

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии

 (Овчинников О.В.)
подпись, расшифровка подписи

14.06.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.03.01 Волоконная оптика

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 – Физика

2. Профиль подготовки/ специализация/ магистерская программа: Физика

медицинских, лазерных технологий и наноматериалов

3. Квалификация (степень) выпускника:

Высшее образование (бакалавр)

4. Форма образования: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра оптики и спектроскопии

6. Составители программы: Королев Никита Викторович,

кандидат физико-математических наук, доцент

Чевычелова Тамара Андреевна

преподаватель кафедры оптики и спектроскопии

7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 13.06.2024

(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2027/2028 Семестр(-ы): 8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: ознакомление с концептуальными основами оптики планарных световодов и физическими принципами работы оптических элементов фотоники, а также принципами и методами управления излучением в интегрально-оптических устройствах.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать знания о современных направлениях и тенденциях развития волоконной оптики; об ее основах, включая законы распространения света по волноводным структурам и дисперсию волноводов; об основных методах ввода-вывода излучения в волновод и методах стыковки оптического волокна и интегрально-оптических волноводов, о механизмах потерь в волноводных структурах, об основных классах волноводов и ключевых интегрально-оптических и волоконных элементах, приборов и систем, об основных физических эффектах и явлениях, лежащих в основе работы пассивных и активных волоконных и планарных волноводных элементов, и об устройствах и принципах построения оптических элементов;

- сформировать способность использовать современные фундаментальные знания по волоконной оптике в профессиональной деятельности;

- научиться проводить теоретический анализ и расчет основных характеристик волноводных пассивных и активных элементов и устройств;

- изучить принципы конструирования основных волноводных элементов и устройств (канальных волноводов, брэгговских решеток, систем ввода-вывода, селекторов, мультиплексоров, усилителей, лазеров, модуляторов);

- овладеть навыками измерения и тестирования основных характеристик волоконных и планарных волноводных структур, элементов и устройств.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору, блок Б1

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства приборов и исследование параметров наноструктурных материалов спектральными методами	ПК-4.1	Организует и контролирует экспериментальные проверки разработанных технологических процессов, разрабатывает программы проведения экспериментов в соответствии с утвержденной методикой проверки технологических процессов	Знать: методики проведения исследований в области волоконной оптики Уметь: использовать специализированное исследовательское оборудование, применяемое в волоконной оптике Владеть: навыками исследования материалов, используемых в волоконной оптике
		ПК-4.2	Составляет перечень параметров, подлежащих контролю и измерению при проведении технологических процессов и анализе используемых материалов, уточняет и корректирует требования к параметрам	Знать: принципы работы приборов квантовой электроники и фотоники Уметь: применять знания физических принципов работы в подборе технологического оборудования Владеть: представлениями о базовых технологических процессах создания материалов и устройств фотоники

			разрабатываемых приборов квантовой электроники и фотоники	
		ПК-4.3	Согласовывает технические требования к параметрам разрабатываемых изделий, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации	Знать: принципы работы приборов квантовой электроники и фотоники Уметь: применять знания физических принципов работы в подборе технологического оборудования Владеть: представлениями о базовых технологических процессах создания материалов и устройств фотоники

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час – 3/108.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			8 семестр
Аудиторные занятия		36	36
в том числе:	лекции	12	12
	практические		
	лабораторные	24	24
Самостоятельная работа		36	36
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации экзамен		36	36
Итого:		108	108

13.1 Содержание дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение в волноводную фотонику	Волноводная фотоника – определение, предмет, цели, задачи и области приложения. Основные элементы волноводной фотоники. Распространение оптических волн в веществе. Фазовая и групповая скорость. Дисперсионные явления в оптических световодах. Числовая апертура. Многомодовость оптического волокна.
1.2	Многослойные плоские волноводы. Планарные волноводы.	Волноводные моды плоских волноводов. Теоретическое описание мод в трехслойном планарном волноводе. Полосковые волноводы. Векторное волновое уравнение. Дисперсионные уравнения многослойных плоских волноводов. Аналитическое описание волноводных мод, их ортогональность, условия фазового синхронизма на границе раздела диэлектрических сред. Характер распределения напряженностей поля при ТЕ- и ТМ-поляризации. Взаимодействие волноводных мод. Планарный волновод с многослойным брэгговским зеркалом. Условия возникновения и аналитическое описание волноводных мод. Их согласование на границах раздела сред. Поверхностные затухающие брэгговские волны в многослойных диэлектрических средах.
1.3	Механизмы потерь в оптических волноводах.	Поглощение в материале волокна. Рассеяние света в другие моды. Потери на изгибе.
1.4	Измерение параметров	Измерение параметров оптического волокна: числовая

	элементов волноводной фотоники.	апертура; модовый состав оптического волокна, диаметр светового пятна.
1.5	Управление излучением в оптических волноводах	Взаимодействие света с веществом. Управление параметрами сред. Модуляция и переключение света. Устройства согласования интегрально-оптических волноводов и волоконных световодов.
1.6	Компоненты волноводной фотоники.	Преобразователи мод. Источники и детекторы оптического излучения. Волоконно-оптические лазеры. Лазеры с распределенной обратной связью. Волоконно-оптические датчики. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы. Волоконные гироскопы. Интегрально-оптический фотодетектор.
2. Лабораторные работы		
2.1	Изучение оптических кабелей различного назначения для ВОЛС	Лабораторная работа № 1 «Классификация волоконно-оптических кабелей. Структурные элементы волоконно-оптических кабелей».
2.2	Механизмы потерь в оптических волноводах.	Лабораторная работа № 2 «Механизмы потерь в оптических волноводах».
2.3	Измерение параметров элементов волноводной фотоники.	Лабораторная работа № 3 «Измерение параметров элементов волноводной фотоники».
2.4	Устройства согласования в волноводной фотонике.	Лабораторная работа № 4 «Устройства согласования в волноводной фотонике».

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1.	Введение в волноводную оптику	2			6	6	14
2.	Многослойные плоские волноводы. Планарные волноводы.	2		6	6	6	20
3.	Механизмы потерь в оптических волноводах.	2		6	6	6	20
4.	Измерение параметров элементов волноводной фотоники.	2			6	6	14
5.	Управление излучением в оптических волноводах	2		6	6	6	20
6.	Компоненты волноводной фотоники.	2		6	6	6	20
	Итого	12		24	36	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- 1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций

- 2) Лабораторные занятия. При подготовке к лабораторным занятиям студентам рекомендуется: внимательно ознакомиться с тематикой лабораторной работы, прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий конспект, в котором указать цель работы, оборудование, описание установки/метода расчета или методики измерения; проверить свои знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради; при затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю
- 3) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- 4) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Зеленовский, П. С. Основы интегральной и волоконной оптики: учебное пособие : [16+] / П. С. Зеленовский. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. – 132 с. – ISBN 978- 5- 7996-2529-0 ; То же [Электронный ресурс]. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/68355/1/978- 5- 7996-2529-0_2019.pdf
2.	Салех, Б.Е.А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие] : [в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В.Л. Деброва. — Долгопрудный : Изд. Дом "Интеллект" — 2012. — 759 с.
3.	Ландсберг, Г.С. Оптика : учебное пособие / Г.С. Ландсберг. - 6-е изд., стереот. - М. : Физматлит, 2010. - 848 с. - ISBN 978-5-9221-0314-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&id=82969
4.	Гончаренко, А. М. Основы теории оптических волноводов / А. М. Гончаренко, В. А. Карпенко, И. А. Гончаренко. – Минск : Белорусская наука, 2009. – 296 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89939

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Костылев, Владимир Иванович. Волоконно-оптические системы передачи информации : учебное пособие для вузов по курсу "Электродинамика СВЧ" / В.И. Костылев ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. — 41 с. : ил. — Библиогр.: с.40. — <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/may07100.pdf >.
6.	Цуканов, В.Н. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство / В.Н. Цуканов, М.Я. Яковлев. - М. : Инфра-Инженерия, 2014. - 304 с. - ISBN 978-5-9729-0078-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234772
7.	Митрохин, В.Е. Измерения в волоконно-оптических системах передачи. [Электронный ресурс] — Электрон.дан. — М. : УМЦ ЖДТ, 2007. — 197 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/59902
8.	Шангина, Л.И. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Л.И. Шангина. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 303 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208584

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурсы Интернет
9.	Электронно-библиотечная система BOOK.ru https://www.book.ru/
10.	ЭБС «ПЛАТФОРМА ЮРАЙТ» – https://urait.ru/
11.	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/
12.	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» («ЭБС «Консультант студента») – http://www.studentlibrary.ru/
13	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/
	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" – http://rucont.ru

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Салех, Б. Оптика и фотоника. Принципы и применения: учебное пособие : [в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Деброва. – Долгопрудный : Изд. дом «Интеллект», 2012. – 759 с.
2	Зеленовский, П. С. Основы интегральной и волоконной оптики: учебное пособие : [16+] / П. С. Зеленовский. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. – 132 с. – ISBN 978- 5- 7996-2529-0 ; То же [Электронный ресурс]. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/68355/1/978- 5- 7996-2529-0_2019.pdf

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или “MOOK ВГУ” (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория (ауд. 133): специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 1, пом. 136

Учебная аудитория (ауд. 329): специализированная мебель 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 3, пом. 136

Учебная аудитория (ауд. 129): специализированная мебель 394018, г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, этаж – 1, пом. 141

19. Фонд оценочных средств:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение в волноводную фотонику	ПК-4 ПК-2 ПК-5	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3	Самостоятельные задания для контроля освоения дисциплины
2.	Многослойные плоские волноводы. Планарные волноводы.			Самостоятельные задания для контроля освоения дисциплины
3.	Механизмы потерь в оптических волноводах.			Отчет по лабораторной работе
4.	Измерение параметров элементов волноводной фотоники.			Отчет по лабораторной работе
5.	Управление излучением в			Самостоятельные задания для контроля освоения дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	оптических волноводах			Отчет по лабораторной работе
6.	Компоненты волноводной фотоники.			Отчет по лабораторной работе Тест
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				КИМ (Перечень вопросов + Практические задания)

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: выполнения лабораторных работ, практических и тестовых заданий.

Выполнение лабораторных работ состоит с изучения кратких теоретических сведений по изучаемому вопросу, ознакомлению со стендом или методикой выполнения практической части и получения допуска путем ответа на контрольные вопросы. В результате выполнения лабораторной работы оформляется отчет со структурой: тема, цель, теоретическая часть (определения, вывод формул), практическая часть (таблицы, графики, расчеты), вывод. После выполнения всех лабораторных работ проводится итоговое тестирование.

Самостоятельные задания формулируются преподавателем по окончании занятия для закрепления обучающимся пройденного материала (содержит перечень задач для выполнения / вопросов) или подготовке к последующим занятиям. На следующем занятии преподаватель осуществляет полную/выборочную проверку выполнения обучающимися домашних (самостоятельных) заданий. В случае невыполнения обучающимся домашнего (самостоятельного) задания (по лабораторному занятию) преподаватель не оценивает работу обучающегося на текущем лабораторном занятии выше 2 баллов (положительная оценка (3/4/5) может быть выставлена по результатам выполнения индивидуального задания).

Пример тестовых заданий:

1. Поставьте в соответствие пассивные элементы волоконно-оптических линий связи к их определениям

Варианты элементов: Сплиттер, Аттенюатор, Волоконно-оптический фильтр, Волоконно-оптический изолятор, Коммутатор, Оптический разъем.

Элементы	Определения
	устройство, предназначенное для подавления обратного отражения в волоконно-оптических линиях связи и имеющее минимальные вносимые потери в прямом направлении.
	элемент, прикрепленный к одному из оптических кабелей или отдельной части оборудования для осуществления частых соединений/разъединений оптических волокон или кабелей.
	модифицирует проходящее через него оптическое излучение за счет изменения спектрального распределения мощности.
	элемент, имеющий один или больше портов, которые передают, блокируют или перенаправляют оптическую мощность в одно из волокон в волоконно-оптических линиях связи.
	элемент, осуществляющий управляемое ослабление сигнала в волоконно-оптической линии передачи.
	элемент, обладающий тремя или более портами и распределяющий мощность между ними в определенном соотношении без какого-либо усиления, переключения или какой-то модуляции.

2. Поставьте в соответствие пассивный элемент и его параметры

Описание устройства	Название устройства
---------------------	---------------------

устройство, обычно имеющее один выходной порт и два или больше входных портов	
устройство, имеющее обычно один входной порт и несколько выходных портов	

Варианты ответа: комбайнер, сплиттер, сросток.

3. Выберите один или несколько ответов

Избыточные потери

- это общая мощность, потерянная в устройствах ветвления, когда оптический сигнал подается в порт i ,
- это мощность, потерянная в одном оптическом порте, когда в него подается сигнал,
- являются массивом из N значений для устройства ветвления с N входными портами, по одному значению для каждого входного порта i ,
- является массивом из N значений для устройства ветвления с N входными портами, по N значений для каждого входного порта i .

4. Поставьте в соответствие параметр разветвителя и его определение

Определение	Параметр
отношение оптической мощности, поступающей на входной порт разветвителя, к общей мощности на выходе любого выходного порта, выраженное в дБ	
отношение оптической мощности, излучаемой одним выходным портом, к сумме оптических мощностей, излучаемых всеми выходными портами	
мера того, насколько выходная мощность равномерно распределена между выходными портами разветвителя	

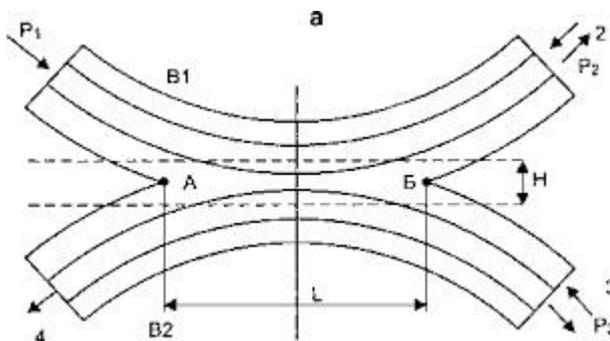
Варианты параметра: однородность, коэффициент ветвления, коэффициент усиления, избыточные потери.

5. Выберите один или несколько ответов

Неразъемное соединение, или сросток, постоянно соединяет два волокна. Существуют следующие типы неразъемных соединений (сростков):

- Сварное соединение
- Пружинное соединение
- Разъемное соединение
- Механическое соединение

6. На рисунке показан сплавной разветвитель с биконический отводами.



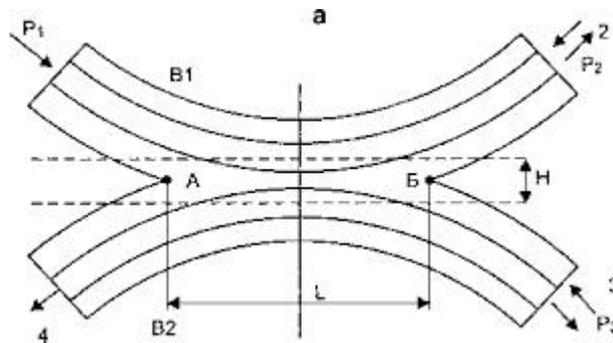
Уровень мощности, перешедшей из одного волокна в другое, может быть изменен путем изменения следующих параметров:

- уровень мощности на входе,
- разность радиусов сердцевин в области связи,
- радиус сердцевины в области связи,
- температура сварки при изготовлении разветвителя,

е) длина области связи, через которую осуществляется взаимодействие двух полей.

Выберите один или несколько ответов.

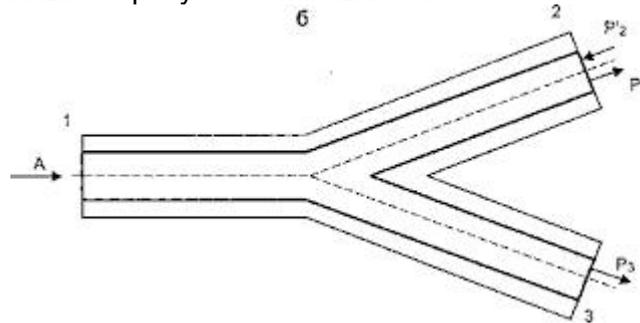
7. Каким параметром определяется коэффициент разветвления в изображенном на рисунке разветвителе (выберите верное обозначение)



- a) P_2
- b) P_1
- c) H
- d) L
- e) P_3

Выберите один или несколько ответов.

8. Разветвитель, показанный на рисунке ниже является



- a) разветвителем мощности 2x1
- b) разветвителем мощности 1x3
- c) разветвителем мощности 1x2
- d) разветвителем мощности 2x2
- e) разветвителем мощности 3x1

Выберите один или несколько ответов.

9. Устройство, которое уменьшает интенсивность светового сигнала, прошедшего через него называется

- a) аттенюатором
- b) поглотителем
- c) сплиттером
- d) отражателем
- e) Выберите один или несколько ответов.

10. При проектировании оптических изоляторов используется

- a) эффект Зеебека
- b) фотоэффект
- c) эффект Пельтье
- d) эффект Фарадея

Выберите один или несколько ответов.

11. Вносимые потери за счет механического соединения обычно меньше, чем за счет сварного соединения.

- a) Верно
- b) Неверно

12. Многомодовые оптические волокна со ступенчатым показателем преломления обладают
- a) малым диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
 - b) малым диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры,
 - c) большим диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
 - d) большим диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры.

Выберите один или несколько ответов.

13. В волоконно-оптических линиях связи применяют следующие источники излучения:
- a) люминесцентные лампы,
 - b) вакуумные диоды,
 - c) фотодиоды,
 - d) лазерные диоды,
 - e) светоизлучающие диоды,
 - f) рентгеновская трубка.

Выберите один или несколько ответов.

14. Свет, излучаемый светодиодами
- a) является монохроматичным,
 - b) не является когерентным,
 - c) не является монохроматичным,
 - d) излучается в конусе под малым углом,
 - e) является когерентным.

Выберите один или несколько ответов.

15. Светоизлучающий диод
- a) может быть сформирован только на основе p-n-перехода,
 - b) может быть сформирован как на основе p-n-перехода так и гетероперехода,
 - c) может быть сформирован только на основе гетероперехода.
16. В многомодовых лазерах
- a) интенсивность всех мод одинакова,
 - b) излучается доминантная мода желаемой длины волны и боковые моды меньшей амплитуды,
 - c) существует распределение мощности по модам,
 - d) излучается боковая мода желаемой длины волны и доминантные моды меньшей амплитуды.

Выберите один или несколько ответов.

17. Устройство, которое принимает искаженный оптический сигнал на свой вход и преобразует его в почти идеальную копию сигнала, похожую на ту, которая была передана предыдущим передатчиком является
- a) оптическим усилителем,
 - b) терминатором,
 - c) лазером,
 - d) регенератором.

18. Существуют следующие усилители оптического сигнала в ВОЛС:
- a) усилители на полупроводниковых транзисторах,
 - b) усилители на легированном волокне,
 - c) усилители на газовых лазерах,
 - d) усилители на лазерных диодах,
 - e) брегговские усилители,
 - f) рамановские усилители.

Выберите один или несколько ответов.

19. Какой вид дисперсии отсутствует в одномодовом волокне?

- a) межмодовая дисперсия,
- b) хроматическая дисперсия,
- c) поляризационная модовая дисперсия,
- d) материальная дисперсия.

20. Материальная дисперсия

- a) является главной составляющей дисперсии в системах с одномодовым волокном,
- b) вызвана тем, что различные длины волн проходят через определенные материалы с одинаковыми скоростями,
- c) вызвана тем, что различные материалы по-разному поглощают свет одинаковой длины волны,
- d) является главной составляющей дисперсии в системах с многомодовым волокном,
- e) вызвана тем, что различные длины волн проходят через определенные материалы с различными скоростями.

Выберите один или несколько ответов.

21. Хроматическая дисперсия

- a) не зависит от длины волны света,
- b) является комбинацией материальной и волноводной дисперсии,
- c) вызвана волновой независимостью групповой скорости в волокне,
- d) вызвана волновой зависимостью групповой скорости в волокне.

Выберите один или несколько ответов.

22. В некоторых случаях создаются ряд напряженных состояний, возникающих в волокне в процессе производства или намотки. Сердечник волокна и оболочка формируются в процессе механического вытягивания, вызывающего непредсказуемое двойное лучепреломление в волокне (приводящее к обмену мощностями между двумя состояниями поляризации), в результате чего эффективная скорость распространения света в среде зависит от ориентации электрического поля света. Это приводит к возникновению

- a) поляризационной дисперсии,
- b) материальной дисперсии,
- c) модовой дисперсии,
- d) хроматической дисперсии,
- e) виртуальной дисперсии.

Выберите один или несколько ответов.

23. Существуют следующие основные виды потерь в оптоволокне:

- a) потери, вызванные несовершенством оптоволокна,
- b) собственные внутренние потери,
- c) потери, вызванные несовершенством источника излучения,
- d) внешние потери,
- e) несобственные внутренние потери,
- f) собственные внешние потери,
- g) рассеяние Рэлея

20.2. Промежуточная аттестация

Оценка «отлично» на экзамене может быть выставлена по результатам текущего контроля успеваемости при выполнении всех следующих условий обучающимся:

- посещение 80% и более лекционных занятий;
- пропуск не более 1 лабораторного (без уважительной причины) с последующей отработкой;
- количество правильных ответов в тесте более 85 %.

В других случаях студент при условии выполнения лабораторных работ вправе сдавать экзамен на общих основаниях путем ответа на вопросы контрольно-измерительного материала, включающего:

- теоретический вопрос;

– два практических задания в соответствии индикаторам компетенций ПК-3 и ПК-5.

Примеры практических заданий:

1. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 8.94^\circ$ и $NA_2 = 7.07^\circ$.
2. Оценить потери при соединении оптических волокон с показателями преломления 1.5286 и 1.5038 в отсутствии воздушного зазора.
3. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 9.94^\circ$ и $NA_2 = 7.03^\circ$.
4. Какую величину коэффициента преломления необходимо использовать в оболочке сердцевины оптического волокна с $n = 1.5497$, чтобы числовая апертура составляла 10° ?
5. Какую величину коэффициента преломления необходимо использовать в оболочке сердцевины оптического волокна с $n = 1.52$, чтобы числовая апертура составляла 6° ?
6. Какую величину коэффициента преломления необходимо использовать в оболочке сердцевины оптического волокна с $n = 1.5132$, чтобы числовая апертура составляла 8.5° ?
7. Оценить потери при соединении оптических волокон с показателями преломления 1.5264 и 1.5112 в отсутствии воздушного зазора.
8. Какую величину коэффициента преломления необходимо использовать в оболочке сердцевины оптического волокна с $n = 1.4970$, чтобы числовая апертура составляла 7.5° ?
9. Для ТМ-волны рассчитать отражательную способность поверхности раздела двух однородных сред различной оптической плотности при угле падения 44° , если коэффициент преломления первой среды 1.08, а второй 1.5186.
10. Для ТЕ-волны рассчитать отражательную способность поверхности раздела двух однородных сред различной оптической плотности при угле падения 44° , если коэффициент преломления первой среды 1.08, а второй 1.5186.
11. В оптическое волокно с коэффициентом ослабления 0.37 дБ/км вводится излучение мощностью 2.0 мВт на рабочей длине волны $\lambda_0 = 1300$ нм. Обнаружительная способность приемника 550 фотонов/бит. Оценить предельную длину волокна, обеспечивающую скорость передачи данных 100 Мбит/с? Потери на соединения составляют 1.4 дБ. Запасом для безопасности использовать на уровне 5 дБ.
12. В оптическое волокно с коэффициентом ослабления 0.19 дБ/км вводится излучение мощностью 1.6 мВт на рабочей длине волны $\lambda_0 = 1550$ нм. Обнаружительная способность приемника 600 фотонов/бит. Оценить предельную длину волокна, обеспечивающую скорость передачи данных 100 кбит/с? Потери на соединения составляют 4 дБ. Запасом для безопасности использовать на уровне 4 дБ.
13. В оптическое волокно с коэффициентом ослабления 2.8 дБ/км вводится излучение мощностью 3 мВт на рабочей длине волны $\lambda_0 = 870$ нм. Обнаружительная способность приемника 200 фотонов/бит. Оценить предельную длину волокна, обеспечивающую скорость передачи данных 1 Мбит/с? Потери на соединения составляют 2.5 дБ. Запасом для безопасности использовать на уровне 2 дБ.
14. В оптическое волокно с коэффициентом ослабления 2.8 дБ/км вводится излучение мощностью 3.5 мВт на рабочей длине волны $\lambda_0 = 870$ нм. Обнаружительная способность приемника 350 фотонов/бит. Оценить предельную длину волокна, обеспечивающую скорость передачи данных 1 Мбит/с? Потери на соединения составляют 4.8 дБ. Запасом для безопасности использовать на уровне 4 дБ.
15. В оптическое волокно с коэффициентом ослабления 0.5 дБ/км вводится излучение мощностью 4.5 мВт на рабочей длине волны $\lambda_0 = 1300$ нм. Обнаружительная способность приемника 450 фотонов/бит. Оценить предельную длину волокна, обеспечивающую скорость передачи данных 10 Мбит/с? Потери на соединения составляют 1.8 дБ. Запасом для безопасности использовать на уровне 4 дБ.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Физика полного внутреннего отражения.
2. Дисперсионные явления в оптических световодах.
3. Числовая апертура. Многомодовость оптического волокна.
4. Многослойные плоские волноводы. Волноводные моды плоских волноводов.
5. Векторное волновое уравнение. Способы решения.
6. Дисперсионные уравнения многослойных плоских волноводов.

7. Характер распределения напряжённости поля при ТЕ- и ТМ-поляризации.
8. Взаимодействие волноводных мод.
9. Планарный волновод с многослойным брэгговским зеркалом.
10. Условия возникновения и аналитическое описание волноводных мод. Их согласование на границах раздела сред.
11. Поверхностные затухающие брэгговские волны в многослойных диэлектрических средах.
12. Поглощение в материале волокна. Рассеяние света в другие моды. Потери на изгибе.
13. Измерение параметров оптического волокна: числовая апертура; модовый состав оптического волокна, диаметр светового пятна.
14. Оптическое согласование. Ввод и вывод излучения в тонкопленочный волновод.
15. Устройства согласования интегрально-оптических волноводов и волоконных световодов.
16. Геодезическая планарная линза.
17. Связь между волноводами. Условий ввода излучения в цилиндрический и планарный волноводы.
18. Управление параметрами сред. Модуляция и переключение света.
19. Объемные акустооптические и электрооптические модуляторы.
20. Интегрально-оптические модуляторы.
21. Ответители, разветвители, переключатели каналов. Оптические вентили.
22. Мультиплексоры и демультиплексоры.
23. Преобразователи мод. Источники и детекторы оптического излучения.
24. Волоконно-оптические лазеры. Лазеры с распределенной обратной связью.
25. Волоконно-оптические датчики.
26. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы.
27. Волоконные гироскопы.
28. Интегрально-оптический фотодетектор.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ¹**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**Направление 12.03.03 Фотоника и оптоинформатикаДисциплина Б1.В.02 Волноводная фотоникаПрофиль подготовки Фотоника и оптоинформатикаФорма обучения очнаяУчебный год 2025/2026

Ответственный исполнитель

Доцент кафедры
оптики и спектроскопии

Н.В. Королев

____.____ 20__

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП
по направлению

____.____ 20__

Начальник отдела
обслуживания ЗНБ

____.____ 20__

Программа рекомендована НМС физического факультета протокол № 6 от 13.06.2024 г.

¹ На образовательном портале «Электронный университет ВГУ» **НЕ РАЗМЕЩАЕТСЯ**