Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе и образовательным инновациям
_____ О.И. Чуприс
«04» декабря 2019 г.

Регистрационный № УД-11443/уч.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СПЕЦПРАКТИКУМ «ФОТОНИКА МИКРО- И НАНООБЪЕКТОВ»

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности:

1-31 80 05 Физика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 05-2019; учебного плана № G31-062/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Д.В. Горбач - доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Курилкина С.Н. – главный научный сотрудник Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 03 декабря 2019 г.)

Зав.кафедрой_____Толстик А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – подготовить специалистов, способных самостоятельно исследовать характеристики оптические элементы с наноразмерным структурированием, владеть методиками преобразования световых полей посредством таких элементов, управлять перемещением микроразмерных объектов.

Задачи учебной дисциплины:

1. Углубить и развить представления студентов о взаимодействии света с микро- и наноструктурированными оптическими элементами.
2. Обучить возможным применениях таких элементов.
3. Обучить принципам формирования оптической ловушки.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра): дисциплина «Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов» нацелена на подготовку магистров к проведению самостоятельной научно-исследовательской в сфере практической реализации преобразования световых полей посредством наноструктурированных элементов, управления перемещением микроразмерных объектов.

Учебная дисциплина относится к модулю по выбору «Лазеры и прикладная спектроскопия» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.: Программа дисциплины основывается на знаниях и представлениях, полученных при изучении дисциплин «Оптика», «Когерентная оптика и голография», «Спектроскопия и диагностика нано- и микрообъектов». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины, важны для более глубокого и качественного усвоения дисциплины «Спектроскопия и диагностика нано- и микрообъектов».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов» должно обеспечить формирование следующей компетенции:

Специализированные компетенции:

СК-12 - Быть способным использовать в научно-исследовательской деятельности экспериментальные методы и системы диагностики микро- и нанообъектов.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные закономерности взаимодействия оптического излучения с наноструктурами, основные механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом и методы моделирования данных процессов, основные принципы локализации и направления света оптическими волокнами и волноводами;

уметь: разрабатывать физико-математические и численные модели для решения задач распространения лазерного излучения в фотонных структурах, прогнозировать эффекты и явления, возникающие при распространении световых волн в оптических волноводах, осуществлять монтаж и настройку установки для формирования оптической ловушки.

владеть: навыками моделирования распространения лазерного излучения волноводных наноструктурах, навыками записи тонких и объемных голограмм и определения угловой и спектральной селективности, навыками калибровки параметров системы визуализации микрообъектов.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 2 семестре. Форма получения высшего образования — очная, дневная. Всего на изучение учебной дисциплины «Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов» отведено: 90 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лабораторных занятий – 48 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Формирование наноструктур в фоточувствительном полимерном материале. Угловая и спектральная селективность. Голографическая запись серии объемных фазовых отражательных голограмм различных периодов. Термическое усиление и световое фиксирование записанных голограмм. Измерение дифракционной эффективности, контуров угловой и спектральной селективности. Вычисление периодов наноструктур. Расчет кинетики амплитуды модуляции показателя преломления (Δn) в наноструктуре и вычисление коэффициента диффузии фоточувствительных молекул. Расчет длины волны максимумов и оценка ширины контуров угловой и спектральной селективности.

Тема 2. Изучение свойств планарных волноводных структур. Ввод лазерного излучения в волноводную полоску с использованием призменного элемента связи. Определение углов синхронизма для призменного ввода и расчет волноводного показателя преломления. Вывод излучения из волновода с использованием второго призменного элемента связи. Анализ поляризационных характеристик мод плоского волновода. Расчет дисперсионных кривых ТЕ- и ТМ-мод и эффективной толщины волновода. Расчет распределения полей мод волновода.

Тема 3. Изучение свойств планарных волноводов с анизотропным показателем преломления и брэгговскими решетками. Анализ состояния поляризации вышедшего из волновода лазерного пучка при одновременном возбуждении ТЕ- и ТМ-мод. Сравнительный анализ поляризационных характеристик мод для изотропного и анизотропного волновода. Расчет величины фотонаведенного двулучепреломления. Возбуждение мод волновода с брэгговской рельефной решеткой и измерение углов синхронизма для гармонических составляющих моды. Расчет периода рельефной решетки.

Тема 4. Изучение дифракционных микроструктурированных жидкокристаллических элементов. Расчет зависимости эффективного показателя преломления ЖК от внешнего электрического напряжения. Реконструкция модуляции показателя преломления ЖК дифракционного элемента при различных управляющих напряжениях. Экспериментальное исследование зависимости эффективного показателя преломления ЖК от внешнего электрического напряжения. Теоретический анализ возможности реализации дифракции и состояния поляризации дифрагированного света. Экспериментальное исследование поляризационных особенностей дифракции линейно поляризованного излучения на ЖК дифракционной структуре в зависимости от управляющего напряжения.

Тема 5. Изучение волноводных микроструктурированных жидкокристаллических элементов. Анализ условий реализации эффекта полного внутреннего отражения от электрически контролируемой границы раздела двух областей ЖК с различными топологиями ориентации директора.

Расчет эффективного показателя преломления ЖК в смежных доменных областях с целью анализа условия возбуждения волноводного режима. Ввод лазерного излучения в волновод. Экспериментальное исследование поляризационных особенностей волноводного распространения линейно поляризованного излучения в ЖК волноводном элементе.

Тема 6. Система формирования оптической ловушки и детектирования микрочастиц. Монтаж системы формирования оптической ловушки. Юстировка оптической схемы. Измерение уровня плотности мощности лазерного излучения. Калибровка системы доставки излучения в зависимости от применяемых светофильтров. Настройка состояния оптимальной видности области манипуляции частицами. Калибровка системы визуализации частиц. Определение абсолютного линейного размера микрочастицы.

Тема 7. Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной гауссовым световым пучком. Калибровка системы доставки излучения. Определение уровня энергии, необходимого для захвата частицы. Определение максимальной возможной скорости направленного перемещения микрочастиц в условиях эффективного захвата (для каждого уровня энергии). Оценка величины удерживающей силы создаваемой оптической ловушкой.

Тема 8. Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной сингулярным световым пучком. Монтаж оптической системы формирования сингулярного светового пучка. Калибровка системы доставки излучения**.** Определение уровня энергии, необходимого для захвата частицы. Определение максимальной возможной скорости направленного перемещения микрочастиц в условиях эффективного захвата (для каждого уровня энергии). Оценка величины удерживающей силы создаваемой оптической ловушкой.

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	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Формирование наноструктур в фоточувствительном полимерном материале. Угловая и спектральная селективность.				6			отчет
2	Изучение свойств планарных волноводных структур.				6			Отчет, устный опрос
3	Изучение свойств планарных волноводов с анизотропным показателем преломления и брэгговскими решетками.				6			Отчет, устный опрос
4	Изучение дифракционных микроструктурированных жидкокристаллических элементов.				6			Отчет, устный опрос
5	Изучение волноводных микроструктурированных жидкокристаллических элементов.				6			Отчет, устный опрос
6	Система формирования оптической ловушки и детектирования микрочастиц.				6			Отчет, устный опрос

7	Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной гауссовым световым пучком.				6			Отчет, устный опрос.
8	Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной сингулярным световым пучком.				6			Отчет, устный опрос, решение кейсов.
Всего					48			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Gennerich, A. Optical Tweezers Methods and Protocols / A. Gennerich // Springer, 2017. – 555 p.
2. Tolstik, A. Photonics. / A. Tolstik, I. Agishev, D. Gorbach, V. Myshkovets, A. Maksimenka, G. Baevich, A. Melnikova, A. Lyalikov, A. Fedotov, J. Peuteman, M. Tivanov, N. Strekal, G. Vasilyuk, I. Semchenko, S. Khakhomov. – Riga Technical University. Riga. – 2019. – 535 p.
3. Могильный В.В. Полимерные фоторегистрирующие материалы и их применение: курс лекций / В.В. Могильный – Минск: БГУ, 2003.
4. Андреева О.В. Прикладная голография: учебное пособие / О.В. Андреева – Санкт-Петербург: ИТМО, 2008.
5. Никоноров Н.В. Волноводная фотоника: учебное пособие / Н.В. Никоноров, С.С. Шандаров – Санкт-Петербург: ИТМО, 2008.

Перечень дополнительной литературы

1. Сойфера В.А. Дифракционная нанофотоника. / В.А. Сойфера. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 608 с.
2. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Федоров А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартанян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. СПб.: Недра. – 2005.
3. Новотный Л., Хехт Б. Основы наноотпики. М.: Физматлит. – 2011.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Отчет по лабораторной работе, включающий оценку погрешностей вычислений.
2. Устный опрос.
3. Решение кейсов.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов» учебным планом предусмотрен зачет

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г);

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- Отчеты по лабораторной работе – 40 %;
- Устные ответы по теме выполняемой лабораторной работы – 30 %;
- Решение кейсов – 30 %.

К зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Примерная тематика лабораторных занятий

Тема 1. Формирование наноструктур в фоточувствительном полимерном материале. Угловая и спектральная селективность. Голографическая запись серии объемных фазовых отражательных голограмм различных периодов. Определение параметров сформированных структур: дифракционной эффективности, угловой и спектральной селективности. Вычисление периодов наноструктур. Теоретическая оценка ширины контуров угловой и спектральной селективности**. (6 часов).**

Тема 2. Изучение свойств планарных волноводных структур. Ввод лазерного излучения в волноводную полоску с использованием призменного элемента связи. Определение углов синхронизма для призменного ввода и расчет волноводного показателя преломления. Вывод излучения из волновода с использованием второго призменного элемента связи. Анализ поляризационных характеристик мод плоского волновода. Расчет дисперсионных кривых ТЕ- и ТМ-мод и эффективной толщины волновода. Расчет распределения полей мод волновода. **(6 часов).**

Тема 3. Изучение свойств планарных волноводов с анизотропным показателем преломления и брэгговскими решетками. Анализ состояния поляризации вышедшего из волновода лазерного пучка при одновременном возбуждении ТЕ- и ТМ-мод. Сравнительный анализ поляризационных характеристик мод для изотропного и анизотропного волновода. Расчет величины фотонаведенного двулучепреломления. Возбуждение мод волновода с брэгговской рельефной решеткой и измерение углов синхронизма для гармонических составляющих моды. Расчет периода рельефной решетки. **(6 часов).**

Тема 4. Изучение дифракционных микроструктурированных жидкокристаллических элементов. Расчет зависимости эффективного показателя преломления ЖК от внешнего электрического напряжения. Экспериментальное исследование зависимости эффективного показателя преломления ЖК от внешнего электрического напряжения. Теоретический анализ возможности реализации дифракции и состояния поляризации дифрагированного света. Экспериментальное исследование поляризационных особенностей дифракции линейно поляризованного излучения на ЖК дифракционной структуре в зависимости от управляющего напряжения. **(6 часов).**

Тема 5. Изучение волноводных микроструктурированных жидкокристаллических элементов. Реализации эффекта полного внутреннего отражения от электрически контролируемой границы раздела двух областей ЖК с различными топологиями ориентации директора. Расчет эффективного показателя преломления ЖК в смежных доменных областях. Ввод лазерного излучения в волновод. Экспериментальное исследование поляризационных особенностей волноводного распространения линейно поляризованного излучения в ЖК волноводном элементе. **(6 часов).**

Тема 6. Система формирования оптической ловушки и детектирования микрочастиц. Монтаж системы формирования оптической ловушки. Калибровка системы доставки излучения в зависимости от применяемых светофильтров. Калибровка системы визуализации частиц. Определение абсолютного линейного размера микрочастицы. **(6 часов).**

Тема 7. Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной гауссовым световым пучком. Определение уровня энергии, необходимого для захвата частицы. Определение максимальной возможной скорости направленного перемещения микрочастиц в условиях эффективного захвата. Оценка величины удерживающей силы создаваемой оптической ловушкой. **(6 часов).**

Тема 8. Реализация захвата микрочастиц оптической ловушкой, сформированной сингулярным световым пучком. Определение уровня энергии, необходимого для захвата частицы ловушкой, сформированной сингулярного светового пучка. Определение максимальной возможной скорости направленного перемещения микрочастиц в условиях эффективного захвата (для каждого уровня энергии). Оценка величины удерживающей силы создаваемой оптической ловушкой. **(6 часов).**

Примерный перечень кейсов

1. Калибровка силы оптического захвата микрообъекта по силе вязкого трения.
2. Калибровка силы оптического захвата микрообъекта по броуновскому движению.
3. Калибровка силы оптического захвата по определению его динамики.

4. Определить условия захвата микрочастицы с известными параметрами.

5. Определить физические параметры неизвестной микрочастицы используя оптический пинцет.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется ***метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод),*** который предполагает***:***

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

В дисциплине «Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов» магистрантам для решения предлагается один из следующих кейсов:

- определить условия захвата микрочастицы с известными параметрами.
- определить физические параметры неизвестной микрочастицы используя оптический пинцет.

При организации образовательного процесса используется ***практико-ориентированный подход,*** который предполагает***:***

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Спектральная селективность голограммы.
2. Угловая селективность голограммы.
3. Волноводное распространение света.
4. Волноводные моды.
5. Условия эффективного ввода лазерного излучения в планарный волновод.
6. Фотонаведенное двулучепреломление.
7. Влияние электрического поля на ориентацию директора ЖК.
8. Влияние опорных поверхностей на ориентацию директора ЖК.
9. Анализ состояния поляризации света.
10. Полное внутреннее отражение.

11. Силы в удерживающих полях. Режимы взаимодействия светового поля с микрочастицами.
12. Режим Ми.
13. Режим Релея.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений Протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.
Квантовые и нелинейные эффекты в оптике	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений Протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на _____/_____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой
_____ _____ _____

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
_____ _____ _____