

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инициативам

« » 2020 г.
О.Н. Здрок



Регистрационный № УД- 9210 уч.

Когерентная оптика и голография

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности:

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

2020 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, ОСВО 1-31 04 01-2013, учебных планов G31-218/уч., №G31и-219/уч., G31-214/уч., G31и-215/уч. от 20.02.2018 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.А. Мельникова – доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Самцов М.П. – заведующий лабораторией спектроскопии НИИПФП им. А.Н. Севченко, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 20 от 22 июня 2020 г.);

Советом физического факультета (протокол № 12 от 25 июня 2020 г.)

Зав.кафедрой _____



Толстик А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – освоение фундаментальных основ когерентной оптики и голографии, включающие такие понятия, как корреляция световых полей, степень когерентности светового источника, пространственная и временная когерентность и их связь со спектральной шириной и размерами источника и изучить основные физические принципы записи и восстановления голографических изображений.

Задача учебной дисциплины:

1. изучение основных физических принципов записи и восстановления голографических изображений.
2. Ознакомление с базовыми схемами записи голографических изображений и с современными технологиями изготовления и тиражирования защитных голографических элементов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: дисциплина «Когерентная оптика и голография» дает возможность получить студентам знания, которые должны позволить им грамотно не только выбрать из имеющегося арсенала приборов и средств измерений, необходимые для получения экспериментальных данных при выполнении курсовых и дипломных работ, но и оптимизировать режимы их работы. Кроме того, студенты, после усвоения материала дисциплины, должны уметь критически оценивать результаты экспериментальных спектроскопических исследований, приведенных в различных научных изданиях.

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций 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 «Введение в специализацию. Электромагнитная природа света. Экспериментальная спектроскопия», «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины, важны для более глубокого и качественного усвоения дисциплин «Физика лазеров и нелинейная оптика» и «Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Когерентная оптика и голография» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

Академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям),
направление специальности: 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-

исследовательской, научно- производственной и научно-педагогической работы.

– ПК-15. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

Для специальности **1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**
Профессиональные компетенции:

– ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

– ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

– ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

– ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

– ПК-10. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

– ПК-11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

– ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.

– ПК-13. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

– основные положения теории когерентности световых полей;
– основные схемы записи и восстановления голографических изображений;

– виды голографических изображений по спектральному составу;
– современные технологии изготовления и тиражирования голографических элементов;

уметь:

– рассчитать значения временной и пространственной когерентности исходя из спектральных характеристик и размеров источника излучения;

- рассчитать дифракционную эффективность фазовой голограммы при заданной амплитуде модуляции показателя преломления;
- провести оценку геометрии экспериментальной установки для реализации записи на данной длине волны тонких и объемных голограмм на фотоэмульсии с заданной толщиной;

владеть:

- методами расчета временной и пространственной когерентности исходя из спектральных характеристик и угловых размеров источника излучения;
- методами оценки геометрии экспериментальной установки для реализации записи на данной длине волны тонких и объемных голограмм на фотоэмульсии с заданной толщиной;
- методами экспериментального измерения временной и пространственной когерентности.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Когерентная оптика и голография» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – для специальности **1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**: 84 часа, в том числе 30 аудиторных часов, из них: лекции – 26 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- для очной формы получения высшего образования для специальности **1-31 04 01 Физика (по направлениям)**, направление специальности: 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность): 84 часа, в том числе 30 аудиторных часов, из них: лекции – 26 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в когерентную оптику.

Краткий обзор основных этапов развития когерентной оптики. Понятие когерентности. Опыт Юнга по интерференции света на двух щелях, как критерий когерентности оптического излучения. Общая характеристика достигнутых параметров когерентных источников: мощность, длительность, спектральная ширина, расходимость. Фундаментальные проблемы физики, решаемые с их использованием лазеров: лазерный термоядерный синтез, нелинейно-оптические эффекты, голография, нелинейная оптика.

Тема 2. Когерентность световых полей.

Вынужденное излучение. Равновесное состояние системы «планковское излучение – двухуровневая модель атома». Флуктуация равновесного излучения. Формула Планка, формула Вина, формула Реллея-Джинса. Связь когерентности пучка с временными флуктуациями и спектральным составом излучения на примере ударного уширения. Частотное распределение линии испускания с ударным уширением. Временная зависимость хаотического светового пучка. Время когерентности. Длина когерентности. Связь когерентных свойств с размерами источника. Площадь и объем когерентности. Вывод соотношений для площади и объема когерентности, исходя из соотношений неопределенности. Парадокс Вавилова.

Тема 3. Функция когерентности.

Комплексное представление световых полей. Функция взаимной когерентности. Комплексная степень когерентности. Экспериментальное измерение модуля амплитуды комплексной степени когерентности. Общий вид выражения комплексной степени когерентности для протяженного источника. Комплексная степень когерентности для протяженного источника в форме диска. Определение угловых размеров звезд. Звездный интерферометр Майкельсона. Волновые уравнения для функции взаимной когерентности.

Тема 4. Временная когерентность лазерных источников.

Временная когерентность многомодового (многочастотного) лазера.

Тема 5. История развития и становления голографии.

Основные схемы записи. Краткая историческая справка. Схема Габора. Схема Лейта-Упатниекса. Схема Денисюка. Основные свойства голограммы. Голограмма как дифракционная решетка. Голограмма точки – зонная пластинка Френеля. Интерференционная структура голограммы точечного предмета (схемы Габора и Лейта-Упатниекса). Основные свойства голограмм.

Тема 6. Основные соотношения для голограмм.

Свойства восстановленных изображений. Мнимые и действительные (псевдоскопические) изображения. Зависимость свойств голографических

изображений от условий восстановления. Требования к когерентности источников при записи и восстановлении голограмм.

Тема 7. Дифракционная эффективность и селективность голограмм плоских и объемных голограмм.

Дифракционная эффективность плоских и объемных голограмм. Спектральная и угловая селективность. Дифракционная эффективность многоцветных голограмм.

Тема 8. Фурье голограммы.

Оптическое преобразование Фурье с помощью линзы. Основные схемы записи и восстановления голограммы Фурье. Безлинзовая голограмма Фурье. Свойства голограммы Фурье и их применение (пространственная фильтрация и распознавание образов.)

Тема 9. Виды голограмм по спектральному составу и способу записи.

Ахроматическое, монохроматическое и цветное голографическое изображение. Аналоговая и цифровая запись голограмм. 3D голограммы, 2D голограммы, 3D/2D голограммы, DOT-MATRIX голограммы. Запись скрытого изображения.

Тема 10. Радужная голограмма (голограмма Бентона-Власова).

Двухступенчатая запись (метод Бентона). Одноступенчатая запись (метод Власова). Запись цветного изображения.

Тема 11. Фоточувствительные среды для записи голограмм.

ПФГ. Фоторезист. Бихромированный желатин. Фотополимеры. Отбеливание голограмм

Тема 12. Общие принципы голографической интерферометрии.

Метод реального времени и метод двух экспозиций. Интерференционно-голографические методы определения рельефа поверхности.

Тема 13. Применение голографии.

Пространственная фильтрация и опознавание образов. Голографическая пространственная фильтрация. Голографические методы компенсации фазовых искажений. Метод сопряженной опорной волны.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

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
1.1	Введение в когерентную оптику	2						Устный опрос
1.2	Когерентность световых полей	2						Устный опрос
1.3	Функция когерентности	2						Устный опрос
1.4	Временная когерентность лазерных источников	2					2	Устный опрос, Контрольная работа
1.5	История развития и становления голографии	2						Устный опрос
1.6	Основные свойства голограммы	2						Устный опрос
1.7	Дифракционная эффективность и селективность голограмм плоских и объемных голограмм	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
1.8	Фурье голограммы.	2						Устный опрос
1.9	Виды голограмм по спектральному составу изображений и методы их записи	2						Устный опрос
1.10	Радужная голограмма (голограмма Бентона-Власова)	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
1.11	Фоточувствительные среды для	2						Устный опрос,

	записи голограмм.							
1.12	Общие принципы голографической интерферометрии	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
1.13	Применение голографии	2					2	Устный опрос, Тематические презентации
Итого		26					4	Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. М. Франсон, С. Сланский. Когерентность в оптике. М., Наука, 2015.
2. Р. Лоудон. Квантовая теория света. М., Мир, 2016.
3. Л.М. Сороко. Основы когерентной оптики и голографии. М. Наука. 2017.
4. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., Наука, 2013.
5. Р. Кольер, К. Беркхард, Л. Лин. Оптическая голография. М., Мир; 2013.
6. М. Миллер. Голография. Л-д, Машиностроит., М., Мир; 2016.
7. Ю.И. Островский, М.М. Бутусов, Г.В. Островская. Голографическая интерферометрия. М., Наука; 2017.
8. Ч.Вест Голографическая интерферометрия, Москва Мир, 2012.
9. Оптическая голография. Под. Ред. Дж. Коулфилда, т.1,2. М.Мир ; 2012.
10. В.П. Рябухо Радужная голограмма /Физическое образование в вузах, 2003, т.9, в.4, С.88-89.

Перечень дополнительной литературы

1. Л. Перина. Когерентность света. М. Мир, 1974
2. Ю.И. Островский. Голография и ее применение. М. Мир, 1973.
3. Дж. Струок. Введение в когерентную оптику и голографию М., Наука 1976
4. Л.С.Гайда, А.Л.Толстик, В.В.Могильный, Е.А.Мельникова, Д.В.Гузатов, А.Ч.Свистун. Лабораторный практикум по когерентной оптике и голографии. Гродно: ГрГУ. 2013. – 90 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Устные опросы.
 2. Контрольная работа.
 3. Тематические презентации.
 4. Учебная дискуссия
- Формой текущей аттестации по дисциплине «Когерентная оптика и голография» учебным планом предусмотрен экзамен
- 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 приказ № 189-ОД от 31.03.2020.

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь 21-04-01/105 от 22.12.2003).

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:

- Контрольная работа – 40 %;
- Устный опрос – 20 %;
- Учебная дискуссия – 20 %.
- Тематические презентации – 20 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.4. Временная когерентность лазерных источников.
Временная когерентность многомодового (многочастотного) лазера. (2 ч.)

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 1.13. Применение голографии. Пространственная фильтрация и опознавание образов. Голографическая пространственная фильтрация. Голографические методы компенсации фазовых искажений. Метод сопряженной опорной волны. (2 ч.)

Форма контроля – тематические презентации по теме «Применение голографии».

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса по дисциплине «Когерентная оптика и голография» используется метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. При представлении тематических презентаций по темам управляемой самостоятельной работы студенты

принимают участие в групповой учебной дискуссии, анализируют представленную информацию, высказывают свое мнения и предположения о перспективных направлениях развития данных отраслей.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемых тем, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине «Когерентная оптика и голография» следует использовать комплекс учебных и учебно-методических материалов, включающий методические указания к подготовке рефератов и тематических презентаций, материалы текущего контроля и текущей аттестации, вопросы для подготовки к зачету, перечень кейсов и вводные инструкции к ним, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, дополнительных информационных ресурсов, размещенных на портале eduphys.bsu.by.

Задания УСР по учебной дисциплине «Когерентная оптика и голография» включают в себя три модуля различной сложности в зависимости от уровня подготовки студента:

1. Участие в учебной дискуссии.
2. Подготовка тематических презентаций и выступление с докладом на тему презентаций.
3. Выполнение контрольной работы.

Темы учебных дискуссий

1. Основные схемы записи.
2. Схема Габора.
3. Схема Лейта-Упатниекса.
4. Схема Денисюка.
5. Голограмма как дифракционная решетка
6. Схемы Габора и Лейта-Упатниекса.
7. Свойства восстановленных изображений.
8. Мнимые и действительные (псевдоскопические) изображения.
9. Требования к когерентности источников при записи и восстановлении голограмм.
10. Основные схемы записи и восстановления голограммы Фурье.
11. Свойства голограммы Фурье и их применение.
12. 3D голограммы, 2D голограммы, 3D/2D голограммы, DOT-MATRIX голограммы.
13. Радужная голограмма (голограмма Бентона-Власова).

14. Применение голографии.

Примерный перечень вопросов контрольной работы

1. Понятие когерентности. Опыт Юнга по интерференции света на двух щелях, как критерий когерентности оптического излучения.
2. Общая характеристика достигнутых параметров когерентных источников: мощность, длительность, спектральная ширина, расходимость.
3. Фундаментальные проблемы физики, решаемые с их использованием лазеров: лазерный термоядерный синтез, нелинейно-оптические эффекты, голография, нелинейная оптика.
4. Вынужденное излучение. Равновесное состояние системы «планковское излучение – двухуровневая модель атома». Флуктуация равновесного излучения.
5. Формула Планка, формула Вина, формула Реллея-Джинса.
6. Связь когерентности пучка с временными флуктуациями и спектральным составом излучения на примере ударного уширения. Частотное распределение линии испускания с ударным уширением. Временная зависимость хаотического светового пучка.
7. Время когерентности. Длина когерентности. Связь когерентных свойств с размерами источника. Площадь и объем когерентности.
8. Вывод соотношений для площади и объема когерентности, исходя из соотношений неопределенности. Парадокс Вавилова.
9. Комплексное представление световых полей. Функция взаимной когерентности. Комплексная степень когерентности.
10. Экспериментальное измерение модуля амплитуды комплексной степени когерентности. Общий вид выражения комплексной степени когерентности для протяженного источника.
11. Комплексная степень когерентности для протяженного источника в форме диска. Определение угловых размеров звезд. Звездный интерферометр Майкельсона.
12. Волновые уравнения для функции взаимной когерентности.
13. Временная когерентность многомодового (многочастотного) лазера.

Примерный перечень тем тематических презентаций

1. Параметры современных когерентных источников (мощность, длительность, спектральная ширина, расходимость) и фундаментальные проблемы физики, решаемые с их использованием.
2. Методы разрушения когерентности
3. Спеклы
4. Современные лазерные установки
5. Когерентное состояние вещества

6. Конденсат Бозе-Эйнштейна
7. Лазерное охлаждения вещества
8. Фоточувствительные среды.
9. Компьютерная голография
10. Применение голографии
11. Современные голографические установки.
12. Способы защиты голограмм от подделок.
13. Современные технологии записи художественных голограмм
14. Спеклограммы.
15. Компакт-диски. Принципы записи и чтения

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. История развития основных идей голографии.
2. Проблема когерентности в оптике. Пространственная и временная когерентности.
3. Двухлучевая интерференция. Практические схемы для наблюдения интерференционных картин.
4. Многолучевая интерференция.
5. Дифракция. Зоны Френеля. Дифракция на круглом отверстии и краю экрана.
6. Дифракционные решетки. Распределение амплитуд дифрагировавших волн от угла. Фазовые пропускающая и отражательные дифракционные решетки.
7. Дифракционная теория оптических инструментов Аббе. Пространственная фильтрация изображений.
8. Основные оптические схемы в голографии. Схемы Габора, Лейта и Упатниекса, Денисюка.
9. Регистрирующие среды для получения голограмм. Характеристики фотографических материалов для голографии.
10. Голографическая интерферометрия.
11. Цветная голография. Синтез голограмм.
12. Радужная голография.
13. Голографические кино и телевидение.
14. Голография в школьном курсе физики. Элективный курс по голографии.

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)
Физика лазеров и нелинейная оптика	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений (протокол № 20 от 20 июня 2020 г.)
Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография»	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений (протокол № 20 от 20 июня 2020 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
