

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
ИНТЕГРАЛЬНАЯ И ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	3	108	8	40	0		24	0	Э
Итого	3	108	8	40	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Курс знакомит студентов с физическими основами волновой оптики, физическими принципами распространения электромагнитных волн в изотропных и анизотропных средах, физическими основами распространения электромагнитного поля в волноводах различных типов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Назначение программы учебной дисциплины состоит в повышении уровня подготовки специалистов, расширении их научного кругозора с учетом возрастающей роли лазеров в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: фотоника, взаимодействие излучения с веществом, оптика кристаллов и оптические материалы, оптоэлектроника.

Курс посвящен изучению физических основ волновой оптики, физических принципов распространения электромагнитных волн в изотропных и анизотропных средах, физических основ распространения электромагнитного поля в волноводах различных типов.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам магистерской программы для следующих областей профессиональной деятельности по исследованию и разработке:

- установок и систем в области физики конденсированного состояния вещества;
- установок и систем волоконной оптики;
- использования нелинейно-оптических процессов при разработке новых установок, материалов и изделий;
- методов повышения безопасности лазерных установок, материалов и технологий;
- способов применения лазерных пучков в решении технологических проблем;
- лазерных установок и технологий, обладающих высокой эффективностью, безопасностью и защищенностью.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и	3-ОПК-1 [1] – Знать: современное состояние развития исследований и разработок в области лазерной техники, оптических материалов и лазерных технологий У-ОПК-1 [1] – Уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения в области лазерной техники лазерных

<p>оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики исследований и разработки лазерной техники, оптических материалов и лазерных технологий</p>	<p>технологий В-ОПК-1 [1] – Владеть: приемами оценки эффективности выбранного решения с учетом специфики исследований и разработки лазерной техники, оптических материалов и лазерных технологий</p>
--	--

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
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 элементы; проектирование и конструирование лазерных приборов, систем, комплексов и технологий с использованием средств компьютерного проектирования, проведением</p>	<p>Лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного излучения</p>	<p>ПК-3 [1] - способен разрабатывать функциональные и структурные схемы приборов и систем лазерной техники с определением их физических принципов действия, структурно-логических связей и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать: физические принципы действия приборов и систем лазерной техники, ; У-ПК-3[1] - Уметь: проводить сравнительный анализ изделий-аналогов; формулировать технические требования на отдельные блоки, узлы и элементы приборов и систем лазерной техники; разрабатывать и исследовать новые способы и принципы функционирования приборов и систем лазерной техники ; В-ПК-3[1] - Владеть: методами анализа и расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем лазерной техники.</p>

проектных расчетов и технико-экономического обоснования.			
--	--	--	--

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>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	4/20/0		25	T-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Второй раздел	9-16	4/20/0		25	T-15	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/40/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

* – 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.,	Пр./сем.,	Лаб.,
--------	---------------------------	-------	-----------	-------

			час.	час.	час.
	3 Семестр		8	40	0
1-8	Первый раздел		4	20	0
1	Тема 1 Основные уравнения волновой оптики. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Частотная дисперсия. Соотношения Крамерса-Кронига. Волновое уравнение		Всего аудиторных часов		
			1	2	0
			Онлайн		
			0	0	0
2 - 3	Тема 2 Плоские волны в однородных средах. Плоские волны в изотропной среде. Поляризация волн. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела изотропных сред Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Угол Брюстера.		Всего аудиторных часов		
			0	6	0
			Онлайн		
			0	0	0
4	Тема 3 Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Линейная поляризованность и ортогональность плоских волн. Оптические оси анизотропной среды. Преломление плоских волн на границе раздела изотропной и анизотропной сред		Всего аудиторных часов		
			1	2	0
			Онлайн		
			0	0	0
5 - 6	Тема 4 Симметричные планарные световоды. Планарный световод со ступенчатым профилем. Числовая апертура световода. Вытекающие моды. Фазовая и групповая скорости мод. Планарные световоды с градиентными профилями. Световод с параболическим профилем показателя преломления. Связь лучевых и модовых представлений		Всего аудиторных часов		
			1	5	0
			Онлайн		
			0	0	0
7	Тема 5 Трехслойный несимметричный световод. Связанные планарные световоды. Интерференция четной и нечетной мод в световоде из двух разделенных слоев. Уравнения связанных мод. Направленный ответвитель.		Всего аудиторных часов		
			0	3	0
			Онлайн		
			0	0	0
8	Тема 6 Волновая теория волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления. Характеристическое уравнение для волновых чисел мод. Градиентный многомодовый волоконный световод. Лучевая оптика градиентных волоконных световодов. Оптимальные профили		Всего аудиторных часов		
			1	2	0
			Онлайн		
			0	0	0
9-16	Второй раздел		4	20	0
9	Тема 7 Специфика нелинейно-оптических явлений в волоконных световодах. Основы электродинамики нелинейных процессов в световодах. Линейные эффекты, влияющие на развитие нелинейных процессов		Всего аудиторных часов		
			0	3	0
			Онлайн		
			0	0	0
10	Тема 8 Физические причины оптических нелинейностей материала световода. Электроstrictionный механизм образования нелинейного показателя преломления и нелинейной поляризации, ответственной за вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна		Всего аудиторных часов		
			1	2	0
			Онлайн		
			0	0	0
11 - 12	Тема 9		Всего аудиторных часов		

	Четырехфотонные параметрические процессы в световодах. Фазовое согласование взаимодействующих волн, волновая расстройка. Соотношения Мэнли-Роу. Четырехфотонное параметрическое смешение частот, коэффициенты преобразования, условия эффективного преобразования. Четырехфотонные параметрические световодные усилители световых сигналов, их коэффициент усиления и ширина полосы	1 Онлайн 0	5 0	0 0
13	Тема 10 Вынужденное комбинационное рассеяние. Возникновение и усиление излучения стоксовой частоты в присутствии накачки в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния. Комбинационные усилители: порог усиления, коэффициент усиления, ширина полосы усиления, соотношение сигнал/шум	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
14	Тема 11 Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Преобразование накачки в стоксово излучение в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюена Усилители на его основе: коэффициент усиления, спектр усиления, соотношение сигнал/шум	Всего аудиторных часов 0 Онлайн 0	3 0	0
15 - 16	Тема 12 Фазовая самодуляция и спектральное уширение импульсов. Совместное влияние на импульсы нелинейности и дисперсии групповой скорости, нелинейное самосжатие (саморастяжение) световых импульсов в световоде. Волоконно-решеточные и солитонные компрессоры световых импульсов. Сопоставление порогов нелинейных эффектов в волоконных световодах	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	5 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 и также современных компьютерных технологий и самостоятельная работа студентов,

заключающаяся в изучении материала, повторении ранее пройденных тем, подготовке к письменным тестам. Для того чтобы дать современное состояние физики волоконно-оптических линий связи, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

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)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, Т-8, Т-15
	У-ОПК-1	Э, Т-8, Т-15
	В-ОПК-1	Э, Т-8, Т-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, Т-8, Т-15
	У-ПК-3	Э, Т-8, Т-15
	В-ПК-3	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 иочно 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	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»		Оценка «удовлетворительно»
60-64		E	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.
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 С 43 Волоконно-оптические сети и системы связи : , Скляров О. К., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Ж 86 Материалы микро- и оптоэлектроники: кристаллы и световоды : учебное пособие для вузов, Жукова Л. В. [и др.], Москва: Юрайт, 2022
3. ЭИ Ш 25 Многоволновые оптические системы связи : учебное пособие, Шарангович С. Н., Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 535 К38 Оптические солитоны : от световодов к фотонным кристаллам, Агравал Г.П., Кившарь Ю.С., М.: Физматлит, 2005

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 004 И74 Информационная оптика : Учеб. пособие для вузов, Евтихиева О.А. [и др.], М.: МЭИ, 2000
2. 535 Я60 Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы : , Янг М., М.: Мир, 2005
3. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Салех Б., Долгопрудный: Интеллект, 2012
4. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Салех Б., Долгопрудный: Интеллект, 2012

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

Предполагается, что студенты знакомы с содержанием основных разделов курсов «Высшая математика», «Общая физика», «Квантовая механика», «Атомная физика», «Фотоника».

Курс посвящен изучению физических основ волновой оптики, физических принципов распространения электромагнитных волн в изотропных и анизотропных средах, физических основ распространения электромагнитного поля в волноводах различных типов.

При изучении курса «Интегральная и волоконная оптика» необходимо разобраться в следующих вопросах.

Основные уравнения волновой оптики. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Частотная дисперсия. Соотношения Крамерса-Кронига. Волновое уравнение.

Плоские волны в однородных средах. Плоские волны в изотропной среде. Поляризация волн. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела изотропных сред Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Угол Брюстера.

Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Линейная поляризованность и ортогональность плоских волн. Оптические оси анизотропной среды. Преломление плоских волн на границе раздела изотропной и анизотропной сред.

Симметричные планарные световоды. Планарный световод со ступенчатым профилем. Числовая апертура световода. Вытекающие моды. Фазовая и групповая скорости мод. Планарные световоды с градиентными профилями. Световод с параболическим профилем показателя преломления. Связь лучевых и модовых представлений.

Трехслойный несимметричный световод. Связанные планарные световоды. Интерференция четной и нечетной мод в световоде из двух разделенных слоев. Уравнения связанных мод. Направленный ответвитель.

Волновая теория волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления. Характеристическое уравнение для волновых чисел мод. Градиентный многомодовый волоконный световод. Лучевая оптика градиентных волоконных световодов. Оптимальные профили.

Специфика нелинейно-оптических явлений в волоконных световодах. Основы электродинамики нелинейных процессов в световодах. Линейные эффекты, влияющие на развитие нелинейных процессов.

Физические причины оптических нелинейностей материала световода. Электрострикционный механизм образования нелинейного показателя преломления и нелинейной поляризации, ответственной за вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена.

Четырехфотонные параметрические процессы в световодах. Фазовое согласование взаимодействующих волн, волновая расстройка. Соотношения Мэнли-Роу. Четырехфотонное параметрическое смешение частот, коэффициенты преобразования, условия эффективного преобразования. Четырехфотонные параметрические световодные усилители световых сигналов, их коэффициент усиления и ширина полосы.

Вынужденное комбинационное рассеяние. Возникновение и усиление излучения стоксовой частоты в присутствии накачки в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния. Комбинационные усилители: порог усиления, коэффициент усиления, ширина полосы усиления, соотношение сигнал/шум

Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Преобразование накачки в стоксово излучение в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюена Усилители на его основе: коэффициент усиления, спектр усиления, соотношение сигнал/шум.

Фазовая самомодуляция и спектральное уширение импульсов. Совместное влияние на импульсы нелинейности и дисперсии групповой скорости, нелинейное самосжатие (саморастяжение) световых импульсов в световоде. Волоконно-решеточные и солитонные компрессоры световых импульсов. Сопоставление порогов нелинейных эффектов в волоконных световодах.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Целью курса является ознакомление студентов с физическими основами волновой оптики, физическими принципами распространения электромагнитных волн в изотропных и анизотропных средах, физическими основами распространения электромагнитного поля в волноводах различных типов.

Необходимо дать возможность студентам разобраться в следующих вопросах.

Основные уравнения волновой оптики. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Частотная дисперсия. Соотношения Крамерса-Кронига. Волновое уравнение.

Плоские волны в однородных средах. Плоские волны в изотропной среде. Поляризация волн. Отражение и преломление плоских волн на плоской границе раздела изотропных сред Закон Снеллиуса. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Угол Брюстера.

Плоские волны в анизотропной среде. Уравнение Френеля. Линейная поляризованность и ортогональность плоских волн. Оптические оси анизотропной среды. Преломление плоских волн на границе раздела изотропной и анизотропной сред.

Симметричные планарные световоды. Планарный световод со ступенчатым профилем. Числовая апертура световода. Вытекающие моды. Фазовая и групповая скорости мод. Планарные световоды с градиентными профилями. Световод с параболическим профилем показателя преломления. Связь лучевых и модовых представлений.

Трехслойный несимметричный световод. Связанные планарные световоды. Интерференция четной и нечетной мод в световоде из двух разделенных слоев. Уравнения связанных мод. Направленный ответвитель.

Волновая теория волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления. Характеристическое уравнение для волновых чисел мод. Градиентный многомодовый волоконный световод. Лучевая оптика градиентных волоконных световодов. Оптимальные профили.

Специфика нелинейно-оптических явлений в волоконных световодах. Основы электродинамики нелинейных процессов в световодах. Линейные эффекты, влияющие на развитие нелинейных процессов.

Физические причины оптических нелинейностей материала световода. Электрострикционный механизм образования нелинейного показателя преломления и нелинейной поляризации, ответственной за вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена.

Четырехфотонные параметрические процессы в световодах. Фазовое согласование взаимодействующих волн, волновая расстройка. Соотношения Мэнли-Роу. Четырехфотонное параметрическое смешение частот, коэффициенты преобразования, условия эффективного преобразования. Четырехфотонные параметрические световодные усилители световых сигналов, их коэффициент усиления и ширина полосы.

Вынужденное комбинационное рассеяние. Возникновение и усиление излучения стоксовой частоты в присутствии накачки в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния. Комбинационные усилители: порог усиления, коэффициент усиления, ширина полосы усиления, соотношение сигнал/шум

Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Преобразование накачки в стоксово излучение в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюена Усилители на его основе: коэффициент усиления, спектр усиления, соотношение сигнал/шум.

Фазовая самомодуляция и спектральное уширение импульсов. Совместное влияние на импульсы нелинейности и дисперсии групповой скорости, нелинейное самосжатие (саморастяжение) световых импульсов в световоде. Волоконно-решеточные и солитонные компрессоры световых импульсов. Сопоставление порогов нелинейных эффектов в волоконных световодах.

Курс содержит лекции и практические занятия. На практических занятиях следует разбирать сложные вопросы, вызвавшие затруднение на лекциях, а также решать громоздкие задачи, связанные с текущей темой.

Для поддержания интереса студентов к темам курса, следует постоянно делать обзоры современного состояния оптических линий, рассказывать новые работы, выполненные в институтах Российской академии наук, университетах и научных центрах, в том числе зарубежных, и статьи в соответствующих научных журналах.

Автор(ы):

Буфетов Игорь Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Евтихиев Н.Н.

