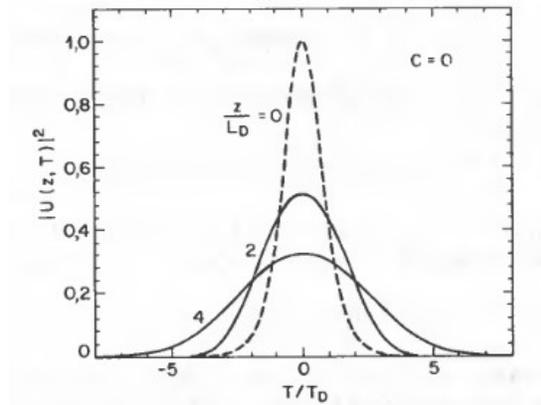
- 1) индийским физиком Ч.Раманом; 2) французским физиком Л.Бриллюэном;**

3) советскими физиками С.Ахмановым и Р.Хохловым; 4) американским физиком Э.Снитцером; 5) китайским физиком Ч.Као.

9. (1 балл) Многофотонное уравнение для внешнего фотоэффекта имеет вид (k – число фотонов, A – работа выхода, W_{\max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов):

- 1) $\hbar\omega = A + kW_{\max}$; 2) $k\hbar\omega = A + W_{\max}$; 3) $\hbar\omega = kA + W_{\max}$;
4) $k\hbar\omega = W_{\max}$; 5) $k\hbar\omega = A$.

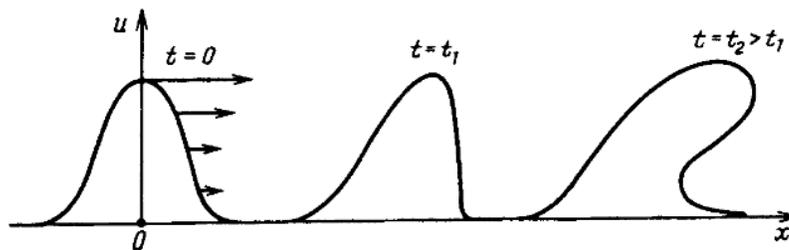
10. (1 балл) На рисунке показаны кривые дисперсионного уширения гауссовского оптического импульса в волоконном световоде при постоянном значении дисперсионного коэффициента β_2 .



Кривые отличаются:

- 1) разными нелинейными восприимчивостями; 2) разными значениями рефракционного индекса; 3) разными коэффициентами ангармоничности; 4) разными системами отсчета времени; 5) разными длинами пути в волокне.

11. (1 балл) Показанный на рисунке механизм эволюции волны



обусловлен действием:

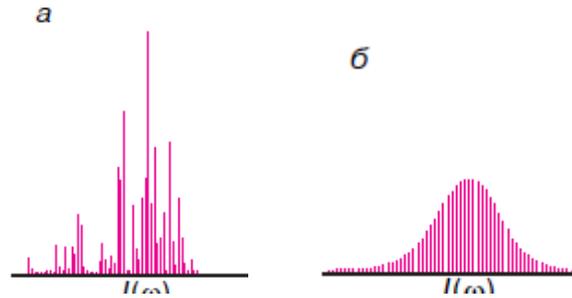
- 1) релятивистских эффектов; 2) дисперсии; 3) фазовой самомодуляции; 4) нелинейности; 5) вынужденного рассеяния.

12. (1 балл) Влияние четырехволнового смешения в оптоволоконных линиях уменьшается при:

- 1) увеличении числа каналов; 2) увеличении мощности каналов;
3) увеличении эффективной площади волокна; 4) уменьшении

частотного интервала между каналами; 5) уменьшении дисперсии.

13. (1 балл) Спектры а) и б) волоконного лазера, показанные на рисунке, отличаются...



- 1) степенью синхронизации мод; 2) полосой усиления; 3) шириной спектра;
4) степенью когерентности излучения; 5) входной мощностью.

14. (1 балл) По отношению к монохроматической световой волне

$$E(z, t) = A \cos(\omega t + kz)$$

обращенный волновой фронт имеет световая волна:

- 1) $E(z, t) = A \cos(\omega t + k(z - z_0))$; 2) $E(z, t) = A \cos(\omega t - kz)$;
3) $E(z, t) = A \cos(-\omega t - kz)$; 4) $E(z, t) = A \cos \omega t \cdot \cos kz$;
5) $E(z, t) = A(z) \cos \omega t$.

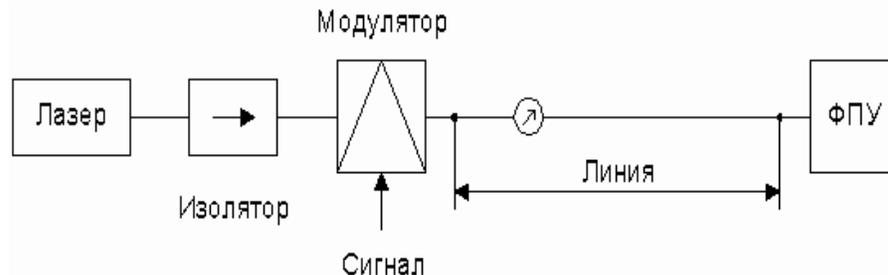
15. (1 балл) Уравнение для поляризованности P

$$\frac{d^2 P}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{dP}{dt} + \omega_0^2 \cdot P = \varepsilon_0 \omega_p^2 E(t)$$

относится к модели...

- 1) нелинейных волн в диспергирующей среде; 2) линейных осцилляторов;
3) нелинейных осцилляторов без затухания; 4) модуляционной неустойчивости;
5) фотонных запрещенных зон.

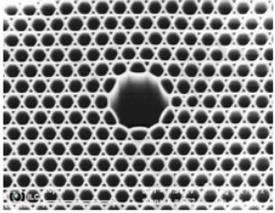
16. (1 балл) Основным недостатком солитонной волоконно-оптической линии связи, показанной на рисунке, является...



- 1) относительно малая протяженность; 2) компенсация потерь мощности;
3) наличие спонтанных шумов; 4) наличие большого числа усилителей;

5) невозможность реализации аномальной дисперсии волокна.

17. (2 балла) В чем заключается применение вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в волоконной оптике? Привести примеры, когда этим эффектом можно пренебречь в волоконно-оптических линиях связи, а когда – нельзя.



18. (2 балла) Пояснить физический механизм переноса светового излучения и технические преимущества для волоконного световода, фотоизображение поперечного сечения которого представлено на рисунке.

7. График учебного процесса по дисциплине

Виды работ	Распределение по учебным неделям																	Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Разделы	P1			P2					P3									
Лекции	2	2	2	2	2	2	2	2										16
Практ. и сем. занятия			4					6					6					16
Лаборатор. работы				4	4	4	4											
Подготовка к занятиям	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			60
Самост. изучение			2	2			2	2	2		2	2	2					16
Расч.-граф. работа									2	2	2	4	4	4	4	4	4	30
Контр. работа				2					2									4
Модули	M1			M2					M3									
Контр. тестир-е				0,5					1					0,5				2
Дисциплин. контроль																		Экз.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Рекомендуемая литература

8.1.1. Основная литература

<i>№ n/n</i>	<i>Автор(ы)</i>	<i>Заглавие</i>	<i>Издательство, год издания</i>	<i>Назначение, вид издания, гриф</i>	<i>Кол-во экземпл. в библ.</i>
1	Агравал Г.	Нелинейная волоконная оптика	М.: Мир, 1996. – 323 с.	Монография	1
2	Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.	Прикладная нелинейная оптика	М.: Физматлит, 2004. – 512 с.	Учебное пособие	1
3	Иванов А.Б.	Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения	М.: компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 672 с.	Учебное пособие	3

8.1.2. Дополнительная литература

<i>№ n/n</i>	<i>Автор(ы)</i>	<i>Заглавие</i>	<i>Издательство, год издания</i>	<i>Назначение, вид издания, гриф</i>	<i>Кол-во экземпл. в библ.</i>
1	Булгакова С.А., Дмитриев А.Л.	Нелинейно-оптические устройства обработки информации	СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 56 с.	Учебное пособие	
2	Клюев В.Г.	Нелинейные явления в оптоволоконных системах	Воронеж: ВГУ, 2008. – 59 с.	Учебное пособие	

8.1.3. Учебно-методические пособия, изданные в ПГТУ

<i>№ n/n</i>	<i>Библиотечн. номер</i>	<i>Автор(ы), заглавие</i>	<i>Издательство, год издания</i>	<i>Вид издания, гриф</i>	<i>Кол-во экземпл. в библ.</i>
1		Беспрозванных В.Г., Первадчук В.П. Нелинейная оптика	Пермь, ПГТУ, 2011. – 200 с.	Учебное пособие	40

8.2 Информационные средства обеспечения дисциплины

8.2.1. Компьютерные обучающие и контролирующие программы

<i>№ п/п</i>	<i>Вид уче бно го зан ят ия</i>	<i>Наименование программного продукта</i>	<i>Рег. но ме р</i>	<i>Назначение</i>
1	Лк	Комплект электронных презентаций	-	Комплект предназначен для мультимедийного сопровождения лекций
2	ПЗ	ИТС	-	Программа предназначена для проведения тестирования студентов

8.2.2. Аудио- и видео-пособия

Используются.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**9.1. Специализированная учебная лаборатория (класс)**

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование и принадлежность помещения</i>	<i>Площадь (м²)</i>	<i>Количество посадочных мест</i>
1	Учебная ауд. каф. ОФ с мультимедийным оборудованием (№ 253 Гл. корпуса)	44	30

Карта обеспеченности учебно-методической литературой
 дисциплины **«Нелинейные эффекты в волоконной оптике»**
 Кафедра **общей физики**; факультет: **ПММ**
 Цикл и шифр дисциплины: М2.Р.2 Форма обучения: **очная**
 Год составления учебного плана: **2011**

Направление (специальность)	Номер семестра	Кол-во студентов	Библиографическое описание издания (автор, заглавие, вид, место, изд-во, год издания, кол-во страниц)	библ. Количество экз. в	Основной лектор
200700	10		<p align="center">Основная литература</p> <p>1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир, 1996. – 323 с.</p> <p>2. Беспрозванных В.Г., Первадчук В.П. Нелинейная оптика. Пермь: ПГТУ, 2011. – 200 с.</p> <p>3. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит, 2004. – 512 с.</p> <p align="center">Дополнительная литература</p> <p>1. Булгакова С.А., Дмитриев А.Л. Нелинейно-оптические устройства обработки информации. СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 56 с.</p> <p>2. Клюев В.Г. Нелинейные явления в оптоволоконных системах. Воронеж: ВГУ, 2008. – 59 с.</p> <p align="center">Периодические издания</p> <p>Журналы «Фотоника», «Оптический журнал», «Оптика и спектроскопия», «Проблемы передачи информации»</p>	1 40 1	Беспрозванных В.Г., к.ф.-м.н., доцент

Согласовано:

Зав. отделом комплектования
библиотеки _____

уч. степень, уч. звание

подпись

Тюрикова Н.В.

Книгообеспеченность дисциплины

Составляет:

- основной учебной литературы на _____ более 1 экз.

(число, месяц, год)

(экз. на одного обучаемого)

- дополнительной учебной литературы на _____

Лист регистрации изменений

<i>№ п/ п</i>	<i>Содержание изменений</i>	<i>Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись зав. кафедрой</i>
1		
2		
3		
4		
5		