

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



А.Л. Толстик

(подпись)

10 июля 2015 г.

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 767 /уч.

ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальности

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направлений специальности

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

1-31 04 01-06 Физика (физика наноматериалов и нанотехнологий)

Минск 2015 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательных стандартов ОСРБ 1-31 04 01-2008 и ОСРБ 1-31 04 01-06-2011; учебных планов №G31-001/уч., №G31ин.-050/уч., №G31-072/уч. и №G31ин.-079/уч.

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.А. Гончаренко — профессор кафедры естественных наук Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.);

Советом физического факультета
(протокол № 10 от 18 июня 2015 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Волоконная оптика" разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям) направлений специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) и 1-31 04 01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Изобретение лазера и прогресс в когерентной оптике открыли возможности использования оптического диапазона электромагнитных волн в системах передачи и обработки информации. Это влекло за собой резкое увеличение емкости линий передачи данных, быстродействия и улучшения многих других параметров устройств обработки информации. В качестве передающей среды в системах оптической связи используются оптические волокна, состоящие из стеклянной сердцевины, окруженной стеклянной оболочкой с несколько меньшим значением показателя преломления. Направляющие свойства волокон основаны на явлении полного внутреннего отражения света.

В настоящее время оптические волокна активно используются в качестве передающей среды в системах связи. Обладая малыми потерями и низкой дисперсией, они способны передавать широкополосные сигналы на большие расстояния. Более 90% объема информации передается по оптическому кабелю. Оптическими являются также сверхдальние линии связи между государствами и городами и многие местные линии, включая кабельное телевидение и Интернет. Благодаря своим уникальным свойствам диэлектрические волноводы и волокна служат также основой для различных устройств, применяющихся в системах оптической обработки, хранения и передачи информации, в оптических датчиках физических величин систем измерения и контроля состояния объектов. Устройства с применением оптических волокон активно используются в медицине, технологических процессах, научных исследованиях и т.д. Бесконечно возрастающие потребности информационной индустрии требуют постоянного совершенствования систем обработки и передачи данных, среди которых ведущее место занимают волоконно-оптические системы. Все это привело к пониманию того, что современные специалисты в области лазерной физики и спектроскопии должны в полной мере владеть основами волоконной оптики и иметь возможность использования ее результатов для решения разнообразных научных и производственных задач.

Цель курса – дать студентам теоретические основы волоконной оптики, ознакомить их с эффектами локализации световых полей, распространением импульсов в оптических волокнах, особенностями нелинейно-оптических эффектов в направляющих структурах, а также дать представление о современных проблемах волоконной оптики и ее применениях в научных исследованиях и технологии.

Предлагаемая программа в полной мере решает поставленные задачи. Спецкурс «Волоконная оптика» рассчитан на студентов, которые специализируются по кафедре лазерной физики и спектроскопии. Теоретиче-

ская база курса основывается на материалах общего курса оптики. В процессе освоения спецкурса углубляются и развиваются представления, основы которых получены при изучении спецкурсов «Физика лазеров», «Нелинейная оптика». Полученные сведения важны для более глубокого и качественного усвоения ряда дисциплин специализации (когерентная оптика и голография, оптическая обработка информации).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные принципы локализации и направления света оптическими волокнами и волноводами;
- основные свойства, характеристики и распределение полей направляемых мод в волноведущих структурах разного типа;

уметь:

- прогнозировать эффекты и явления, возникающие при распространении световых волн в оптических волокнах и волноводах;

владеть:

- базовыми принципами и методами расчета направляющих свойств волноведущих структур.

Для направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) общее количество часов – 46; аудиторных – 18, из которых 14 часов – лекции, 4 – КСР.

Для направления специальности 1-31 04 01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий общее количество часов 38; аудиторных – 16, из которых 12 часов – лекции, 4 – КСР.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен (для направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) совместно с дисциплиной «Волоконная оптика»; для направления специальности 1-31 04 01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий совместно с дисциплинами «Лазерные технологии» и «Квантовая механика молекулярных систем»).

По учебной дисциплине «Волоконная оптика» предусмотрены лаборатории специализации общее количество часов – 28 и 30 (для направлений специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) и 1-31 04 01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий соответственно); аудиторные часы – 18. Форма текущей аттестации по лаборатории специализации «Волоконная оптика» - зачет.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-ом семестре.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение. Предмет волноводной оптики. История возникновения и развития линий и систем передачи оптических сигналов. Понятие направляющих свойств среды. Уравнения Максвелла. Волновое и параболическое уравнения. Однородные плоские волны. Распространение и отражение плоских волн. Граничные условия. Отражение и преломление на границе диэлектриков. Полное отражение. Сдвиг Гуса-Хэнхена.

2. Принципы локализации света в оптических волноводах. Тонкопленочные оптические волноводы. Волноводные свойства плоского диэлектрического слоя. Моды симметричного диэлектрического слоя. Волновые решения для направляемых мод. Поглощение и рассеяние направляемых мод. Планарные волноводы конечной ширины. Полосковые волноводы. Гребневые волноводы. Профильные волноводы. Многослойные волноводы

3. Распространение света в оптических волокнах. Ступенчатые оптические волокна. Лучевой и волновой анализ мод волокна. Направляемые моды в случае неограниченной оболочки. Многомодовые и одномодовые волокна. Условия отсечки. Слабонаправляющие волокна. Многослойные оптические волокна. Уравнения связанных волн. Связанные волокна. Направленные ответвители. Градиентные волокна. Лучевой анализ. Волновой расчет мод для волокон с параболическим профилем показателя преломления. Одномодовый режим. Анизотропные оптические волокна. Поляризационные свойства оптических волокон. Оптические волокна с анизотропией диэлектрической проницаемости. Волокна, сохраняющие поляризацию и поляризующие волокна. Анизотропия формы поперечного сечения. Оптические волокна с эллиптическим и прямоугольным сечениями. Поляризационная модовая дисперсия. Методы изготовления оптических волокон.

4. Распространение оптических импульсов в регулярных и нерегулярных волокнах. Распространение оптических импульсов в волокнах. Нерегулярные волокна. Механизмы потерь в волоконных волноводах. Дисперсионные свойства оптических волокон. Дисперсия групповой скорости. Волноводная и материальная дисперсия. Дисперсия показателя преломления. Нормальная и аномальная дисперсии. Дисперсионное уширение импульса. Методы компенсации дисперсии. Волоконно-оптические дифракционные решетки. Регулярные, чирпированные и аподизированные волоконно-оптические решетки. Длиннопериодные решетки. Применение волоконно-оптических решеток. Схемы записи волоконных решеток. Нелинейные эффекты в оптических волокнах. Преимущества волоконных волноводов по сравнению с объемными нелинейными средами. Вынужденные четырехфотонные процессы. ВКР и ВРМБ в оптических волокнах. Фазовая самомодуляция. Сжатие импульсов в оптических волокнах. Солитонные импульсы в оптических волокнах.

5. Принципы локализации и направления излучения в оптических волокнах. Полное внутреннее отражение. Самофокусировка световых лучей. Фотонные запрещенные зоны

6. Системы ввода/вывода оптического излучения в волоконные световоды. Ввод/вывод оптического излучения в волоконные волноводы. Ввод гауссовых пучков света в волновод. Числовая апертура. Линзовые системы ввода.

7. Оптические разветвители и мультиплексоры. X- и Y-образные разветвители. Волоконно-оптические мультиплексоры. Управляемые разветвители.

8. Волоконные системы передачи и обработки оптических сигналов. Волоконно-оптические датчики. Логические элементы на базе оптических волокон. Волоконно-оптические системы передачи информации.

9. Современные проблемы волоконной оптики. Активные оптические волокна. Типы волоконно-оптических усилителей. Волоконно-оптические лазеры. Волоконно-оптические датчики. Фотонные кристаллы. Понятие фотонной запрещенной зоны. Фотоннокристаллические и микроструктурированные волокна. Брэгговские волокна. Отражение от границы положительного и отрицательного диэлектриков.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	КСР		
1	Введение. Предмет волноводной оптики.	1						
2	Однородные плоские волны.	1						Устный опрос
3	Тонкопленочные оптические волноводы.	1						Проверка рефератов
4	Планарные волноводы конечной ширины.	1						
5	Ступенчатые оптические волокна.	2			4			Устный опрос
6	Градиентные волокна.	1						Проверка рефератов
7	Анизотропные оптические волокна.	1						
8	Распространение оптических импульсов в волокнах.	1			4			
9	Волоконно-оптические брэгговские решетки	1						
10	Принципы локализации и направления излучения в оптических волокнах					2		
11	Системы ввода/вывода оптического излучения в волоконные световоды				4			
12	Оптические разветвители и мультиплексеры					2		
13	Нелинейные эффекты в оптических волокнах.	2 (1)						
14	Волоконные системы передачи и обработки оптических сигналов				6			
15	Современные проблемы волоконной оптики.	2 (1)						
		14 (12)*			18	4		Экзамен

* в скобках указаны аудиторные часы для направления специальности 1-31 04
01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Н.Х.-Г. Унгер. Планарные и волоконные оптические волноводы. М.: Мир. 1980.
2. А. Снайдер, Дж. Лав. Теория оптических волноводов. М.: Радио и связь. 1987.
3. А.М Гончаренко, В.А. Карпенко, И.А. Гончаренко. Основы теории оптических волноводов. Минск: Белорусская наука. 2009.
4. И.А. Гончаренко. Методы расчета сложных волоконных световодов. Минск: Новое знание. 2012.
5. М. Адамс. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир. 1984.
6. А. Hasegawa. Optical solitons in fibers. Berlin: Springer. 1989.
7. Г. Агравал. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир. 1996.
8. C.R. Giles. Lightwave applications of fiber Bragg gratings. J. Lightwave Technology. V.15, No.8. P.1391-1404. 1997.
9. A. Cucinotta, F. Poli, S. Selleri. Photonic Crystal Fibers: Properties and Applications. Springer. 2007.
10. E. Desurvire. Erbium-doped fiber amplifiers. Principal and applications. New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley&Son, Inc. 1994.

Перечень дополнительной литературы

1. В.Ф. Взятыйшев. Диэлектрические волноводы. М.: Сов. Радио. 1970.
2. Д. Маркузе. Оптические волноводы. М.: Мир. 1974.
3. Р.Х. Столен. Нелинейные эффекты в волоконных световодах. ТИИЭР. Т.68, № 10. С.75-80. 1980.
4. А.С. Беланов, В.В. Григорьянц, В.Т. Потапов, А.Д. Шатров Передача оптических сигналов по световодам. "Радиотехника" / Итоги науки и техники ВИНТИ/, М. Т.30. С.1-256. 1984.
5. Д.Дж. Стерлинг. Техническое руководство по волоконной оптике. М.: «Лори». 1998.
6. Е.М. Дианов, П.В. Мамышев, А.М. Прохоров. Нелинейная волоконная оптика. Квантовая электроника. Т.15, №1. С.5-29. 1988.
7. Optical Solitons – Theory and Experiment / Edited by J.R. Taylor. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sidney: Cambridge University Press. 1992.
8. A. Bjarklev. Optical fiber amplifiers: design and system applications. Boston, London: Artech House, Inc. 1993.
9. А.М. Желтиков. Дырчатые волноводы. Успехи физических наук. Т.170, № 11. С.1204-1215. 2000.
10. J.C. Knight, T.A. Birks, R.F. Cregan et al. Photonic crystals as optical fibres – physics and applications. Optical Materials. V.11. P. 143-151. 1999.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Реферативные работы.

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Перечень тем реферативных работ

1. Тонкопленочные оптические волноводы.
2. Плоский анизотропный волновод.
3. Планарные волноводы конечной ширины.
4. Двухслойные оптические волокна. Волновой анализ мод волокна.
5. Многослойные оптические волокна.
6. Градиентные волокна. Волокна с параболическим профилем показателя преломления.
7. Связанные волноводы и направленные ответвители. Оптические волокна с несколькими сердцевинами.
8. Оптические волокна с анизотропией диэлектрической проницаемости. Волокна, сохраняющие поляризацию и поляризующие волокна.
9. Оптические волокна с анизотропией формы поперечного сечения. Оптические волокна с эллиптическим и прямоугольным сечениями.
10. Поляризационные свойства оптических волокон. Поляризационная модовая дисперсия.
11. Дисперсионные свойства оптических волокон. Методы компенсации дисперсии.
12. Нерегулярные волокна. Уравнения связанных волн. Связь мод в изогнутых волокнах.
13. Волоконно-оптические брэгговские решетки. Чирпированные и аподизированные волоконно-оптические решетки.
14. Нелинейные эффекты в оптических волокнах. Вынужденные четырехфотонные процессы. ВКР и ВРМБ в оптических волокнах.
15. Нелинейные эффекты в оптических волокнах. Фазовая самомодуляция. Сжатие импульсов в оптических волокнах.
16. Распространение солитонных импульсов в оптических волокнах.
17. Фотоннокристаллические и микроструктурированные волокна. Брэгговские волокна.
18. Оптические волокна, усиливающие оптическое излучение. Волоконно-оптические усилители.

Перечень тем лабораторных работ

1. Оптоэлектронные системы генерации и регистрации оптических сигналов.

- 2 Системы ввода/вывода оптического излучения в волоконные световоды.
- 3 Одномодовые и многомодовые оптические волокна.
- 4 Потери излучения в оптическом волокне.
- 5 Волоконные системы передачи и обработки оптических сигналов.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать защиту рефератов и устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно. Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается по формуле:

$$текущая = 0,8 \cdot \left(\frac{реф + устн}{2} \right) + ПБ - ШБ,$$

где *текущая* – это оценка текущей успеваемости, *реф* – оценка по десятибалльной шкале за защиту реферата, *устн* – оценка по десятибалльной шкале за устные ответы; *ПБ* – поощерительные баллы, начисляемые за выполнение дополнительных (необязательных) заданий, активность на занятиях (максимум 2 балла за семестр), *ШБ* – штрафные баллы, которые начисляются за пропуски занятий (0,3 балла за каждое пропущенное занятие), систематическое опоздание, нарушение учебной дисциплины.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена (для направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) совместно с дисциплиной «Волоконная оптика»; для направления специальности 1-31 04 01-06 Физика наноматериалов и нанотехнологий совместно с дисциплинами «Лазерные технологии» и «Квантовая механика молекулярных систем»), к экзамену допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не ниже 4 баллов. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как сред-

невзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Итоговая оценка рассчитывается по формуле:

$$\text{итог} = 0,4 \cdot \text{текущая} + 0,6 \cdot \text{экзамен}$$

где *итог* – итоговая оценка, *текущая* – оценка текущей успеваемости, *экзамен* – экзаменационная оценка, 0,4 и 0,6 – весовые коэффициенты текущей успеваемости и экзаменационной оценки соответственно.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по лаборатории специализации рекомендуется использовать устные опросы. Устные опросы проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на устный опрос по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за устные опросы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка каждого из устных ответов проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости рассчитывается по формуле:

$$\text{оценка} = 0,8 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \text{устн}_i}{n} + \text{ПБ} - \text{ШБ},$$

где *оценка* – это оценка текущей успеваемости, *устн_i* – оценка по десятибалльной шкале за устный ответ, *n* – количество устных ответов, *ПБ* – поощрительные баллы, начисляемые за выполнение дополнительных (необязательных) заданий (по 0,5 балла за задание), активность на занятиях, *ШБ* – штрафные баллы, которые начисляются за пропуски занятий, систематическое опоздание, нарушение учебной дисциплины.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета, к зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика лазеров	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.)
Нелинейная оптика	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.)
Оптическая обработка информации.	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.)
Когерентная оптика и голография	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г.)

В.М. АНИЩИК