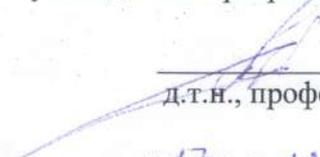


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


В.П. Первадчук
д.т.н., профессор кафедры ПМ

« 17 » « МАЯ » 202 2 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Волоконная оптика»

Научная специальность	2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Прикладная математика (ПМ) Общая физика (ОФ)
Форма обучения	Очная
Курс: 3	Семестр (ы): 5
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 5
	Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Волоконная оптика» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области волоконной оптики.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Волоконная оптика» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче зачета по специальности 2.2.6. – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- Физические принципы распространения оптического излучения по веществу;
- Физические принципы распространения волн оптического излучения по веществу, нелинейные оптические эффекты, методы их анализа и оценки;
- Физические принципы волноводной и волоконной оптики;
- Методы физических исследований с использованием оптического излучения.

Уметь:

- формулировать цели и задачи научных исследований;
- выбирать методику и средства проведения научных исследований;
- рассчитывать влияние нелинейных оптических эффектов на распространение и генерацию света.

Владеть:

- навыком отыскания необходимых данных среди мировых информационных ресурсов;
- ключевыми навыками экспериментальной работы с оптическим волокном, объемными элементами, источниками и приёмниками оптического излучения, анализаторами оптических и электрических сигналов и их спектров.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
1	Аудиторная работа	17
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	6
	Самостоятельная работа (СР)	55
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. «Основы оптики»

(Л – 1, ПР - 1, СР – 10)

Тема 1. Геометрическая оптика. Коллимирование. Фокусировка. Согласование апертур. Принцип Ферма. Условия получения идеального изображения. Оптика параксиальных лучей.

Тема 2. Физическая оптика. Поляризация. Интерференция. Когерентность. Многолучевая интерференция. Дифракция. Разрешающая способность. Голография. Изменение диаграмм направленности.

Раздел 2. «Нелинейная оптика»

(Л – 1, ПР - 1, СР – 12)

Тема 3. Нелинейные эффекты 2-го порядка. Удвоение частоты, генерация суммарной и разностной частот, параметрическое усиление.

Тема 4. Нелинейные эффекты 3-го порядка. Эффект Керра, самофокусировка, фазовая самомодуляция, перекрестная фазовая модуляция и четырёхволновое смешивание. Спонтанное и вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние. Спонтанное и вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна.

Тема 5. Другие эффекты, влияющие на оптические явления. Насыщение усиления в лазерах и усилителях. Нелинейные потери в насыщаемом поглотителе, фоторефрактивные эффекты, возникновение тепловых линз, тепловая расстройка оптических резонаторов.

Раздел 3. «Волноводная оптика»

(Л – 1, ПР - 2, СР – 12)

Тема 6. Оптика волноводов. Планарные зеркальные волноводы, планарные диэлектрические волноводы. Волноводные моды. Распределения полей. Дисперсионные соотношения и групповые скорости. Двумерные волноводы, фотонно-кристаллические волноводы, оптическая связь в волноводах, устройства ввода, связанные волноводы, периодические волноводы, металлические волноводы с размерами меньше длины волны (плазмоники).

Раздел 4. «Волоконная оптика»

(Л – 2, ПР - 2, СР – 14)

Тема 7. Оптика волоконных световодов. Направляемые лучи. Волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Градиентные волокна. Направляемые волны. Одномодовые волокна. Квазиплоские волны в волокнах со ступенчатым и

градиентным профилем показателя преломления. Затухание, дисперсия. Волоконные световоды с двойным лучепреломлением. Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.

Тема. 8. Волоконно-оптические компоненты для волоконных датчиков и лазеров. Волоконные световоды для волоконно-оптических датчиков. Оптические изоляторы, циркуляторы. Волоконно-оптические поляризационные контроллеры. Волоконно-оптические ответвители. Спектральные ответвители. Зеркало Саньяка, объединители накачки. Брегговские решетки. Волоконные интерферометры.

Тема. 9. Распределенные волоконно-оптические датчики (ВОД). Распределенные амплитудные ВОД. Сосредоточенные и распределенные поляризационные ВОД. Распределенные интерференционные ВОД, ВОД низкокогерентной интерферометрии, датчики на волоконных брегговских решетках. Нелинейно-оптические ВОД. Источники шумов в измерительных системах. ВОД в распределенных системах.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Коллимирование. Фокусировка. Согласование апертур	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Поляризация. Интерференция. Когерентность. Многолучевая интерференция. Дифракция. Разрешающая способность. Голография	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	3	Нелинейные эффекты 2-го порядка. Удвоение частоты	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	4	Эффект Керра, самофокусировка, фазовая самомодуляция, перекрестная фазовая модуляция и четырёхволновое смешивание	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	5	Насыщение усиления в лазерах и усилителях. Нелинейные потери в насыщаемом поглотителе	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	6	Расчет планарного диэлектрического волновода с заданными свойствами	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
7	7	Расчет профиля показателя преломления оптического	Собеседование. Творческое	Вопросы по темам / разделам

		волокна для получения заданных свойств (затухание, изгибное затухание, дисперсия, длина волны отсечки, порог нелинейных эффектов, и др.)	задание.	дисциплины. Темы творческих заданий.
8	8	Расчет параметров записи брегговской решетки для получения заданных характеристик спектра отражения	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
9	9	Подбор параметров компонентов распределенного амплитудного ВОД для достижения заданной точности. Подбор параметров компонентов распределенного интерференционного ВОД для достижения заданной точности	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Принцип Ферма. Условия получения идеального изображения	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Изменение диаграмм направленности	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	3	Генерация суммарной и разностной частот, параметрическое усиление	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	4	Спонтанное и вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние. Спонтанное и вынужденное рассеяние Манделъштама – Бриллюэна	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	5	Фоторефрактивные эффекты, возникновение тепловых линз, тепловая расстройка оптических резонаторов	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
6	6	Фотонно-кристаллические волноводы, оптическая связь в волноводах, устройства ввода, связанные волноводы, периодические волноводы, металлические волноводы с	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

		размерами меньше длины волны (плазмоника).		
7	7	Волоконные световоды с двойным лучепреломлением. Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
8	8	Волоконно-оптические ответвители. Спектральные ответвители. Зеркало Саньяка, объединители накачки. Бреговские решетки. Волоконные интерферометры.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
9	9	ВОД низкокогерентной интерферометрии, датчики на волоконных бреговских решетках. Нелинейно-оптические ВОД. Источники шумов в измерительных системах.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Волоконная оптика» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	<i>Салех Б. Е. А., Тейх М. К. Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие в 2 т. пер. с англ. Долгопрудный : Интеллект, 2012.</i>	12
2	<i>Кульчин Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. Москва : Физматлит, 2001. 272 с.</i>	3
3	<i>Иванов Г. А., Первадчук В. П. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон : учебное пособие. Пермь : ПНИПУ, 2011. 171 с.</i>	10 +ЭБ
2 Дополнительная литература		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	<i>Желтиков А. М. Микроструктурированные световоды в оптических технологиях / А. М. Желтиков .— М. : Физматлит, 2009 .— 191 с.</i>	1
2	<i>Волоконно-оптические системы передачи : учебник для вузов / М. М. Бутусов [и др.] .— Москва : Радио и связь, 1992 .— 415 с.</i>	28
3	<i>Кычкин И. С. Основы волновой и квантовой оптики : учебное пособие для вузов / И. С. Кычкин, И. И. Суздалов .— Москва : Высш. шк., 2005 .— 316 с.</i>	3
4	<i>Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков .— М. : ЛЕСАРарт, 2003 .— 288 с</i>	3
2.2 Периодические издания		
1	<i>Квантовая электроника : журнал / Российская академия наук; Физический институт им. П. Н. Лебедева ; Институт общей физики им. А.М. Прохорова; Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет); Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Международный учебно-научный лазерный центр; Астрофизика; Научно-исследовательский институт лазерной физики; Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт лазерной физики; Научно-исследовательский институт "Полюс" им. М. Ф. Стельмаха. - Москва: Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева РАН, 1971 - .</i>	
2	<i>Оптика и спектроскопия : журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1956</i>	
3	<i>Оптический журнал : научно-технический журнал / Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; Оптическое общество им. Д.С. Рождественского. - Санкт-Петербург: ГОИ им. С.И. Вавилова, 1931 - .</i>	
4	<i>Прикладная фотоника : журнал / Пермский национальный исследовательский университет. – Пермь: Издательство ПНИПУ, 2014</i>	
2.3 Нормативно-технические издания		
1	<i>не предусмотрены</i>	
2.4 Официальные издания		
1	<i>не предусмотрены</i>	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманит., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

6.2.2 Открытые интернет-ресурсы

1. Лазерный Портал - <http://laser-portal.ru/>

2. Энциклопедия физики и техники - <http://femto.com.ua/>

3. The Encyclopedia of Laser Physics and Technology – <https://www.rp-photonics.com/>

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютер в комплекте (системный блок Core i3, монитор Acer S236HL, клавиатура Logitech, мышь Logitech) 12 шт.	12	Собственность	№ 322 корп. А гл.
2	Мультимедиа-проектор Mitsubishi XD280U, XGA,3000ANSI.	1	Собственность	№ 322 корп. А гл.
3	Интерактивная доска SMARTBoard 680;	1	Собственность	№ 322 корп. А гл.

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течении одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

- **Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

- **Шкала оценивания результатов обучения при зачете:**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в табл. 4.

Таблица 4

Шкала оценивания результатов освоения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
Зачтено	Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.
	Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.

Оценка	Критерии оценивания
<i>Незачтено</i>	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи зачета по научной специальности 2.2.6. «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Провести обзор литературы и выявить основные тенденции по теме телекоммуникационные оптические волокна
2. Расчет конфигурации планарного диэлектрические волновода с заданными свойствами
3. Расчет профиля показателя преломления оптического волокна для получения заданных свойств (затухание, изгибное затухание, дисперсия, длина волны отсечки, порог нелинейных эффектов, и др.)

Типовые контрольные вопросы для оценивания знаний на **зачете** по дисциплине:

1. Дифракция. Разрешающая способность
2. Нелинейные потери в насыщаемом поглотителе, фоторефрактивные эффекты
3. «Пропадающие моды» в планарных волноводах
4. Волоконно-оптические ответвители. Спектральные ответвители

Типовые контрольные задания для оценивания приобретенных умений и владений на **зачете** по дисциплине:

1. Расчет системы фокусировки
2. Расчет свойств (затухание, изгибное затухание, дисперсия, длина волны отсечки, порог нелинейных эффектов, и др.) оптического волокна профиля для заданных профиля показателя преломления
3. Расчет модового состава заданного планарного диэлектрического волновода

Полный комплект вопросов и заданий для сдачи зачета в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ПМ».

Программа

Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Кафедра

Прикладная математика

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

«Волоконная оптика»

БИЛЕТ № 1

1. Дифракция. Разрешающая способность.
2. Расчет системы фокусировки для достижения максимальной передачи интенсивности от источника к приемнику в системе:
 - источник - бытовая лампочка накаливания 60 Вт, диаметр колбы 5 см, температура нити накала 2500 *С;
 - приемник – оптическое волокно SMF-28, диаметр сердцевины 8,2 мкм, числовая апертура 0,14 (на длине волны 1,31 мкм) (контроль умений).

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

Первадчук В.П.

«___» _____ 202_ ___ г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		