

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] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	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
3	3	108	8	40	0	24	0	0	Э
Итого	3	108	8	40	0	24	0	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
--------------------------------	--

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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной
--	---------------------------	---	---

		(профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	компетенции
научно-исследовательский			
формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов систем фотоники и оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления	фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;	<p>ПК-1.2 [1] - Способен применять знания о современных разработках в волоконной и интегральной оптике, принципах передачи и приёма информации по оптическим линиям связи; физических основах процессов при записи, хранении и отображении информации в оптических системах в профессиональной деятельности;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1.2[1] - Знать: современное состояние разработок в волоконной и интегральной оптике, современные принципы передачи и приёма информации по оптическим линиям связи;</p> <p>У-ПК-1.2[1] - Уметь: применять знания разработок в волоконной и интегральной оптике, принципов передачи и приёма информации по оптическим линиям связи;</p> <p>В-ПК-1.2[1] - Владеть: навыками сравнительной оценки разработок в волоконной и интегральной оптике, принципов передачи и приёма информации по оптическим линиям связи</p>

<p>отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности</p>			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов систем фотоники и</p>	<p>фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;</p>	<p>ПК-1.4 [1] - Способен создавать теоретические модели генерации и распространения световых пучков в различных средах, взаимодействия оптического излучения с веществом; владеть математическим аппаратом, необходимым для моделирования распространения излучения в нелинейных и диспергирующих средах;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>3-ПК-1.4[1] - Знать: физику распространения световых пучков в различных средах, взаимодействия оптического излучения с веществом;; У-ПК-1.4[1] - Уметь: создавать теоретические модели генерации и распространения световых пучков в различных средах, взаимодействия оптического излучения с веществом;; В-ПК-1.4[1] - Владеть: математическим аппаратом, необходимым для моделирования распространения излучения в нелинейных и диспергирующих средах</p>

<p>оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности</p>			
<p>формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором</p>	<p>фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;</p>	<p>ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать: элементную базу и устройства фотоники ; У-ПК-3[1] - Уметь: приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач в своей предметной области ; В-ПК-3[1] - Владеть: основными методами и способами контроля параметров устройств фотоники</p>

технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов систем фотоники и оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности				
--	--	--	--	--

#### 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-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Второй раздел	9-16	4/20/0		25	T-15	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2,

							В-ПК-1.2, З-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/40/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>			50	Э		3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, З-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., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	8	40	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	4	20	0
1	<b>Тема 1</b> 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	<b>Тема 2</b> 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	<b>Тема 3</b> 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	<b>Тема 4</b>	Всего аудиторных часов		

	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	1	5	0
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
7	<b>Тема 5</b> Трехслойный несимметричный световод. Связанные планарные световоды. Интерференция четной и нечетной мод в световоде из двух разделенных слоев. Уравнения связанных мод. Направленный ответвитель.	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	0	3	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
8	<b>Тема 6</b> 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	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	1	2	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	4	20	0
9	<b>Тема 7</b> Специфика нелинейно-оптических явлений в волоконных световодах. Основы электродинамики нелинейных процессов в световодах. Линейные эффекты, влияющие на развитие нелинейных процессов	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	0	3	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
10	<b>Тема 8</b> Физические причины оптических нелинейностей материала световода. Электрострикционный механизм образования нелинейного показателя преломления и нелинейной поляризации, ответственной за вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	1	2	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
11 - 12	<b>Тема 9</b> 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	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	1	5	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
13	<b>Тема 10</b> 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	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	1	2	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	
14	<b>Тема 11</b> Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Преобразование накачки в стоксово излучение в световоде с потерями. Порог наблюдения вынужденного рассеяния	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	0	3	0	
	<b>Онлайн</b>			
	0	0	0	

	Мандельштама-Бриллюена Усилители на его основе: коэффициент усиления, спектр усиления, соотношение сигнал/шум			
15 - 16	<b>Тема 12</b> 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	Всего аудиторных часов		
		1	5	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 и также 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)
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, Т-8, Т-15
	У-ПК-1.2	Э, Т-8, Т-15

	В-ПК-1.2	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-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		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 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. Электроstrictionонный механизм образования нелинейного показателя преломления и нелинейной поляризации, ответственной за вынужденное рассеяние Мандельштама-Брэллюена.

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-Брэллюена. 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.