

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«30» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Регистрационный № УД- 8780 уч.

**Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика,  
когерентная оптика и голография»**

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

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направления специальности:

1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность)

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013, учебных планов №G31-162/уч. и №G31и-177/уч. от 30.05.2013 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

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

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

**А.Л. Толстик** – заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**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 – дать студентам практические основы физики лазерной генерации, ознакомить их с наиболее распространенными лазерными системами, дать представление о методах юстировки различных лазерных резонаторов и характерных параметрах генерируемого излучения, а также познакомить с различными механизмами оптической нелинейности и нелинейно-оптическими методами управления частотой лазерного излучения; сформировать у студентов практические навыки исследования временной и пространственной когерентности источников квазимонохроматического излучения; записи тонких и объемных голограмм и исследования их спектральной и угловой селективности; записи голограммы Фурье и приобрести навыки измерения сдвига объектов интерференционно-голографическим методом двух экспозиций

### Задачи учебной дисциплины:

1. Получение студентами практических навыков юстировки лазеров и управления лазерным излучением, измерения его характеристик.
2. Изучение базовых схем реализации различных режимов генерации, с физикой протекающих процессов, методами управления частотой генерации и т.д
3. Изучение основных физических принципов записи и восстановления голографических изображений и их свойств.
4. Ознакомление студентов с базовыми схемами записи голографических изображений и с интерференционно-голографическим методом двух экспозиций.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием: дисциплина Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, 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 «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция», «Введение в специализацию».

Электромагнитная природа света. Экспериментальная спектроскопия». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины, важны для более глубокого и качественного усвоения дисциплин «Физика лазеров и нелинейная оптика» и «Когерентная оптика и голография. Современные лазерные технологии».

#### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, 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.

##### **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.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

– основные положения теории лазерной генерации и свойства лазерного излучения;

– основные схемы получения различных динамических режимов генерации;

– методы управления частотой лазерной генерации;

– наиболее распространенные типы лазеров и области использования лазерного излучения;

– понятие нелинейной среды и механизмы оптической нелинейности;

– основные нелинейные явления (генерация второй и более высоких гармоник, вынужденное комбинационное рассеяние);

– 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;

– основные свойства, характеристики и распределение полей направляемых мод в волноводящих структурах разного типа.

**уметь:**

– провести юстировку лазерного резонатора;

– провести измерение параметров генерируемого излучения;

– рассчитать мощность генерации лазера, работающего в непрерывном режиме;

– рассчитать энергию, пиковую мощность и длительность импульса лазера в режиме модуляции добротности;

- рассчитать длительность импульса и расстояние между импульсами лазера в режиме синхронизации мод;
- провести оценку ширины линии генерации лазера с внутрирезонаторными дисперсионными элементами (призма, дифракционная решетка, интерферометр Фабри-Перо);
- рассчитать нелинейное изменение показателя преломления для различных сред и механизмов взаимодействия лазерного излучения с веществом;
- рассчитать эффективность генерации второй и более высоких гармоник;
- 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 волокнах и волноводах.

**владеть:**

- методами реализации различных динамических режимов генерации;
- методами расчета энергетических и динамических характеристик лазерной генерации;
- методами оценки ширины линии генерации лазера с внутрирезонаторными дисперсионными элементами;
- методами реализации различных нелинейно-оптических процессов;
- методами расчета эффективности нелинейного взаимодействия лазерного излучения со средой;
- методами расчета эффективности параметрического преобразования световых полей;
- навыками моделирования распространения лазерного излучения в слоистых и волноводных наноструктурах;
- навыками записи тонких и объемных голограмм и определения угловой и спектральной селективности;
- навыками записи голограммы Фурье;
- базовыми принципами и методами расчета направляющих свойств волноводных структур.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 138 часов, в том числе 80 аудиторных часов, из них: лабораторные занятия – 80 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Физика лазеров.

**Тема 1.1. Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Режим свободной генерации.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом ознакомиться с физическими принципами его работы в режиме свободной генерации; приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности импульса генерации; определить зависимости энергетических характеристик генерации от мощности накачки; рассчитать коэффициент полезного действия лазера, пороговую мощность и эффективность системы накачки.

**Тема 1.2. Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме активной модуляции добротности; приобрести навыки юстировки резонатора и электрооптического затвора (ячейки Поккельса); изучить зависимость длительности импульса генерации от мощности накачки и времени задержки включения затвора; освоить методики оптимизации энергетических и временных характеристик генерации.

**Тема 1.3. Режим пассивной модуляции добротности.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме пассивной модуляции добротности с помощью кристаллов LiF с центрами окраски, приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности наносекундных световых импульсов; проанализировать условия перехода от пикового режима свободной генерации к режиму формирования одиночного импульса.

**Тема 1.4. Перестраиваемые лазеры. Лазеры на красителях.** Изучить принципы построения лазеров с перестраиваемой частотой генерации; исследовать эффективность перестройки частоты генерации лазера на растворе красителя с использованием дисперсионного резонатора (дифракционная решетка, призма); наблюдать эффект затягивания частоты генерации; сравнить характеристики генерации лазера с селективным и неселективным резонаторами (ширина линии генерации, диапазон перестройки).

**Тема 1.5. Перестраиваемые лазеры с распределенной обратной связью.** Изучить принципы спектральной селекции излучения в лазерах со стационарной и динамической распределенной обратной связью, получить навыки юстировки РОС-лазеров; исследовать энергетические и спектральные характеристики РОС-лазера на красителе.

## Раздел 2. Нелинейная оптика.

**Тема 2.1. Перестраиваемые лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния.** Изучить принципы вынужденного комбинационного рассеяния, получить навыки юстировки ВКР-лазера; исследовать энергетические и спектральные характеристики ВКР-преобразователя на основе кристалла KGW.

**Тема 2.2. Генерация второй гармоники.** Ознакомиться с явлением генерации второй гармоники лазерного излучения; измерить зависимости интенсивности второй гармоники от угла ориентации кристаллов [триборат лития  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO) с первым типом взаимодействия и титанил фосфата калия  $\text{KTiOPO}_4$  (КТР) со вторым типом взаимодействия] и интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения во вторую гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

**Тема 2.3. Сложение частот и генерация третьей гармоники.** На примере генерации третьей гармоники ознакомиться с явлением генерации суммарной частоты при параметрических процессах в средах с квадратичной нелинейностью; измерить зависимости интенсивности третьей гармоники от угла ориентации кристаллов [триборат лития  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO) с первым типом взаимодействия и дидейтерофосфат калия  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  ( $\text{KD}^*\text{P}$ ) со вторым типом взаимодействия] и интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера и частоте второй гармоники; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения в третью гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

**Тема 2.4. Параметрическая генерация света.** Цель работы: Ознакомиться с явлением параметрической генерации света и принципом работы параметрического генератора на кристалле бета-борат бария  $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  (ВВО), который обеспечивает преобразование излучения третьей гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате (355 нм) в перестраиваемое излучение ближней ИК, видимой и УФ областей спектра. Исследовать метод угловой перестройки частоты параметрического генератора в кристалле ВВО, вырезанном для преобразования по второму типу (еое) коллинеарного синхронизма, и определить диапазон перестройки при различных интенсивностях накачки. Определить порог генерации и измерить зависимости интенсивности генерации на различных частотах от интенсивности третьей гармоники.

## Раздел 3. Когерентная оптика и голография



**Тема 3.1. Временная когерентность.** Ознакомиться с понятием временной когерентности световых полей, изучить явление временной когерентности световых пучков на примере излучения полупроводникового лазера., в частности, овладеть методикой построения модуля степени временной когерентности излучения, оценить параметры временной когерентности (время когерентности и связанную с ним ширину спектра излучения, длину когерентности), исследовать зависимость значений данных параметров от условий возбуждения излучения и определить длину резонатора лазера.

**Тема 3.2. Пространственная когерентность.** Ознакомиться с понятием пространственной когерентности световых полей, изучить явление пространственной когерентности световых пучков на примере анализа корреляционных свойств излучения полупроводникового лазера и излучений модельных источников, формируемых с помощью вращающегося фазового экрана, овладеть методикой построения модуля функции пространственной когерентности излучения, оценить параметры пространственной когерентности (радиус когерентности и связанную с ним ширину углового спектра излучения, коэффициент когерентности), исследовать зависимости значений данных параметров от угловых размеров источника.

**Тема 3.3. Запись фазовых голограмм в фотополимерных материалах.** Освоение приемов прямой записи двумерных (плоских, тонких) и трехмерных (объемных, толстых) голограмм.

**Тема 3.4. Свойства тонких и объемных фазовых голограмм.** Изучение связи дифракционной эффективности с амплитудой модуляции показателя преломления, исследование угловой и спектральной селективности двумерных (плоских, тонких) и трехмерных (объемных, толстых) фазовых голографических решеток.

**Тема 3.5. Голографическая интерферометрия.** Ознакомиться с интерференционно-голографическим методом определения деформаций и смещения объектов. Определить величину смещения объекта из анализа интерференционной картины, полученной методом двух экспозиций

**Тема 3.6. Голограммы Фурье.** Ознакомиться с понятием пространственной частоты; оптическим преобразованием Фурье, формируемом в фокальной плоскости линзы; изучить фурье-образы различных транспарантов и освоить схемы записи голограммы Фурье.

## 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
<b>1</b>	<b>Физика лазеров</b>							
1.1	Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Режим свободной генерации.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
1.2	Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
1.3	Режим пассивной модуляции добротности.				6			Устный опрос, решение кейса.
1.4	Перестраиваемые лазеры. Лазеры на красителях.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
1.5	Перестраиваемые лазеры с распределенной обратной связью.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
<b>2</b>	<b>Нелинейная оптика</b>							
2.1	Перестраиваемые лазеры на основе вынужденного комбинационного				6			Устный опрос, отчет по лабораторной

	рассеяния.							работе
2.2	Генерация второй гармоники.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
2.3	Сложение частот и генерация третьей гармоники.				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
2.4	Параметрическая генерация света.				4			Устный опрос, отчет, учебная дискуссия
<b>3</b>	<b>Когерентная оптика и голография</b>							
3.1	Изучение спектров поглощения и люминесценции сложных молекул				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3.2	Изучение законов затухания люминесценции				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3.3	Измерение квантового выхода люминесценции				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3.4	Свойства тонких и объемных фазовых голограмм				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3.5	Голографическая интерферометрия				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3.6	Голограммы Фурье				6			Устный опрос, отчет. Презентация индивидуальных проектов
<b>Итого</b>					<b>80</b>			<b>Зачет</b>

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Chapter 2. Нелинейная оптика. In “Photonics. Editor: Alexei Tolstik. <https://dl.bsu.by/course/view.php?id=850>, 2018.
2. К. И. Крылов, В. Т. Прокопенко, В. А. Тарлыков. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 2016, с. 284-290.
3. А.Л.Толстик, И.Н.Агишев, Е.А.Мельникова. Лазерная физика. Лабораторный практикум. Мн.: БГУ, 2016.
4. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука. 2013, 1988.
5. А. Ярив. Квантовая электроника. М.: Мир. 2014.
6. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров. М.: Мир. 2018.
7. А. Ярив. Введение в оптическую электронику. М.: Мир. 2012.
8. О. Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир. 2015.
9. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука. 2013.
10. Н.Б. Делоне. Нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2013.
11. В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2014.
12. М. Франсон, С. Сланский. Когерентность в оптике. М., Наука.
13. Р. Лоудон. Квантовая теория света. М., Мир, 2016.
14. Л.М. Сороко. Основы когерентной оптики и голографии. М. Наука
15. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., Наука, 2010.
16. Р. Кольер, К. Беркхард, Л. Лин Оптическая голография. М., Мир; 2013.
17. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. Пер. с англ. — М.: «КУДИЦ-ПРЕСС», 2018. — С. 320

### Перечень дополнительной литературы

1. В.А. Пилипович, А.А. Ковалев. Оптические квантовые генераторы с просветляющимися фильтрами. Мн.: Наука и техника. 1975.
2. Сверхкороткие световые импульсы. Под ред. С.Шапиро. М.: Мир. 1981.
3. Л.В. Тарасов. Лазеры и их применение. М.: Радио и связь. 1983.
4. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь. 1985.
5. Й. Херман, Б. Вильгельми. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир. 1986.
6. Б.Ф. Федоров. Лазеры. Основы устройства и применение. М.: ДОСААФ. 1988.
7. А.А. Мак, Л.Н. Сомс, В.А. Фромзель, В.Е. Яшин. Лазеры на неодимовом стекле. М.: Наука. 1990.

8. С.М. Копылов, Б.Г. Лысой, С.Л. Серегин, О.Б. Чередниченко. Перестраиваемые лазеры на красителях и их применение. М.: Радио и связь. 1991.
9. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев. Лазеры на кристаллах и их применение. М. 1994.
10. Колфилд Г. Оптическая голография / Г. Колфилд – М.: Мир, 1982.
11. Kogelnik H. Coupled wave theory for thick hologram gratings // Technical Journal. 1969. Vol. 48, № 9. P. 2909 – 2947.
12. А.Б. Иванов. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999 год. 664 стр.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

1. Отчет по лабораторной работе, включающий расчет погрешностей вычислений.
2. Устный опрос.
3. Презентация индивидуальных проектов по разделу «Когерентная оптика и голография».
4. Решение кейса по разделу «Физика лазеров».
5. Учебная дискуссия по разделу «Нелинейная оптика».

Формой текущей аттестации по дисциплине Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография» 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 № 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:

- Отчеты по лабораторной работе – 20 %;

- Устные ответы по теме выполняемой лабораторной работы – 20%;
- Презентация индивидуальных проектов по разделу «Когерентная оптика и голография» – 20 %;
- Участие в групповом решении кейса по разделу «Физика лазеров» – 20 %.
- Участие в учебной дискуссии по разделу «Нелинейная оптика» – 20 %.

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

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

**1. Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Режим свободной генерации.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом ознакомиться с физическими принципами его работы в режиме свободной генерации; приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности импульса генерации; определить зависимости энергетических характеристик генерации от мощности накачки; рассчитать коэффициент полезного действия лазера, пороговую мощность и эффективность системы накачки.

**2. Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме активной модуляции добротности; приобрести навыки юстировки резонатора и электрооптического затвора (ячейки Поккельса); изучить зависимость длительности импульса генерации от мощности накачки и времени задержки включения затвора; освоить методики оптимизации энергетических и временных характеристик генерации.

**3. Режим пассивной модуляции добротности.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме пассивной модуляции добротности с помощью кристаллов LiF с центрами окраски, приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности наносекундных световых импульсов; проанализировать условия перехода от пикового режима свободной генерации к режиму формирования одиночного импульса.

**4. Перестраиваемые лазеры. Лазеры на красителях.** Изучить принципы построения лазеров с перестраиваемой частотой генерации; исследовать эффективность перестройки частоты генерации лазера на растворе красителя с использованием дисперсионного резонатора (дифракционная решетка, призма); наблюдать эффект затягивания частоты генерации; сравнить характеристики генерации лазера с селективным и неселективным резонаторами (ширина линии генерации, диапазон перестройки).

**5. Перестраиваемые лазеры с распределенной обратной связью.** Изучить принципы спектральной селекции излучения в лазерах со стационарной и динамической распределенной обратной связью, получить навыки юстировки РОС-лазеров; исследовать энергетические и спектральные характеристики РОС-лазера на красителе.

**6. Перестраиваемые лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния.** Изучить принципы вынужденного комбинационного рассеяния, получить навыки юстировки ВКР-лазера; исследовать энергетические и спектральные характеристики ВКР-преобразователя на основе кристалла KGW.

**7. Генерация второй гармоники.** Ознакомиться с явлением генерации второй гармоники лазерного излучения; измерить зависимости интенсивности второй гармоники от угла ориентации кристаллов [триборат лития  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO) с первым типом взаимодействия и титанил фосфата калия  $\text{KTiOPO}_4$  (КТР) со вторым типом взаимодействия] и интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения во вторую гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

**8. Сложение частот и генерация третьей гармоники.** На примере генерации третьей гармоники ознакомиться с явлением генерации суммарной частоты при параметрических процессах в средах с квадратичной нелинейностью; измерить зависимости интенсивности третьей гармоники от угла ориентации кристаллов [триборат лития  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO) с первым типом взаимодействия и дидейтерофосфат калия  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  ( $\text{KD}^*\text{P}$ ) со вторым типом взаимодействия] и интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера и частоте второй гармоники; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения в третью гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

**9. Параметрическая генерация света.** Цель работы: Ознакомиться с явлением параметрической генерации света и принципом работы параметрического генератора на кристалле бета-борат бария  $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  (ВВО), который обеспечивает преобразование излучения третьей гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате (355 нм) в перестраиваемое излучение ближней ИК, видимой и УФ областей спектра. Исследовать метод угловой перестройки частоты параметрического генератора в кристалле ВВО, вырезанном для преобразования по второму типу (еое) коллинеарного синхронизма, и определить диапазон перестройки при различных интенсивностях накачки. Определить порог генерации и измерить зависимости интенсивности генерации на различных частотах от интенсивности третьей гармоники.

**10. Временная когерентность.** Ознакомиться с понятием временной когерентности световых полей, изучить явление временной когерентности световых пучков на примере излучения полупроводникового лазера., в

частности, овладеть методикой построения модуля степени временной когерентности излучения, оценить параметры временной когерентности (время когерентности и связанную с ним ширину спектра излучения, длину когерентности), исследовать зависимость значений данных параметров от условий возбуждения излучения и определить длину резонатора лазера.

**11. Пространственная когерентность.** Ознакомиться с понятием пространственной когерентности световых полей, изучить явление пространственной когерентности световых пучков на примере анализа корреляционных свойств излучения полупроводникового лазера и излучений модельных источников, формируемых с помощью вращающегося фазового экрана, овладеть методикой построения модуля функции пространственной когерентности излучения, оценить параметры пространственной когерентности (радиус когерентности и связанную с ним ширину углового спектра излучения, коэффициент когерентности), исследовать зависимости значений данных параметров от угловых размеров источника.

**12. Запись фазовых голограмм в фотополимерных материалах.** Освоение приемов прямой записи двумерных (плоских, тонких) и трехмерных (объемных, толстых) голограмм.

**13. Свойства тонких и объемных фазовых голограмм.** Изучение связи дифракционной эффективности с амплитудой модуляции показателя преломления, исследование угловой и спектральной селективности двумерных (плоских, тонких) и трехмерных (объемных, толстых) фазовых голографических решеток.

**14. Голографическая интерферометрия.** Ознакомиться с интерференционно-голографическим методом определения деформаций и смещения объектов. Определить величину смещения объекта из анализа интерференционной картины, полученной методом двух экспозиций

**15. Голограммы Фурье.** Ознакомиться с понятием пространственной частоты; оптическим преобразованием Фурье, формируемом в фокальной плоскости линзы; изучить фурье-образы различных транспарантов и освоить схемы записи голограммы Фурье.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса по дисциплине Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, 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 *индивидуальных проектов* 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.

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.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография» следует использовать комплекс учебных и учебно-методических материалов, включающий методические указания к лабораторным занятиям, 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](http://eduphys.bsu.by).

### **Примерный перечень кейсов**

В дисциплине Лаборатория специализации «Физика лазеров, нелинейная оптика, когерентная оптика и голография» студентам для решения предлагается один из следующих кейсов:

1. Как меняется энергия, мощность и порог генерации лазера при помещении в резонатор активного затвора?
2. Как меняется энергия, мощность и порог генерации лазера при помещении в резонатор пассивного затвора?
3. В чем различие характеристик излучения, получаемого при работе лазера в режиме активной и пассивной модуляции добротности.
4. Сравнить значения энергии импульса, средней и пиковой мощности излучения получаемые в режимах свободной генерации, активной модуляции добротности, пассивной модуляции добротности при одном и том же уровне энергии накачки.

### **Примерный перечень тем учебной дискуссии**

1. Как объяснить появление нескольких световых импульсов при работе лазера с пассивной модуляцией добротности?

2. Объясните различия зависимостей мощности генерации от мощности накачки для режимов свободной генерации и пассивной модуляции добротности.
3. Каким образом можно добиться наибольшей пиковой мощности генерации лазера?
4. Чем определяется предельная (минимальная) длительность сверхкороткого импульса излучения и как ее можно сократить для данной активной среды?
5. Чем объясняется полученный в данной работе переход лазера от работы в режиме свободной генерации к режиму пассивной синхронизации мод?
6. Объясните различия параметров излучения генерации лазера с дисперсионным резонатором и лазера с РОС.
7. Объясните различия способов перестройки генерации лазера с дисперсионным резонатором и лазера на основе ВКР.
8. Объясните различия параметров излучения генерации лазера с дисперсионным резонатором и лазера на основе ВКР.
9. Каким образом в перестраиваемых лазерах можно получить генерацию с более узкой спектральной шириной?
10. Что такое условие фазового синхронизма и каким образом достигается его выполнение при генерации второй гармоники в двулучепреломляющих кристаллах?
11. Как зависит интенсивность второй гармоники от интенсивности основной частоты генерации лазера?
12. Какие факторы ограничивают коэффициент преобразования лазерного излучения во вторую гармонику?

### **Примерный перечень индивидуальных проектов**

1. Амплитудные и фазовые голограммы.
2. Параметр Клейна.
3. Спектральная селективность голограммы.
4. Угловая селективность голограммы.
5. Дифракционная эффективность тонкой и объемной голограммы.
6. Голограмма Фурье и ее свойства.
7. Голографическая интерферометрия. Метод двух экспозиций.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Каков принцип работы лазера на алюмоиттриевом гранате?
2. В чем преимущество четырехуровневой схемы генерации по сравнению с трехуровневой?

3. Объясните различия в характерах зависимостей энергии, мощности и КПД генерации лазера от мощности накачки.
4. Почему для определения порога генерации удобно использовать зависимость мощности генерации от мощности накачки?
5. Какие факторы определяют оптимальное значение коэффициента полезных потерь?
6. Каков принцип работы электрооптического затвора лазера?
7. В чем преимущество метода активной модуляции добротности резонатора по сравнению с методом пассивной модуляции?
8. Объясните характер зависимости длительности импульса генерации от энергии накачки.
9. Объясните зависимость длительности импульса генерации от времени задержки включения электрооптического затвора.
10. Какие факторы определяют пиковую мощность генерации и каковы условия получения максимальной пиковой мощности?
11. Как меняется энергия, мощность и порог генерации лазера при помещении в резонатор пассивного затвора?
12. Как влияет оптическая плотность затвора на энергию, мощность, порог генерации лазера и длительность моноимпульса?
13. Как объяснить появление нескольких световых импульсов при работе лазера с пассивной модуляцией добротности?
14. Объясните различия зависимостей мощности генерации от мощности накачки для режимов свободной генерации и пассивной модуляции добротности.
15. Каким образом можно добиться наибольшей пиковой мощности генерации лазера?
16. Как осуществляется перестройка частоты генерации лазера с дифракционной решеткой (призмой)?
17. Как зависит диапазон перестройки частоты генерации лазера с дифракционной решеткой от номера используемого порядка дифракции?
18. Каким образом можно получить генерацию с более узкой спектральной шириной?
19. Объясните различия между шириной линии генерации лазера с неселективным резонатором и шириной линии, диапазоном перестройки генерации лазера с дисперсионным резонатором.
20. Как объяснить несовпадение частоты генерации лазера с дисперсионным резонатором и частоты настройки резонатора?
15. Принцип формирования лазерного резонатора с распределенной обратной связью
16. От чего зависит спектр излучения, генерируемого лазером с распределенной обратной связью.
17. Комбинационное рассеяние.
18. Вынужденное комбинационное рассеяние.
19. От чего зависит спектр излучения, генерируемого ВКР-лазером.
20. Принцип построения резонатора ВКР-лазера.

21. Что такое условие фазового синхронизма и каким образом достигается его выполнение при генерации второй гармоники в двулучепреломляющих кристаллах?
22. Как зависит интенсивность второй гармоники от интенсивности основной частоты генерации лазера?
23. Какие факторы ограничивают коэффициент преобразования лазерного излучения во вторую гармонику?
24. Объясните появление дуги или кольца в пространственном распределении излучения второй гармоники на выходе кристалла при определенных его ориентациях.
25. Что такое условие фазового синхронизма и каким образом достигается его выполнение при генерации третьей гармоники в двулучепреломляющих кристаллах?
26. Как зависит интенсивность третьей гармоники от интенсивности на основной частоте генерации лазера и частоте второй гармоники?
27. Какие факторы ограничивают коэффициент преобразования лазерного излучения в третью гармонику?
28. Принцип работы параметрического генератора.
29. Каким образом достигается выполнение условия фазового синхронизма при параметрической генерации?
30. Как зависит интенсивность генерируемых волн от интенсивности волны накачки?
31. Каким образом реализуется спектральная перестройка частоты генерации?
32. Как объяснить зависимость диапазона спектральной перестройки частоты от интенсивности накачки?
33. Понятие когерентности излучения второго порядка?
34. Связь характеристик излучения с временной и пространственной когерентностью.
35. Амплитудные и фазовые голограммы.
36. Параметр Клейна.
37. Спектральная селективность голограммы.
38. Угловая селективность голограммы.
39. Дифракционная эффективность тонкой и объемной голограммы.
40. Голограмма Фурье и ее свойства.
41. Голографическая интерферометрия. Метод двух экспозиций.
42. Схема записи голограмм Денисюка.
43. Условие брэгговской дифракции.
44. Спектральная селективность.

## 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 22 июня 2020 г.)
Когерентная оптика и голография. Современные лазерные технологии	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	нет	Оставить без изменений (протокол № 20 от 22 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

\_\_\_\_\_