

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИОФ РАН

С.В.Тарнов

2023 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология производства оптического волокна

Специальность	1.3.19 (01.04.21) Лазерная физика 1.3.8 (01.04.07) Физика конденсированного состояния
---------------	--

Семестр	Трудо- емкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В интерактивном режиме, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/К П
1	1	36	18	0	0	0	18	0	3
Итого	1	36	18	0	0	0	18	0	3

## АННОТАЦИЯ

Курс «Технология производства оптического волокна» разработан для формирования у обучающихся четких представлений о фундаментальных основах удержания света в структуре волоконного световода, волноводных характеристиках и свойствах, исконно присущих волоконным конструкциям. Кроме того, курс направлен на получение знаний об основных методиках реализации волоконных структур, типах волноведущих конструкций, а также развитию современных представлений о применении волоконных световодов для создания лазерных схем, необходимых для решения практически значимых задач. Дисциплина «Технологии волоконных световодов» является дополнительной для успешного освоения обучающимися курса по профилю подготовки «Лазерная физика». Знание основ распространения и генерации излучения в волоконных световодах, а также знание основных методов волоконной оптики необходимо для формирования фундаментальных представлений о происходящих физических процессах и для последующего использования теоретических знаний в прикладных задачах, связанных с лазерами и их применениями в науке и технологии.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель данного курса лекций заключается в изучении механизмов распространения света в существующих на данный момент времени волоконных световодах, их важнейших характеристик, физико-химических основ изготовления волоконных световодов, в том

числе изготовления активных световодов, предназначенных для создания источников лазерного излучения.

В результате изучения дисциплины обучаемые должны знать принцип работы стандартных и специальных световодов, а также устройств на их основе, материалы, используемые для изготовления световодов, и механизмы оптических потерь в них, методы изготовления различных типов световодов от пионерских до современных, а также методики измерения основных параметров световодов.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Содержание программы курса «Технология производства оптического волокна» является дисциплиной для освоения студентами-магистрами, а также аспирантами 1-2 года обучения. Курс позволяет сформировать у обучающихся качественное представление о роли волоконной оптики в современном мире, а также дает базовое знание о наиболее продвинутых методах реализации волоконных структур и лазерных схем на их основе. Курс рассчитан на развитие и углубление полученных ранее знаний в области физики. В рамках курса используются понятия, отвечающие знаниям, полученным при изучении дисциплин бакалавриата.

Курс «Технология производства оптического волокна» входит в число факультативных при подготовке современных специалистов в области лазерной физики и физики конденсированного состояния.

Для освоения данной дисциплины необходимо знание общих курсов физики, химии и физики конденсированного состояния. Данный курс является основой для осознанного использования полученных знаний магистрами и аспирантами при выполнении квалификационных работ и диссертационных исследований по волоконной оптике.

## 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные (УК) и (или) общепрофессиональные компетенции (ОПК):

Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в научной и инженерной деятельности, связанной с лазерной физикой и физикой конденсированного состояния, проектированием и технологиями производства элементов лазерной техники.	<p>З-ОПК-1–Знать: основные законы научных и инженерных дисциплин и методы математического анализа.</p> <p>У-ОПК-1–Уметь: выявлять сущность научной проблемы; формулировать цели и задачи исследования, определять пути решения, давать оценку эффективности выбора.</p> <p>В-ОПК-1–Владеть: современными методами, способами и приемами теоретических и экспериментальных исследований для решения научных, физических и общих математических задач.</p>



ОПК-2–Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики изучаемой системы и поставленной задачи.	<p>З-ОПК-2 –Знать: особенности методов и средств исследований и проведения измерений, необходимых для решения поставленной задачи.</p> <p>У-ОПК-2 –Уметь: формулировать цель и задачу исследований; использовать профессионально-профилированные знания в решении поставленной задачи; подбирать оборудование и комплектующие, необходимые для проведения исследований; разрабатывать методику исследований; обрабатывать и анализировать результаты исследований.</p> <p>В-ОПК-2 –Владеть: навыками исследований и необходимых измерений; основными методами и программами обработки и оформления полученных результатов.</p>
УК-1–Способен осуществлять анализ различных ситуаций, основываясь на системном подходе, разрабатывать стратегию действий.	<p>З-УК-1–Знать: методы системного анализа и оценки современных достижений в выбранной области исследований, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и научных задач в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У-УК-1 –Уметь: применять методы системного подхода, анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач; разрабатывать стратегию действий, принимать решения для реализации и оценивать потенциальные варианты реализации той или иной стратегии.</p> <p>В-УК-1 –Владеть: методологией системного анализа различных ситуаций, возникающих в ходе исследований; методиками постановки цели, определения способов их достижения, и разработки стратегий действий.</p>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>4 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-6					
	Контрольные мероприятия за 4 Семестр				100	3 (6)	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1,

							З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№	Наименование мероприятия	Начало	Завершение	Полных месяцев
1	Сбор данных, разработка курса «Технология производства оптического волокна»	Январь	Февраль	2
2	Согласование курса «Технология производства оптического волокна» с отделом аспирантуры ИОФ РАН	Март	Март	1
3	Чтение пилотного курса лекций «Технология производства оптического волокна» для аспирантов 2 года обучения по специальности 1.3.19 (01.04.21) «Лазерная физика» и 1.3.8 (01.04.07) «Физика конденсированного состояния»	Апрель	Июнь	3
4	Проведение добровольных контрольных мероприятий по курсу «Технология производства оптического волокна»	Июнь	Июнь	1
Итого				6

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видеоматериалы
Прз	Презентации
ЭСМ	Электронные справочные материалы

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторские занятия в виде лекций, а также самостоятельная работа аспирантов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала и подготовке личных докладов по пройденным темам.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие
ОПК-1	З-ОПК-1	3
	У-ОПК-1	3
	В-ОПК-1	3
ОПК-2	З-ОПК-2	3
	У-ОПК-2	3
	В-ОПК-2	3
УК-1	З-УК-1	3
	У-УК-1	3
	В-УК-1	3

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных аспирантом при выполнении заданий в рамках текущего контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 2-х балльной шкале	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
60-100	«зачет»	Оценка «зачет» выставляется аспиранту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
Ниже 60	«незачет»	Оценка «незачет» выставляется аспиранту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные



		ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится аспирантам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	---

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. P.C. Becker, N.A. Olsson, J.R. Simpson, Erbium-Doped Fiber Amplifiers Fundamentals and Technology, A volume in Optics and Photonics, Academic Press, 1999
2. Vartan V. Ter-Mikirtychev, Fundamentals of Fiber Lasers and Fiber Amplifiers, Springer Series in Optical Sciences, Volume 181, 2019
3. В.Д.Бурков, Г.А.Иванов, Физико-технологические основы волоконно-оптической техники, Москва, Издательство Московского государственного университета леса, 2007
4. А. С. Курков, Волоконные лазеры: принципы построения и основные свойства: учебно-методическое пособие – 3-е изд. – Ульяновск : УлГУ, 2021
5. Снайдер А., Лав. Дж., Теория оптических волноводов,
6. А.Н. Гурьянов, А.С. Раевский, Физические и физико-химические основы получения волоконных световодов: Учебное пособие; ННГУ. Нижний Новгород, 2010.
7. Michel J. F. Digonnet, Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifiers Second Edition, 2001
8. Govind P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, Elsevier, 2019
9. E. Desurvire, Erbium doped Fiber Amplifiers, Principles and Applications, 1993
10. Принципы лазеров: О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
11. В.Г. Воронин, О.Е.Наний, А.Н. Туркин, В.И. Хлыстов, В.А. Камынин, Интегральные потери в элементах волоконно-оптических линий связи./– М.: 2012.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Оптика, А.Н. Матвеев, М.: Высш.школа, 1985
2. Оптика: Учеб.пособие для вузов, Г. С. Ландсберг, М.: Физматлит, 2003
3. Оптика: Учеб.пособие для вузов, Ландсберг Г.С., М.: Наука, 1976

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АСПИРАНТОВ**

- По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть общим либо индивидуальным.
- При использовании индивидуальных заданий возможно по усмотрению преподавателя требовать от магистра/аспиранта письменный отчет о проделанной работе. С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы применять индивидуальные контрольные вопросы.
- При проверке общих заданий ведутся коллективные обсуждения с магистрами/аспирантами.
- При составлении программы учебной дисциплины «Технология производства оптического волокна» предполагалось, что магистр/аспирант знаком с содержанием основных разделов курсов высшей математики, общей физики и общей химии.
- В результате освоения данной дисциплины магистр/аспирант должен получить представление о современном состоянии волоконной оптики, лазерной физики, передовых достижениях современной науки и технологии, свойствах лазерного излучения, методах анализа.
- В результате освоения данной дисциплины магистр/аспирант должен понимать границы применимости различных теорий и экспериментальных методов, освещающихся в рамках курса, и представлять возможности их использования в реальных условиях, при конкретных практических постановках задач.
- Знания, приобретенные аспирантом при освоении данной дисциплины, необходимы для успешного обучения и сдачи экзамена по специальности.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Методические указания преподавателю для проведения занятий по курсу «Технология производства оптического волокна»

- На первой лекции необходимо сделать по возможности наиболее детальный обзор содержания курса, показать актуальность курса и дать перечень рекомендованной литературы.
- При чтении лекций необходимо использовать единую систему обозначений.
- При последовательном освещении каждой темы перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных результатах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и при необходимости обсудить их коллективно.
- Внимательно относиться к вопросам аспирантов, при необходимости давать дополнительные подробные пояснения и проводить обсуждения по задаваемым вопросам (здесь возможен выборочный контроль активности аспирантов).
- При чтении лекций наибольшее внимание следует уделять связи и взаимной последовательности основных рассматриваемых теорий. У аспирантов должны сложиться

правильные представления о практических сторонах рассматриваемого материала, о существующих ограничениях применимости рассматриваемых результатов.

- При чтении лекций необходимо по возможности пользоваться демонстрационным материалом.

- Перед окончанием лекции необходимо давать рекомендации аспирантам для подготовки к очередным занятиям.

- На заключительной лекции курса уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе, отметить общность методов информационной оптики и их индивидуальные особенности, возникающие при решении различных конкретных задач.

Указания по контролю самостоятельной работы аспирантов:

- По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть общим либо индивидуальным.

- При использовании индивидуальных заданий возможно по усмотрению преподавателя требовать от аспиранта письменный отчет о проделанной работе. С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы применять индивидуальные контрольные вопросы.

- При проверке общих заданий следует вести коллективные обсуждения с аспирантами.

Автор(ы):

Лихачев Михаил Евгеньевич, к.ф.-м.н., доцент аспирантуры	
Семенов Сергей Львович, д.ф.-м.н., доцент аспирантуры	



## **Содержание курса «Технология производства оптического волокна»**

1. Вводное слово. Программа курса. История становления волоконной оптики, ее роль в современном мире. Теоретические основы распространения света в волоконных световодах. Основные характеристики волоконных световодов. Механизмы оптических потерь в волоконных световодах. Методики измерения оптических характеристик световодов.
2. Материалы для изготовления волоконных световодов, работающих в ИК-области спектра. Типы стекол, используемых в волоконных лазерах и усилителях: кварцевые стекла, фосфатные стекла, теллуридные стекла, флюоридные стекла и стекла ZBLAN. Пассивные волоконные световоды.
3. Методы изготовления волоконных световодов на основе многокомпонентных стекол. Методы изготовления заготовок световодов на основе высокочистого кварцевого стекла, основанные на химическом осаждении из газовой фазы (OVD, VAD, MCVD, PCVD).
4. Активные волоконные световоды. Спектроскопические свойства элементов, используемых в качестве активной легирующей добавки волоконных световодов (Er, Yb, Tm, Nd, Ho, Bi). Оптические свойства волоконных световодов на основе кварцевого стекла, легированного активной добавкой. Явление усиления света за счет вынужденного излучения. Принцип работы волоконных усилителей и лазеров. Световоды с одной и двумя отражающими оболочками, кварц-кварцевые световоды, кварц-полимерные световоды, световоды с воздушной оболочкой (JAC). Методы изготовления заготовок активных волоконных световодов.
5. Вытяжка волоконных световодов.
6. Специальные волоконные световоды. Полые волоконные световоды, световоды с увеличенным размером сердцевины, поляризационно-чувствительные световоды, многосердцевинные световоды, световоды в металлическом покрытии. Методы реализации специальных волоконных световодов.
7. Применение волоконных лазеров. Телекоммуникационные системы, LIDAR, применение в медицине, обработка материалов