

**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): **Физика. 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:<br>- контактная работа 34 часа |             |                                                |                      |                      |                                                  |                                                       |                                                |       |                          |         |
| Компетенции ПК-1                                                           |             |                                                |                      |                      |                                                  |                                                       |                                                |       |                          |         |

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

## 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. 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. .... | 4 |
| 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....                                                           | 4 |
| 5. Перечень учебной литературы. ....                                                                                                                                                                                  | 6 |
| 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....                                                                                                                                | 6 |
| 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....                                                                                                     | 7 |
| 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....                                                                                                   | 7 |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....                                                                                                           | 7 |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....                                                                                                                | 8 |

**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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1</b> 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><b>ПК 1.1</b> 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><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> | <p><b>Знать</b> 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><b>Уметь</b> 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><b>Владеть</b> 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. 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.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

| №  |  | Вид деятельности                     | Семестр |
|----|--|--------------------------------------|---------|
|    |  |                                      | 1       |
| 1  |  | Лекции, ч                            | 32      |
| 2  |  | Практические занятия, ч              | -       |
| 3  |  | Лабораторные занятия, ч              | -       |
| 4  |  | Занятия в контактной форме, ч из них | 34      |
| 5  |  | аудиторных занятий, ч                | 32      |
| 6  |  | в электронной форме, ч               | -       |
| 7  |  | консультаций, час.                   | -       |
| 8  |  | промежуточная аттестация, ч          | 2       |
| 9  |  | Самостоятельная работа, час.         | 38      |
| 10 |  | Всего, ч                             | 72      |

## 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.

### 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, вынужденное 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                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>ПК 1.1</b> 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. | <b>Знать</b> 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. |

|                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> | <p><b>Уметь</b> 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 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><b>Владеть</b> 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> | <p>Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|

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

**Таблица 10.2**

| Критерии оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Шкала оценивания      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий,</li> <li>– наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul> <p>При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.</p> | <p><i>Отлично</i></p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,</li> <li>– наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.</li> </ul>                                     | Хорошо              |
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений,</li> <li>– корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками,</li> <li>– наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul> | Удовлетворительно   |
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала,</li> <li>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,</li> <li>– отсутствие ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>                                                                                                                         | Неудовлетворительно |

### 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 решётки 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 решётки 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.