

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

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	32	0	0	76	0	3
Итого	3	108	32	0	0	76	0	

АННОТАЦИЯ

Курс знакомит студентов с физикой распространения электромагнитного излучения по волоконным световодам (ВС), изучаются различные типы ВС, рассматриваются достижения и проблемы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), инфракрасные световоды, волоконно-оптические датчики, компрессоры световых импульсов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Показать современное состояние физики волоконно-оптических световодов, их применения в линиях связи, дать понимание основных принципов, необходимые теоретические и фактические знания.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: фотоника, атомная физика, квантовая механика, теория поля, физика конденсированного состояния вещества, физическая оптика.

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			
проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными	запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и измерений; физические, математические и компьютерные модели явления; компьютерные программы и	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных

<p>планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации, выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>	<p>алгоритмы для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>	<p>описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
<p>проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам</p>	<p>запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать методики оценки и выбора методов исследования.;</p>

<p>(этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации, выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для</p>	<p>измерений; физические, математические и компьютерные модели явления; компьютерные программы и алгоритмы для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>	<p>исследования</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022</p>	<p>У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям.</p>
--	---	--	--

научно-исследовательских и прикладных целей.			
производственно-технологический			
участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в сфере высоких и наукоемких технологий;	методы контроля качества материалов, процессов и продукции	ПК-22.4 [1] - Способен пользоваться современными понятиями и моделями взаимодействия оптического излучения с веществом, современными экспериментальными данными в области физики взаимодействия излучения оптического диапазона с веществом в конденсированном состоянии <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022	З-ПК-22.4[1] - знать основные модели взаимодействия оптического излучения с веществом; У-ПК-22.4[1] - уметь предложить и обосновать схему эксперимента по лазерной обработке материалов, лазерному напылению тонких пленок, исследованию поверхности оптическими методами; В-ПК-22.4[1] - владеть современными экспериментальными данными в области физики взаимодействия излучения оптического диапазона с веществом в конденсированном состоянии

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	Часть 1	1-8	16/0/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-

							ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 22.4, У- ПК- 22.4, В- ПК- 22.4
2	Часть 2	9-16	16/0/0		25	КИ-16	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 22.4, У- ПК- 22.4, В- ПК- 22.4
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		32/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	3	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 22.4, У- ПК- 22.4, В- ПК- 22.4

* – 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
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	32	0	0
1-8	Часть 1	16	0	0
1 - 2	Тема 1 Модель волоконно-оптической системы передачи, диапазоны длин волн ВОСП, окна прозрачности	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Тема 2 Дисперсия излучения в ВОСП. Типы дисперсии. Компенсация дисперсии	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Тема 3 Моды электромагнитных колебаний, распространяющихся в ОВ. Частота отсечки и нормированная частота моды	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Тема 4 Лазерные диоды как источники для ВОЛС. Многомодовые и одномодовые ЛД. Спектральные и пространственные характеристики ЛД, эффективность ЛД	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	16	0	0
9 - 12	Тема 5 СИД для ВОЛС, оптические усилители, приёмники оптического излучения	Всего аудиторных часов		
		8	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 16	Тема 6 Пассивные оптические устройства, разъёмы, сростки. Матрицы передачи волоконно-оптических устройств, логарифмические матрицы передачи	Всего аудиторных часов		
		8	0	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 аудиторские занятия в виде лекций, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, изучении пройденного материала, подготовке к письменным тестам. Для того чтобы показать современное состояние 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 рамках Научной сессии 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	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
ПК-22.4	З-ПК-22.4	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-22.4	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-22.4	З, КИ-8, КИ-16

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	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»	E	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			
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 И 83 Волновые процессы. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
2. ЭИ С 43 Волоконно-оптические сети и системы связи : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Л25 Квантовая электроника : курс лекций, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
4. 535 Л25 Когерентная фотоника : , А. И. Ларкин, Ф. Т.С. Юу, Москва: Бинум. Лаборатория знаний, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 681.7 И20 Оболочечные моды волоконных световодов и длиннопериодные волоконные решетки : , Москва: Физматлит, 2012
2. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Долгопрудный: Интеллект, 2012
3. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Долгопрудный: Интеллект, 2012
4. 681.7 В27 Лабораторный практикум "Волоконно-оптическая линия связи" : учебное пособие для вузов, В. Л. Величанский, В. К. Егоров, Москва: МИФИ, 2008
5. 681.7 Б41 Волоконная оптика : теория и практика, Д. Бейли, Э. Райт, М.: Кудиц-образ, 2006
6. 535 И83 Волновые процессы : Основные законы, Иродов И.Е., М.: Лаборатория базовых знаний; Юнимедиастайл, 2002
7. 535 Я60 Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы : , М. Янг, М.: Мир, 2005
8. 535 М54 Методы компьютерной оптики : Учеб. пособие для вузов, Под ред. Соифера В.А., М.: Физматлит, 2000
9. 681.7 Ф88 Волоконно-оптические системы связи : , Р. Фриман, М.: Техносфера, 2003

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 модового состава мод, распространяющихся в условиях полного внутреннего отражения по идеальным цилиндрическим волокнам, состоящим из сердцевины и оболочки. Существенным здесь является знание поведения нескольких функций Бесселя и Ханкеля, а также полиномов Эрмита низших порядков (см., напр., Е.Янке, Ф.Эмде и Ф.Леш. Специальные функции, М., Наука, 1964).

Важно также умение представлять графически пространственное распределение электрических и магнитных компонент полей мод, что позволяет понять как образуются линейно-поляризованные (LP) моды ненулевого порядка, возникающие в волоконных

световодах при воздействии полей лазерных мод (см., напр., Справочник по лазерам, под ред. А.М. Прохорова, т.2. М., Сов. радио, 1978).

Особое внимание следует обратить на изучение временной дисперсии групповых скоростей импульсов излучения. Здесь надо четко знать определения фазовой и групповой скоростей, а также спектральных зависимостей соответствующих показателей преломления (замедления) различных мод световода. Наибольшее значение для высокоскоростной передачи информации имеют внутримодовые материальная и волноводная дисперсии.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

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.

Первый раздел посвящается, главным образом, электродинамике цилиндрических диэлектрических волноводов. Следует провести решение волнового уравнения в цилиндрических координатах для двухслойного волоконного световода и выбираются функции, описывающие компоненты электромагнитного поля. Затем с помощью граничных условий выписывается характеристическое уравнение, решение которого позволяет найти постоянные распространения мод световода, а затем, в пределе, получить уравнения отсечки мод. С использованием волнового уравнения для параболического цилиндра находятся распределения полей квадратичного по показателю преломления световода. Для световодов с малым скачком показателя преломления вводится класс LP мод и геометрическое представление полей мод.

Особое внимание стоит уделить вопросам временной дисперсии (межмодовой и внутримодовой) групповых скоростей распространяющихся по световодам импульсов излучения, которая ограничивает полосу пропускания волоконно-оптических линий связи.

В силу «классичности» первой части курса в качестве литературы можно предложить прекрасную книгу Д. Маркузе «Оптические волноводы», М., Мир, 1974, и солидный труд А.Снайдера и Дж. Лава «Теория оптических волноводов», М., Радио и связь, 1987. Можно упомянуть также книгу М.Адамса «Введение в теорию оптических волноводов», М., Мир, 1984.

Второй раздел посвящён применению оптических волноводов в линиях связи. Дается информация о лазерных и светоизлучающих диодах, оптических приёмниках и усилителях, других элементах ВОЛС.

Учитывая ознакомительный характер курса и укороченную длину последнего семестра у бакалавров, рекомендуется ограничиться фактической стороной вопроса. 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):

Лагода Владимир Борисович, к.ф.-м.н.