

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	3	108	7	23	0		42	0	Э
Итого	3	108	7	23	0	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

Цель освоения учебной дисциплины Волоконные лазеры - ознакомить студентов с основными физическими идеями и методами лазерной физики и волоконной оптики, изложить общие подходы при описании радиофизических и оптических явлений, конкретные решения и предельно достижимые характеристики волоконных лазеров.

В курсе излагаются вопросы создания, исследования и применения волоконных лазеров. Рассмотрены свойства волоконных световодов, легированных ионами ряда редкоземельных элементов, способы изготовления световодов с двойной оболочкой, а также методы формирования и свойства внутриволоконных брэгговских решеток, используемых в качестве селективных отражателей. Приведены основные схемы накачки лазеров на основе активных световодов, активированных ионами неодима, иттербия, эрбия, тулия и гольмия. Рассмотрены принципы построения ВКР-конвертеров лазерного излучения на основе волоконных световодов различного состава.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Волоконные лазеры» является формирование у магистрантов навыков необходимых для успешной научной и профессиональной деятельности в различных областях лазерной физики и волоконной оптики, а также овладение математическим аппаратом, применяемым для постановки и аналитического решения физических задач в области волоконных лазеров.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими разделами лазерной физики: взаимодействие лазерного излучения, процессы накачки, оптические резонаторы, непрерывный и импульсный режимы работы лазеров, свойства лазерных пучков.

Освоение данной дисциплины необходимо для овладения теоретической базой и экспериментальными методами применения волоконных лазеров для решения современных проблем лазерной технологии – от разработки теоретических основ до формирования практических рекомендаций по эффективному использованию лазерного излучения, а также созданию новых технологических процессов лазерной обработки.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий;</p> <p>построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий;</p> <p>разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов;</p> <p>оптических информационных технологий;</p> <p>разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения;</p> <p>процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения;</p> <p>элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения;</p> <p>математические модели объектов исследования;</p> <p>методы лазерно-физических измерений</p>	<p>ПК-1.1 [1] - способен разрабатывать новые методы лазерной диагностики сред и объектов, лазерные медицинские технологии и технологии обработки материалов;</p> <p>оптические информационные технологии</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>3-ПК-1.1[1] - Знать: современные методы и физические принципы, лежащие в основе лазерной диагностики сред и объектов, лазерных технологий;</p> <p>У-ПК-1.1[1] - Уметь: применять знания о методах лазерной диагностики, лазерных технологиях в профессиональной деятельности;</p> <p>В-ПК-1.1[1] - Владеть: навыками решения задач, связанных с разработкой новых методов лазерной диагностики, новых лазерных технологий</p>

<p>проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерной физики, техники и лазерных технологий на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерных технологий; разработка методов лазерной диагностики сред и объектов, лазерных медицинских технологий и технологий обработки материалов;</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; элементная база лазерной техники, технологий и систем управления и транспорта лазерного излучения; математические модели объектов исследования; методы лазерно-физических измерений</p>	<p>ПК-1.4 [1] - способен ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1.4[1] - Знать: основные методы экспериментальных исследований с применением лазеров, методы сбора и обработки данных; У-ПК-1.4[1] - Уметь: ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области взаимодействия излучения с веществом, лазерной диагностики и лазерных технологий; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных; В-ПК-1.4[1] - Владеть: навыками проведения экспериментальных исследований в области лазерной физики и лазерных технологий, применения современных средств измерений</p>

<p>оптических информационных технологий; разработка лазерных приборов и технологических систем различного назначения</p> <p>проведение оптических, фотометрических, электрических измерений с выбором технических средств и обработкой результатов;</p> <p>оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями</p>			
---	--	--	--

проектно-конструкторский

<p>анализ состояния научно технической проблемы, составление технического задания; постановка цели и задач проектирования лазерной техники и лазерных технологий на основе подбора и изучения литературных и патентных источников; разработка функциональных и структурных схем лазерной техники и лазерных технологий с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и</p>	<p>Лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного излучения</p>	<p>ПК-1.5 [1] - способен ставить задачи по проектированию лазеров и оптических систем для инновационных применений в технологии, диагностике и научных исследованиях; использовать инновационные лазерные разработки в технологии, диагностике сред и для оптических измерений, владеть лазерными методами обработки материалов;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-1.5[1] - Знать: современный уровень развития лазерной техники и лазерных технологий; У-ПК-1.5[1] - Уметь: ставить задачи по проектированию лазеров и оптических систем для применений в технологии, диагностике и научных исследованиях; использовать инновационные лазерные разработки в технологии, диагностике сред и для оптических измерений,; В-ПК-1.5[1] - Владеть: лазерными методами обработки материалов, навыками</p>
--	---	---	--

элементы; проектирование и конструирование лазерных приборов, систем, комплексов и технологий с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономического обоснования.			проектирования лазерных систем, применения лазеров в технологии, для диагностики сред и оптических измерений,
--	--	--	---

производственно-технологический			
проектирование, разработка и внедрение лазерных технологических процессов и процессов контроля качества приборов, систем и элементов лазерных комплексов; руководство работами по доводке и освоению техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов; руководство монтажом, наладкой, испытаниями и сдачей в эксплуатацию опытных образцов лазерных комплексов	Лазерные технологии, использующие взаимодействие электромагнитного излучения с веществом в т.ч. медицинские, микро- и нанотехнологии; технологии производства элементов лазерной техники, материалов и приборов	ПК-7 [1] - способен руководить работами по доводке и освоению лазерных технологий и техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.037	З-ПК-7[1] - Знать: элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники; оптические материалы и технологии, в т.ч. для лазерной техники; основы и принципы оптических измерений; основные лазерные технологии ; У-ПК-7[1] - Уметь: рассчитывать параметры и характеристики лазерных приборов и систем; выбирать элементы лазерных приборов и систем; выбирать контрольно-измерительную аппаратуру; обосновывать предлагаемые технические решения. ; В-ПК-7[1] - Владеть: методами лазерных измерений; методами работы с научно-технической литературой и информацией.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма *, неделя)	Максимальный балл за раздел* *	Аттестация раздела (форма *, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>2 Семестр</i>							
1	Часть 1	1-8	4/12/0		25	T-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Часть 2	9-15	3/11/0		25	T-15	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
<i>Итого за 2 Семестр</i>							
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

* – 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
Т	Тестирование
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	7	23	0
1-8	Часть 1	4	12	0
1 - 3	Введение. Волоконная оптика. Волоконные световоды и устройства на их основе. Твердотельные лазеры. Вспомогательное излучение накачки в системах со многими уровнями энергии. Безизлучательная релаксация в твердом теле. Колебательный спектр матрицы. Примеры ионов неодима, иттербия, эрбия. Ион-ион взаимодействие. Выбор оптимальной концентрации. Рубиновый и неодимовый лазеры.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	5 0 0	0
4 - 5	Непрерывные волоконные лазеры средней мощности. Элементы волоконного лазера. Активные добавки волоконных световодов. Активные волоконные световоды. Схемы накачки активных световодов. Особенности волоконных световодов как усилительной среды. Волоконные брэгговские решетки. Длиннопериодные волоконные решетки. Методы изготовления решеток показателя преломления. УФ источники для записи решеток. Применение волоконных брэгговских решеток.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	3 0 0	0
6	Характеристики волоконных лазеров. Лазеры на основе световодов, легированных ионами Nd ³⁺ , Yb ³⁺ , Er ³⁺ , Ho ³⁺ . Мощные волоконные лазеры. Конструкция и технические характеристики.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0 0	0
7 - 8	Методы нелинейной оптики. Генерация гармоник. Вынужденное комбинационное рассеяние. Волоконные лазеры видимого диапазона. Построение волоконных ВКР-лазеров. Однокаскадные ВКР-лазеры. Многокаскадные ВКР-лазеры. Составные ВКР-лазеры. Импульсные волоконные лазеры.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	3 0 0	0
9-15	Часть 2	3	11	0
9	Волоконные усилители. Усилители оптических сигналов в ВОЛС. Оптические усилители, использующие нелинейные явления в оптических волокнах.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0 0	0
10	Физические процессы при взаимодействии лазерного излучения с материалами. Энергетические условия взаимодействия лазерного излучения при обработке материалов. Плазменные	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0 0	0

	процессы при лазерной обработке. Термические процессы при лазерном воздействии.			
11	Элементы лазерных технологий. Лазерная сварка. Лазерная резка и сверление материалов. Лазерное легирование материалов. Лазерная маркировка и гравировка.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 15	Применение волоконных лазеров. Лазерное оборудование для обработки материалов. Волоконные лазеры для обработки материалов. Медицинские аппараты на основе волоконных лазеров. Фемтосекундный спектрометрический комплекс на основе волоконного лазера. Волоконно-оптические линии связи. Волоконные лазеры для ВОЛС. Волоконные лазеры для перспективных направлений лазерной обработки материалов.	Всего аудиторных часов		
		0	8	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций, а также современные компьютерные технологии и самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала.

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 (КП 1)
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, Т-8, Т-15
	У-ПК-1.1	Э, Т-8, Т-15
	В-ПК-1.1	Э, Т-8, Т-15
ПК-1.4	З-ПК-1.4	Э, Т-8, Т-15

	У-ПК-1.4	Э, Т-8, Т-15
	В-ПК-1.4	Э, Т-8, Т-15
ПК-1.5	З-ПК-1.5	Э, Т-8, Т-15
	У-ПК-1.5	Э, Т-8, Т-15
ПК-7	В-ПК-1.5	Э, Т-8, Т-15
	З-ПК-7	Э, Т-8, Т-15
	У-ПК-7	Э, Т-8, Т-15
	В-ПК-7	Э, Т-8, Т-15

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 студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 73 Волоконные технологические лазеры и их применение : учебное пособие, Голубенко Ю. В., Богданов А. В., Санкт-Петербург: Лань, 2021
2. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие, Киселев Г. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : учебное пособие, Ивакин С. В., Борейшо А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2021
4. 537 3-43 Принципы лазеров : , Звелто О., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.7 Ш65 Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий : , Шишковский И.В., Москва: Физматлит, 2009

2. 535 Ш47 Принципы нелинейной оптики : , Шен И.Р., М.: Наука, 1989

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса «Волоконные лазеры» необходимо твердо усвоить основные положения волоконной оптики, конструкции волоконных световодов и устройств на их основе, отличия волоконных лазеров от других типов лазеров, основные элементы волоконного лазера, активные добавки волоконных световодов. При анализе генерационных характеристик волоконных лазеров, использующих различные активные добавки нужно хорошо разбираться в различных схемах накачки активных световодов и особенностях волоконных световодов как усилительной среды.

При анализе элементов волоконного лазера особое внимание необходимо обратить на методы формирования волоконных брэгговских решеток, на их основные характеристики и

способы их стабилизации, а также источники УФ-излучения, используемые при их изготовлении.

При изучении характеристик волоконных лазеров, использующих различные активные добавки, особое внимание следует обратить на лазеры на основе световодов, легированных ионами Yb³⁺ и Er³⁺.

Рассматривая материалы, относящиеся к мощным волоконным лазерам, необходимо хорошо усвоить конструктивные особенности таких лазеров и их предельные характеристики.

При изучении темы волоконные ВКР-лазеры необходимо сначала ознакомиться с основными понятиями нелинейной оптики, изучить материалы, относящиеся к проблеме вынужденного комбинационного рассеяния и генерации гармоник.

В разделе применения волоконных лазеров очень важным является рассмотрение физических процессов взаимодействия лазерного излучения с материалами, плазменных и тепловых процессов при лазерном воздействии. В разделе волоконно-оптические линии связи особое внимание нужно обратить на варианты реализации таких систем и основные элементы систем связи.

Для выполнения самостоятельной работы получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю. Подготовить письменный отчет о проделанной работе. При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Лекционный курс строится по следующему плану: сначала вводятся и обсуждаются основные понятия волоконной оптики, рассматриваются конструктивные особенности волоконных световодов и принципы работы твердотельных лазеров различного типа. Потом рассматриваются элементы волоконных лазеров, их характеристики и методы их изготовления. Далее рассматриваются вопросы, связанные с созданием волоконные лазеры на основе световодов, легированных ионами неодима, иттербия, эрбия и гольмия. В занятиях по нелинейной оптике, рассматриваются основные положения нелинейной оптики и более подробно те эффекты, которые используются при создании волоконных лазеров.

Заключительные разделы курса посвящены ознакомлению с практическим применением волоконных лазеров: в лазерной технологии, медицине, в волоконно-оптических линиях связи, при проведении фундаментальных физических экспериментов.

С целью выработки профессиональных компетенций студентов на занятиях используется интерактивная форма (20%) проведения занятий. Активная форма проведения занятий предполагает, в частности, что студенты самостоятельно прорабатывают отдельные дополнительные разделы курса с учетом дополнительной литературы, сообщаемой преподавателем.

Автор(ы):

Петровский Виктор Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

Кузнецов А.П., д.ф.м.н., доцент