

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра квантовой оптики**



Рабочая программа дисциплины

НЕЛИНЕЙНАЯ ФОТОНИКА 1

направление подготовки: 03.04.02 Физика

направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина (курс) «**Нелинейная фотоника 1**» имеет своей непосредственной целью дать обучающимся знания об основах нелинейной оптики и фотоники, нелинейной поляризации среды в сильных электромагнитных полях, способах достижения фазового синхронизма.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные понятия нелинейной оптики и фотоники; основные физические механизмы нелинейно-оптических преобразований; основные принципы разработки источников когерентного излучения в различных спектральных диапазонах, различной длительности и пиковой мощности с использованием нелинейно-оптических методов преобразования оптических импульсов в твердотельных и газовых средах.</p> <p>Уметь выводить основные уравнения нелинейной оптики, исходя из системы уравнений Максвелла; оценивать по порядку величины эффективность нелинейно-оптических преобразований, обусловленных различными физическими механизмами; оценивать оптимальные параметры оптических схем для нелинейно-оптических преобразований в различных спектральных диапазонах, с использованием лазерных импульсов различной длительности и пиковой мощности в твердотельных и газовых средах;</p> <p>ставить и решать задачи в области генерации когерентного излучения в различных спектральных диапазонах, различной длительности и пиковой мощности с использованием нелинейно-оптических методов преобразования оптических импульсов в твердотельных и газовых средах.</p> <p>Владеть ключевыми понятиями нелинейной фотоники, включая понятия нелинейной поляризации, фазового синхронизма и квазисинхронизма, фазовой самомодуляции и кросс-модуляции; навыками работы с оптическими справочниками и каталогами оптических материалов.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Нелинейная фотоника 1» реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой квантовой оптики, первой частью годового цикла и необходимой ступенью для овладения второй частью – «Нелинейная фотоника 2»; изложение материала опирается на знание студентами основ электродинамики, физики сплошных сред; обеспечена логическая связь «Нелинейной фотоники 1» с курсами «Физическая оптика» и «Волоконная оптика».

Курс, в первую очередь, предназначен для магистрантов, область будущей профессиональной деятельности которых включает:

- научные исследования, метрология и инженерная деятельность с использованием лазерного излучения и квантово-оптических методов;
- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные и технологические разработки в области лазерных систем и нелинейной оптики и фотоники.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем с помощью выборочных опросов, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: выборочный опрос;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 часов;
- промежуточная аттестация (зачет) – 2 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, зачет) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Нелинейная фотоника 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе физического факультета НГУ в 1 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Введение в предмет	1	4	2		2	
2	Природа нелинейно-оптических эффектов	2	4	2		2	
3	Нелинейное просветление среды, насыщающиеся поглотители	3	4	2		2	
4	Трёхволновое взаимодействие. Генерация второй гармоники и субгармоники	4	6	2		4	
5.	Условия фазового синхронизма. Квазисинхронизм	5	4	2		2	
6.	Нелинейное уравнение Шрёдингера	6	4	2		2	
7.	Самофокусировка. Теорема Таланова. Керровская линза	7	4	2		2	
8.	Генерация третьей гармоники	8	4	2		2	
9.	Параметрические процессы	9	4	2		2	
10.	Фазовая самомодуляция, оптические солитоны	10	4	2		2	
11.	Вынужденное комбинационное рассеяние	11	4	2		2	
12.	Вынужденное рассеяние Мандельштама–Бриллюэна	12	4	2		2	
13.	Обращение волнового фронта	13	6	2		4	
14.	Генерация суперконтинуума	14-15	7	3		4	
15.	Оптическое выпрямление. Генерация терагерцового излучения	15-16	7	3		4	
16.	Дифференцированный зачёт	17	4				2
Всего			72	32		38	2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Введение в предмет (2 часа)

Цели и задачи курса, его общая структура. Определения: нелинейная оптика, фотоника. История развития представлений о нелинейных оптических процессах. Роль лазеров в нелинейной оптике. Прикладное значение нелинейной фотоники. Место и роль нелинейной фотоники в современной физике, перспективы её развития.

Раздел 2. Природа нелинейно-оптических эффектов (2 часа)

Уравнения Максвелла для оптических волн в среде. Применимость приближения линейного отклика среды. Нелинейная поляризация среды. Оценка порядков величин. Разложение нелинейности в ряд Тейлора. Нелинейность второго порядка, свойство симметрии тензора. Отсутствие квадратичной нелинейности в изотропных средах и средах, обладающих симметрией инверсии на молекулярном уровне.

Раздел 3. Нелинейное просветление среды, насыщающиеся поглотители (2 часа)

Квантовая природа поглощения излучения в среде. Квантовые населённости уровней в термодинамическом равновесии, поглощение в пределе слабого и сильного поля. Использование эффекта насыщающегося поглощения для пассивной синхронизации мод в лазерных резонаторах. Времена релаксации и длительность генерируемых лазерных импульсов.

Раздел 4. Трёхволновое взаимодействие. Генерация второй гармоники и субгармоники (2 часа)

Генерация суммарной частоты: система уравнений на амплитуды. Решение в приближении неистощаемой накачки. Решение в случае точного синхронизма. Генерация второй гармоники. Генерация субгармоники. Оценки порогов.

Раздел 5. Условия фазового синхронизма. Квазисинхронизм (2 часа)

Необходимость выполнения условий фазового синхронизма для эффективного преобразования энергии. Необходимость анизотропии среды. Одноосные кристаллы, синхронизм первого и второго типа. Угловой и температурный синхронизм. Квазисинхронизм.

Раздел 6. Нелинейное уравнение Шрёдингера (2 часа)

Нелинейная поляризация в среде с кубической (Керровской) нелинейностью. Приближение медленно меняющейся амплитуды. Нелинейное уравнение Шрёдингера. Масштабы взаимодействий: нелинейная, дисперсионная и дифракционная длина. Самоукручение волнового фронта.

Раздел 7. (2 часа)

Изменение площади пучка при распространении в линейной и нелинейной среде. Мощность самофокусировки. Самоамплитудные модуляторы на основе Керровской линзы. Генерация фемтосекундных лазерных импульсов.

Раздел 8. Генерация третьей гармоники (2 часа)

Генерация суммарных частот в среде с кубической (керровской) нелинейностью. Система уравнений на амплитуды взаимодействующих волн. Условия фазового синхронизма.

Раздел 9. Параметрические процессы (2 часа)

Различные виды четырёхволновых процессов в среде с керровской нелинейностью. Параметрическое усиление и его применения. Условия фазового синхронизма, длина когерентности.

Раздел 10. Фазовая самомодуляция, оптические солитоны (2 часа)

Эффект самомодуляции фазы как результат нелинейной добавки к показателю преломления. Фазовая самомодуляция как частный случай четырёхволнового смешения. Выполнение условий фазового синхронизма за счёт нелинейности – модуляционная неустойчивость. Оптические солитоны.

Раздел 11. Вынужденное комбинационное рассеяние (2 часа)

Неупругое рассеяние света на колебательных переходах молекул. Спонтанное рассеяние. Резонансное взаимодействие нелинейной поляризации с собственными колебаниями молекулы, вы-

нужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Оценка пороговой мощности. Возможность наблюдения ВКР в непрерывном и импульсном режиме.

Раздел 12. Вынужденное рассеяние Мандельштама–Бриллюэна (2 часа)

Взаимодействие оптических и акустических волн в среде: электрострикция, зависимость диэлектрической проницаемости от плотности. Условия синхронизма. Спонтанное и вынужденное рассеяние. Вынужденное рассеяние в лазерной технике.

Раздел 13. Обращение волнового фронта (2 часа)

Физический принцип обращения волнового фронта (ОВФ). ОВФ при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в среде с кубической нелинейностью. ОВФ при вынужденном рассеянии. Практические применения ОВФ.

Раздел 14. Генерация суперконтинуума (3 часа)

Излучение суперконтинуума, его отличие от спектрально широкополосного излучения тепловых источников. Различные виды когерентности. История исследований суперконтинуума. Генерация суперконтинуума в различных средах при непрерывном и импульсном возбуждении в различных режимах дисперсии. Применения суперконтинуума.

Раздел 15. Оптическое выпрямление. Генерация терагерцового излучения (3 часа)

Нелинейная поляризация среды на нулевой частоте, оптическое выпрямление. Способы получения и детектирования терагерцового излучения. Практические применения терагерцового излучения.

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к занятиям, изучение лекций	32

5. Перечень учебной литературы.

1. **Шуберт М., Вильгельми Б.** Введение в нелинейную оптику. – М.: Мир, 1973-1979., Ч.1: Классическое рассмотрение, 1973, 244 с. : ил. (20 экз), Ч.2: Квантовофизическое рассмотрение, 1979, 512 с. : ил. (11 экз.)
2. **Ахманов, Сергей Александрович** Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света: Актив. спектроскопия рассеяния света М: Наука., 1981 (5 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. **Бломберген Н.** Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966, 424 с.
2. **Шен И.Р.** Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989, 560 с
3. **Дмитриев В.Г.** Нелинейная оптика и обращение волнового фронта. М.: Физматлит, 2003, 256 с.
4. **Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.** Прикладная нелинейная оптика: Генераторы второй гармоники и параметрические генераторы света. М.: Радио и связь, 1982, 352 с.
5. **Делоне Н.Б.** Нелинейная оптика. М.: Физматлит, 2003, 64 с.
3. **R. Boyd**, Nonlinear optics, Academic Press, London, 2002.
4. **G. Agrawal**, Nonlinear fiber optics and photonics, Academic Press, London, 2007.
5. **Ахманов С.А., Хохлов Р.В.** Проблемы нелинейной оптики. М.: ВИНТИ 1964.

6. **Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С.** Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1988.
7. **Делоне Н.Б., Крайнов В.П.** Основы нелинейной оптики атомарных газов. – М.: Наука, 1986.
8. **Andrew D. Ludlow et al.** Optical atomic clocks. Rev.Mod.Phys. 87, 2015, 637-701.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Нелинейная фотоника 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и промежуточной аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости студента проводится в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности свободно владеть знаниями в области нелинейной фотоники и использовать их в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачете. Зачет проводится в конце семестра в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Зачет ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные понятия нелинейной оптики и фотоники; основные физические механизмы нелинейно-оптических преобразований; основные принципы разработки источников когерентного излучения в различных спектральных диапазонах, различной длительности и пиковой мощности с использованием нелинейно-оптических методов преобразования оптических импульсов в твердотельных и газовых средах.	Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь выводить основные уравнения нелинейной оптики, исходя из системы уравнений Максвелла; оценивать по порядку величины эффективность нелинейно-оптических преобразований, обусловленных различными физическими механизмами; оценивать оптимальные параметры оптических схем для нелинейно-оптических преобразований в различных спектральных диапазонах, с использованием лазерных импульсов различной длительности и пиковой мощности в твердотельных и газовых средах; ставить и решать задачи в области генерации	Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.

	<p>когерентного излучения в различных спектральных диапазонах, различной длительности и пиковой мощности с использованием нелинейно-оптических методов преобразования оптических импульсов в твердотельных и газовых средах.</p> <p>Владеть ключевыми понятиями нелинейной фотоники, включая понятия нелинейной поляризации, фазового синхронизма и квазисинхронизма, фазовой самомодуляции и кросс-модуляции; навыками работы с оптическими справочниками и каталогами оптических материалов.</p>	
--	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нелинейная фотоника 1».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Контрольные вопросы

1. На вход волоконной линии длиной 30 км подается излучение на двух длинах волн $\lambda_1 = 1,55$ мкм и $\lambda_2 = 1,5$ мкм мощностью 10 мВт каждое. Затухание на этих длинах волн составляет $\alpha_1 = 0,2$ дБ/км и $\alpha_2 = 0,3$ дБ/км. В конце линии волны разделяются спектрально-селективным ответвителем, который вносит $\delta_{1,2} = 1$ дБ для каждой волны. Найти выходную мощность для каждой из волн.
2. На вход волоконной линии длиной 30 км подается излучение с длиной волны $\lambda = 1,55$ мкм мощностью 100 мВт. Затухание волны составляет $\alpha = 0,2$ дБ/км. В конце линии волна разделяется на две ответвителем с коэффициентом $T = 0,1$, который вносит потери $\delta = 1$ дБ для каждой из двух волн. Найти выходную мощность для каждой из волн.
3. Дисперсия световода составляет $D = 20$ пс/(км нм) на длине волны 1,55 мкм. Найти максимальную длину световода при скорости передачи сигнала 100 Гб/с.
4. Дисперсия световода составляет $D = 20$ пс/(км нм) на длине волны 1,55 мкм. Найти максимальную длину световода при скорости передачи сигнала 10 Гб/с.
5. Найти максимальную скорость передачи сигнала по многомодовому световоду со ступенчатым профилем показателя преломления числовой апертурой $NA = 0,25$ длиной 1 км.
6. Найти разность плеч волоконного интерферометра Маха-Цандера, необходимую для селекции длин волн излучения с разницей частот 10 ГГц в области 1,5 мкм.
7. Оценить потери при соединении двух световодов SMF-28 разъемным соединением с поперечным смещением оси световода на 1 мкм.
8. Оценить изгибные потери на катушке из 10 витков диаметром 1 см для световода SMF-28.
9. Иттербиевый лазер с длиной волны 1 мкм выполнен на основе кольцевого резонатора и брэгговской решетки с параметрами $\Delta n = 10^{-4}$ $L = 10$ см. Найти радиус кольца, чтобы в лазере генерировалась одна продольная мода.
10. Найти параметр качества M^2 выходного пучка эрбиевого волоконного лазера с длиной волны 1,5 мкм, выполненного на основе световода с параметрами $NA = 0,13$ $2a = 8,4$ мкм.
11. Иттербиевый лазер с длиной волны 1 мкм выполнен на основе кольцевого резонатора и брэгговской решетки с параметрами $\Delta n = 10^{-4}$ $L = 10$ см. При какой длине резонатора в лазере будет генерироваться одна продольная мода.
12. Найти коэффициент пропускания резонатора эрбиевого лазера с длиной волны 1,5 мкм, если вывод излучения осуществляется через кольцевое зеркало на основе ответвителя с коэффициентом ветвления 70:30.
13. Оценить длину линейного резонатора эрбиевого лазера с длиной волны 1,5 мкм, в котором будет селектироваться одна продольная мода при использовании в качестве зеркал ВБР с шириной спектра 0,1 нм.

Билеты для проведения зачета

Билет 1

1. Нелинейная поляризация среды, её природа и оценки величин.

2. Генерация второй гармоники в среде с квадратичной нелинейностью.
3. Задача 13.

Билет 2

1. Симметрия тензора квадратичной нелинейной восприимчивости.
2. Самофокусировка, теорема Таланова.
3. Задача 12.

Билет 3

1. Выбор оптической среды для генерации второй гармоники.
2. Нелинейное уравнение Шрёдингера.
3. Задача 11.

Билет 4

4. Условия и типы фазового синхронизма в трёхволновых взаимодействиях.
5. Квазисинхронизм.
6. Задача 10.

Билет 5

1. Угловой и температурный синхронизм в кристаллах.
2. Самоамплитудные модуляторы на основе керровской линзы.
3. Задача 9.

Билет 6

1. Вынужденное комбинационное рассеяние.
2. Суперконтинуум, генерация и применения.
3. Задача 8.

Билет 7

1. Вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна.
2. Соотношения Мэнли–Роу.
3. Задача 7.

Билет 8

1. Нелинейное просветление среды, насыщающиеся поглотители.
2. Обращение волнового фронта.
3. Задача 6.

Билет 9

1. Генерация и детектирование терагерцового излучения.
2. Фазовая самомодуляция.
3. Задача 5.

Билет 10

1. Оптические солитоны.
2. Модуляционная неустойчивость.
3. Задача 4.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Нелинейная фотоника 1»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Общая и фундаментальная физика**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного