

**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
ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА 1**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Итоговая аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к итоговой 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			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
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.....	3
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.	4
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.	7
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 итоговой аттестации по дисциплине.	8

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

Цель курса – овладение основными понятиями, моделями, теоретическими и экспериментальными методами волоконной оптики, а также ознакомление студентов с 1) основными понятиями волоконной оптики; 2) геометрическим способом описания распространения света в волоконном световоде; 3) волновым описанием мод волоконного световода; 4) способами описания волоконных ответвителей, спектрально-селективных ответвителей, волоконных интерферометров, волоконных брэгговских решёток в рамках теории связанных мод; 5) основными положениями прямой и обратной задач рассеяния на периодической структуре, в т.ч. волоконных брэгговских решёток с аподизацией, с фазовыми сдвигами и др.; 6) методами и способами получения волоконных световодов, ответвителей, интерферометров брэгговских решёток, поляризаторов, изоляторов, циркуляторов и других волоконных компонент; 7) теоретическими и экспериментальными основами создания схем из волоконных компонент, в том числе простых вариантов волоконных лазеров и описания их характеристик.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
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>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 теоретические основы волоконной оптики, технику волоконно-оптического эксперимента и основы базовых технологий, основные физические процессы, связанные с распространением света в волоконных световодах, как линейные, так и нелинейные.</p> <p>Уметь объяснить принципы работы основных волоконно-оптических устройств.</p> <p>Владеть выводом и решением волнового уравнения, понятием моды световода, потерь, дисперсией и нелинейностью, теорией связанных мод, описанием взаимодействия мод в волоконных ответвителях и брэгговских решётках.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «**Волоконная оптика 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. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как основы квантовой механики и статистической физики, физическая оптика, а также по математике (основы математического анализа и линейной алгебры).

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

- научные исследования, метрологию и инженерную деятельность с использованием методов волоконной оптики;
- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные и технологические разработки в области волоконных лазерных систем.

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)				Итоговая аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к итоговой 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			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
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, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Волоконная оптика 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе физического факультета НГУ в 1 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение в предмет	1	3	2		1	
2	Устройство волоконного световода, распространение света	2	3	2		1	
3	Дисперсия и нелинейность, типы волокон	3	3	2		1	
4	Волновое уравнение, моды	4	3	2		1	
5	Теория связанных мод для сонаправленных волн	5	3	2		1	
6	Волоконные компоненты	6	3	2		1	
7	Уравнения связанных мод для брэгговской решетки	7	3	2		1	
8	Волоконные брэгговские решётки (ВБР)	8	3	2		1	
9	Методы записи ВБР	9	3	2		1	
10	Основные типы ВБР и их применения	10	3	2		1	
11	Принципы построения волоконных лазеров	11	3	2		1	
12	Типы волоконных лазеров	12	3	2		1	
13	Модель волоконных лазеров	13	3	2		1	
14	Одночастотные и перестраиваемые волоконные лазеры	14-15	7	4		3	
15	Импульсные волоконные лазеры	16	4	2		2	
16	Консультация		2				2
17	Самостоятельная работа в период подготовки к итоговой аттестации		18				18
18	Экзамен		2				2
ВСЕГО			72	32		18	2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Введение в предмет (2 часа)

Цели и задачи курса, его общая структура. Определения: фотоника, волоконная оптика (ВО), микро- и нанотехнологии в оптике. Оптическая связь – движущая сила ВО. Краткая история создания волоконных световодов и развития ВО.

Раздел 2. Устройство волоконного световода, распространение света (2 часа)

Устройство волоконного световода (ВС). Методы изготовления заготовок. Вытяжка волоконного световода. Описание распространения света в рамках геометрической оптики. Полное внутреннее отражение. Числовая апертура. Оптические потери в световодах. Минимально достижимый уровень потерь.

Раздел 3. Дисперсия и нелинейность, типы волокон (2 часа)

Дисперсия в волокне. Материальная дисперсия, уравнение Зелмейера. Волноводная дисперсия. Нормальная и аномальная дисперсии. Одномодовые и многомодовые волокна. Межмодовая дисперсия. Типы нелинейностей в световодах: ВРМБ и ВКР, керровская нелинейность (SPM, XPM, FWM). Специальные волокна: со сглаженной и сдвинутой дисперсией, с высокой и низкой нелинейностью.

Раздел 4. Волновое уравнение, моды (2 часа)

Волновое уравнение. Моды сердцевины, поле в оболочке, сшивка. Направляемые моды, моды утечки и радиационные моды. Эффективный показатель преломления, константа распространения. Длина волны отсечки. Параметр V . Диаметр поля моды. Поляризационные моды. Двухлучепреломление в волокне, длина биений. Дисперсия поляризационных мод. Световоды, сохраняющие поляризацию.

Раздел 5. Теория связанных мод для сонаправленных волн (2 часа)

Волоконные разветвители. Решение ВУ для волоконного ответвителя. Спектрально-селективные разветвители. Свойства и методы их изготовления.

Раздел 6. Волоконные компоненты (2 часа)

Интерферометр (зеркало) Саньяка, loormirror. Интерферометр Маха-Цандера, электрооптический модулятор. Волоконный контроллер поляризации. Волоконный поляризатор, изолятор и циркулятор.

Раздел 7. Уравнения связанных мод для брэгговской решетки (2 часа)

Постановка прямой и обратной задачи рассеяния. Решение для однородной решетки. Т-матрица.

Раздел 8. Волоконные брэгговские решетки (ВБР) (2 часа)

Точные соотношения теории рассеяния. Понятие об обратной задаче рассеяния.

Раздел 9. Методы записи ВБР (2 часа)

Типы фоточувствительности волокон: 0, I, IIa, II. Механизмы фоточувствительности: ГКДЦ, уплотнение. Методы записи ВБР. Методы характеристики записанных ВБР.

Раздел 10. Основные типы ВБР и их применения (2 часа)

Однородная решетка, брэгговская длина волны. Аподизация, фазовый сдвиг, чирп, наклон. Гауссова решетка. Перестройка ВБР. Длиннопериодные решетки (ДПР). Применения ВБР и ДПР.

Раздел 11. Принципы построения волоконных лазеров (2 часа)

Сравнение волоконных и дискретных лазеров. Волокна, легирующие примеси. Резонаторы волоконных лазеров: зеркало Саньяка, ВБР, кольцевой резонатор. Способы накачки. ЛД, WDM ответвители. Волокно с двойной оболочкой, объединитель накачек.

Раздел 12. Типы волоконных лазеров (2 часа)

Спектроскопия ионов Yb, Er, Nd, Tm в стекле. Иттербиевый волоконный лазер. Неодимовый волоконный лазер. Эрбий-иттербиевый волоконный лазер. Другие примеси (тулий, гольмий, висмут).

Раздел 13. Модель волоконных лазеров (2 часа)

Трехуровневая система. Квазидвухуровневая система. Усиление. Лазер с линейным резонатором. Порог и дифференциальная эффективность, оптимальная длина. Пример лазера с двойной оболочкой.

Раздел 14. Одночастотные и перестраиваемые волоконные лазеры (4 часа)

Одночастотные лазеры. DBR и DFB лазеры. Поляризованные лазеры. Селекция частоты в волоконных лазерах. Перестраиваемые лазеры.

Раздел 15. Импульсные волоконные лазеры (2 часа)

Импульсные волоконные лазеры. Лазеры с модулированной добротностью. Режимы активной и пассивной синхронизации мод.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	9
Подготовка к контрольным работам	9
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Солимено, Сальваторе. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения / С.Солимено, Б.Кросиньяни, П.Ди Порто ; Пер. с англ. Е.В.Московца, В.В.Тяхта; ; Под ред. В.С.ЛетоховаМ. : Мир, 1989, 662с. : ил.ISBN 5030010211 (1 экз.)
2. Бейли, Дэвид. Волоконная оптика : теория и практика : [пер. с англ.] / Дэвид Бейли, Эдвин Райт. Москва : Кудиц-Пресс, 2008. 320 с. : ил. ; 21 см.(Сетевые технологии) ISBN 978-5-91136-048-1 (1 экз)

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

1. A. Othonos, K. Kalli, Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing, Artech House Publishers, 1999
2. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М; Наука, 1989. 1
3. Г. Агравал, Нелинейная волоконная оптика, Москва, Мир, 1996.
4. G. Agrawal, Applications of Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, London, 2001.
5. G. Agrawal, Fiber-optic Communications Systems, Wiley-Interscience, New York, 2002.
6. R. Kashyap, Fiber Bragg Gratings, Academic Press, London, 1999
7. Д. Стерлинг, Техническое руководство по волоконной оптике, Москва, Лори, 1998.
8. Е. М. Дианов, Волоконные лазеры, УФН, т.174, №10, стр.1139-1142, 2004.
9. Ю. Н. Кульчин, Распределенные волоконно-оптические измерительные системы, Москва, Наука, 2001.
10. М. Адамс, Введение в теорию оптических волноводов (Москва:Мир, 1984).
11. А. М. Желтиков, Оптика микроструктурированных волокон, Москва, Наука, 2004.

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

1. <http://www.iucr.org/iucr-to>
2. National Institute of Standard and Technology. NIST, <https://www-s.nist.gov>.

7.2. Информационные справочные системы

Энциклопедия фотоники: <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

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 «Волоконная оптика 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, итоговой и итоговой 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 итоговой аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы, предполагающие решение задач из разделов «Волновое уравнение, моды» и «Теория связанных мод для сонаправленных волн»

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 использовать специализированные знания в области волоконной компонент и волоконных лазеров в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все

компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение итоговой аттестации.

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 теоретические основы волоконной оптики, технику волоконно-оптического эксперимента и основы базовых технологий, основные физические процессы, связанные с распространением света в волоконных световодах, как линейные, так и нелинейные.	Проведение контрольных работ, экзамен.
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 объяснить принципы работы основных волоконно-оптических устройств. Владеть выводом и решением волнового уравнения, понятием моды световода, потерь, дисперсией и нелинейностью, теорией связанных мод, описанием взаимодействия мод в волоконных ответвителях и брэгговских решётках.	Проведение контрольных работ, экзамен.

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

Таблица 10.2

Критерии и оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
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/ незначительных 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

Примеры задач для самостоятельного решения

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. Оценить изгибные потери на катушке из 10 витков диаметром 1 см для световода SMF-28.

Контрольная работа №1

1. 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.
2. 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.
3. Найти максимальную скорость передачи сигнала по многомодовому световоду со ступенчатым профилем показателя преломления числовой апертурой $NA = 0,25$ длиной 1 км.
4. Найти разность плеч волоконного интерферометра Маха-Цандера, необходимую для селекции длин волн излучения с разницей частот 10 ГГц в области 1,5 мкм.
5. Оценить потери при соединении двух световодов SMF-28 разъемным соединением с поперечным смещением оси световода на 1 мкм.

Контрольная работа №2

1. 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.

2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

Вопросы на экзамен

Тема 2. Устройство волоконного световода, распространение света

1. Устройство волоконного световода: сердцевина, оболочка, пластиковая оболочка.
2. Описание распространения света в рамках геометрической оптики. Полное внутреннее отражение. Числовая апертура.
3. Оптические потери в световодах (поглощение, рассеяние). Их спектральная зависимость. Характерные значения.

Тема 3. Дисперсия и нелинейность, типы волоконных световодов

1. Дисперсия групповых скоростей (материальная, волноводная). Характерные значения и зависимость от длины волны. Область нормальной и аномальной дисперсии.
2. Волокна со ступенчатым профилем показателем преломления. Одномодовые и многомодовые волокна. Межмодовая дисперсия.
3. Градиентные световоды: уравнение распространения, решение. Компенсация межмодовой дисперсии.
4. Нелинейность. Выражение $n(I)$, нелинейная восприимчивость разных порядков. Типы нелинейностей в световодах.
5. Специальные одномодовые волокна. Волокна со сглаженной и сдвинутой дисперсией. Волокна с высокой и низкой нелинейностью. Структурированные волокна.
6. Нелинейность, волокна с высокой и низкой нелинейностью.

Тема 4. Волновое уравнение, моды

1. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение.
2. Характеристическое уравнение, моды сердцевины. Поле в оболочке, сшивка.
3. Направляемые моды, моды утечки.
4. Длина волны отсечки. Оценка для стандартного телекоммуникационного волокна. Параметр V . Количество мод.
5. Свойства одномодовых волокон. Распределение поля моды. Гауссова аппроксимация поля моды. Радиус поля моды. Эффективная площадь моды.
6. Поляризационные моды одномодового волокна. Двулучепреломление в волокне, длина биений. Дисперсия поляризационных мод. Световоды, сохраняющие поляризацию.

Тема 5. Теория связанных мод для сонаправленных волн

1. Уравнения связанных мод для сонаправленных волн. Принцип работы волоконного ответвителя, направленного ответвителя. Спектрально-селективные ответвители.
2. Интерферометр Саньяка. Интерферометр Маха-Цандера.

Тема 6. Волоконные компоненты

1. Принципы работы волоконного изолятора и циркулятора.
2. Волоконный контроллер поляризации.

Тема 7, 8. Уравнения связанных мод для брэгговской решетки. Волоконные брэгговские решетки

1. Одномерная решетка. Формула для брэгговской длины волны (вывод).
2. Уравнения связанных мод для ВБР. Т-матрица.
3. Характеристики однородной (прямоугольной) волоконной брэгговской решетки (ВБР).

Тема 6. Волоконные компоненты

1. Соединение волокон. Согласование мод, формулы для потерь на стыке.
2. Волоконные разъемы. Устройство коннектора FC/PC. Характерные потери.

Тема 9, 10. Методы записи ВБР. Основные типы ВБР и их применения

1. Типы фоточувствительности волокон: 0, I, IIa, II.
2. Методы записи ВБР, их достоинства и недостатки.
3. Причины формирования боковых резонансов ВБР, оценка их ширины, способы подавления.
4. Типы ВБР, их характеристики и применения.
5. Каковы преимущества волоконных лазеров перед другими? Недостатки?

Тема 11. Принципы построения волоконных лазеров

1. Схема и принципы работы волоконного лазера.
2. Зеркала волоконного лазера, основные схемы резонатора (линейный, кольцевой).
3. Способы накачки волоконных лазеров. Одномодовые ЛД и WDM ответвители. Световедущая оболочка, накачка в оболочку. Объединители накачки.

Тема 12-15. Модель волоконных лазеров. Типы волоконных лазеров. Одночастотные лазеры

1. Уровни энергии и переходы в Yb, Er.
2. Насыщение усиления волоконного лазера. Модель генерации ВЛ.
3. Волоконный лазер с модуляцией добротности (устройство и принцип действия).
4. Волоконный лазер с распределенной обратной связью (устройство и принцип действия).

Пример экзаменационного билета

1. Теоретический вопрос: Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Характеристическое уравнение, моды сердцевины. Поле в оболочке, сшивка.
2. Задача: 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.

Оценочные материалы по итоговой 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 «Волоконная оптика 1»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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