

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»  
(ИОФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИОФ РАН,  
чл.-корр. РАН



С.В. Гарнов

» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Рабочая программа дисциплины  
**ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА**

Специальность: 1.3.19. Лазерная физика

г. Москва

2022 год

Рабочая программа дисциплины «Лазерная физика» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Программу составили: Цветков В.Б., д.ф.-м.н., проф., заместитель директора по научной работе.  
Камынин В.А., к.ф.-м.н., доц., старший научный сотрудник  
Трикшев А.И., к.ф.-м.н., доц., старший научный сотрудник

Программа обсуждена и одобрена на заседании аспирантской комиссией ИОФ РАН  
30.06.2022, протокол №2206-30

Программа утверждена решением Ученого совета ИОФ РАН 05.07.2022 протокол №13

## **Аннотация**

Учебная дисциплина «Лазерная физика» является важной составной частью Учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИОФ РАН. Курс лазерной физики является логическим продолжением дисциплин, изучаемых в бакалавриате и магистратуре физико-технических факультетов ВУЗов. Программа ориентирована на анализ основных достижений современной лазерной физики и тенденций развития. В рамках дисциплины «Лазерная физика» обучающиеся далее – аспиранты) получают базовые знания по основным разделам лазерной физики, оптики и нелинейной оптики: об устройстве лазеров, устойчивости резонаторов, квантовой основе лазерных источников, видов генерации, взаимодействии излучения с веществом.

Дисциплина «Лазерная физика» является важным фактором формирования у аспиранта целостного научного мировоззрения, развития физического мышления, умения использовать базовые физические законы, включая законы квантовой физики и нелинейной оптики, для анализа различных явлений, связанных с лазерным излучением. Освоение дисциплины позволит выработать у аспирантов практические подходы к решению современных проблем в области лазерной физики и смежных областях естественных наук. Дисциплина «Лазерная физика» также направлена на подготовку аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Общая трудоемкость учебной дисциплины «Лазерная физика» составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

Контроль уровня освоения дисциплины аспирантами проводится в формах текущей и итоговой аттестации. Текущая аттестация предполагает оценку знаний и умений на лекционных занятиях с помощью устных опросов, оценки различных видов самостоятельной работы аспирантов. Промежуточная аттестация аспирантов проводится в форме зачетов (в 3, 4 и 5 семестрах). Итоговая аттестация проводится в рамках кандидатского экзамена по специальности «Лазерная физика» (6 семестр).

### **1. Цель изучения дисциплины**

Цель изучения дисциплины состоит в освоении обучающимися (фундаментальных знаний в области лазерной физики, овладении методами и выработке практических навыков решения задач лазерной физики, формировании умений, необходимых для успешного осуществления научно-исследовательской деятельности в области лазерной физики, формирование у аспирантов актуального представления о предмете, углублении и закреплении уже полученных знаний.

### **2. Задачи дисциплины**

1) освоение аспирантами базовых знаний в области лазерной физики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей научно-технические основы современных инновационных сфер деятельности;

2) обучение аспирантов основным принципам решения задач в области лазерной физики и освоение основных теоретических методов, применимых к описанию явлений в этой области физики;

3) формирование правильных теоретических подходов к выполнению научных исследований в области лазерной физики.

### **3. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Дисциплина «Лазерная физика» относится к элективным дисциплинам Образовательного компонента «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Дисциплина «Лазерная физика» реализуется в соответствии с ФГТ, ОПОП ВО и Учебного плана аспирантуры ИОФ РАН по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Изучение дисциплины «Лазерная физика» опирается на знания базовых разделов математического анализа, дифференциальных уравнений, общей физики, квантовой механики, оптики, атомной физики, электродинамики, термодинамики, приобретенных аспирантами в рамках освоения программ магистратуры или специалитета по естественнонаучным и техническим специальностям.

### **4. Требования к результатам освоения дисциплины**

Изучение дисциплины «Лазерная физика» направлено на формирование у аспирантов следующих когнитивных умений и навыков:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики, а также в смежных и междисциплинарных областях;
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области лазерной физики.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

#### **Знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в областях;
- современные проблемы физики и математики;
- взаимосвязи и фундаментальное единство естественных наук;
- основные законы, явления и эффекты в лазерной физике;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в лазерной физике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания в области лазерной физики;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в лазерных системах и при взаимодействии лазерного излучения с веществом;
- основные разделы лазерной физики: основы физики лазеров и лазерной техники, взаимодействие лазерного излучения с веществом, волновые процессы, нелинейная оптика, элементы квантовой оптики;
- основные физические свойства источников лазерного излучения, активных сред, источников накачки и резонаторов лазеров, оптических сред, оптических импульсов различного временного масштаба.

#### **Уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы, а также фундаментальные знания для понимания сущностных явлений окружающего мира;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- решать практические задачи по экспериментальным и теоретическим исследованиям в области лазерной физики;
- обосновывать применение математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к лазерной физике;
- работать с информацией в области лазерной физики, полученной из различных источников: научной периодической литературы, монографий и учебников, электронных ресурсов сети Интернет;

- активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения для выбора тематики выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы, планирования оптимального проведения эксперимента в области лазерной физики;
- выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности при анализе оптических свойств резонаторов, активных сред и объектов воздействия, нелинейных сред;
- привлекать для решения освоенный физико-математический аппарат математического моделирования, Фурье-преобразования, методы решения задачи обратного рассеяния;
- применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности.

#### **Владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента в области лазерной физики;
- математическим моделированием физических задач в лазерной физике;
- научной картиной мира в лазерной физике и смежных областях естествознания;
- творческим подходом в реализации научно-технических задач, основанному на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в области лазерной физики.

### **5. Объем и вид учебной работы**

Общая трудоёмкость дисциплины «Лазерная физика» составляет 5 зач. ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице 1.

Таблица 1

**Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ**

Вид учебной работы	Трудоёмкость					
	зач. ед.	час.	в т.ч. по семестрам			
			3	4	5	6
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>5</b>	<b>180</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	-	-
лекции (Л)		72	36	36	-	-
семинары (С)		-	-	-	-	-
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала, освоение материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарам и т.д.)		60	14	14	32	-
Подготовка к зачёту		12	4	4	4	-
Подготовка к экзамену		36	-	-	-	36
<b>Вид контроля</b> (З – зачет, Э – кандидатский экзамен)			<b>З</b>	<b>З</b>	<b>З</b>	<b>Э</b>

## 6. Содержание дисциплины

Таблица 2

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
Раздел 1. Введение в лазерную физику				
Тема 1.1. Вводное слово. История лазера.	4	3	0	1
Тема 1.2. Резонатор	5	3	0	2
Тема 1.3. Активный элемент	10	6	0	4
Тема 1.4. Накачка лазера	5	3	0	2
Тема 1.5. Генерация	8	6	0	2
Тема 1.6. Характеризация лазерного излучения	8	6	0	2
Тема 1.7. Манипуляции с лазерным излучением	5	3	0	2
Тема 1.8. Применение лазерного излучения	5	3	0	2
Тема 1.9. Перспективные направления развития лазерной физики	4	3	0	1
<b>Всего за 3 семестр</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>18</b>
Раздел 2. Волновая и нелинейная оптика				
Тема 2.1. Волновая оптика световых пучков и импульсов	4	3	0	1
Тема 2.2. Отклик вещества на действие электромагнитного поля.	5	3	0	2
Тема 2.3. Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах.	5	3	0	2
Тема 2.4. Генерация оптических гармоник.	5	3	0	2
Тема 2.5. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества.	5	3	0	2
Тема 2.6. Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденные рассеяния.	8	6	0	2
Тема 2.7. Многофотонные резонансные процессы	4	3	0	1
Тема 2.8. Распространение импульсов в средах	5	3	0	2
Тема 2.9. Волны в пространственно-периодических средах.	5	3	0	2
Тема 2.10. Самовоздействие световых пучков.	8	6	0	2
<b>Всего за 4 семестр</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>18</b>
Раздел 3. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины	36	0	0	36
<b>Всего за 5 семестр</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего	Аудиторная работа		Внеаудиторная работа СР
		Л	С	
Раздел 4. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины по программе кандидатского экзамена по специальности	36	0	0	36
<b>Всего за 6 семестр</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>180</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>108</b>

## **Раздел 1. Введение в лазерную физику**

### **Тема 1.1. Вводное слово. История лазера.**

Программа курса. История. Общее строение лазера. Анализ динамики рынка лазеров. Диаграммы роста средней и пиковой мощностей от времени.

### **Тема 1.2. Резонатор**

Моды резонатора. Виды резонаторов. Составные элементы резонаторов. Устойчивость резонаторов. Прямой. Кольцевой. Распределенная обратная связь.

### **Тема 1.3. Активный элемент**

Время жизни. Сечение излучения. Сечение поглощения. Спектр люминесценции. Спектр поглощения. Динамика. Схемы уровней. Классификация активных элементов. Тепловая нагрузка. Термолинзы. Лучевая стойкость.

### **Тема 1.4. Накачка**

Типы накачки. Оптическая (диод, лампа, лазер. Ток. Разряд. Химическая. Эффективность накачки (полная, дифференциальная, квантовый дефект). Характеризация накачки. Межионное взаимодействие.

### **Тема 1.5. Генерация**

Виды генерации. Режимы генерации. Скоростные уравнения. Стационарная генерация. Модуляция добротности. Модуляция усиления. Синхронизация мод. Смешанные режимы. Гармоническая синхронизация мод. Самосканирование частоты.

### **Тема 1.6. Характеризация лазерного излучения**

Динамика излучения. Спектральный состав. Ширина линии. Шумовые характеристики. Длительность. Спектральный состав. Ширина линии. Частотная модуляция. Фазовые шумы.

### **Тема 1.7. Манипуляции с лазерным излучением**

Сложение когерентное. Сложение спектральное. Фокусировка. Сжатие импульсов. Растяжение импульсов. Усиление лазерного излучения.

### **Тема 1.11. Применение лазерного излучения**

Лазерный нагрев вещества. Лазерное плавление и испарение поверхности. Лазерный отжиг и легирование полупроводников. Лазерная закалка металлов. Процессы абсорбции и десорбции в поле лазерного излучения.

## **Тема 1.12. Перспективные направления развития лазерной физики**

Пространственно-временная синхронизация мод. Концепция «умного» лазера. Новые методы измерения динамики лазеров.

## **Раздел 2. Волновая и нелинейная оптика**

### **Тема 2.1. Волновая оптика световых пучков и импульсов**

Волновая оптика световых пучков и импульсов: уравнения Максвелла, волновое уравнение, уравнения квазиоптики, уравнения для медленно меняющихся амплитуд.

### **Тема 2.2. Отклик вещества на действие электромагнитного поля.**

Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Вектора поляризации и намагнитченности среды. Разложение поляризации в ряд по степеням поля. Временная (частотная) и пространственная дисперсия.

### **Тема 2.3. Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах.**

Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах: методы описания и классификация нелинейных эффектов. Уравнение распространения.

### **Тема 2.4. Генерация оптических гармоник.**

Генерация оптических гармоник. Фазовый синхронизм и его реализация, групповой синхронизм. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Параметрическое усиление и генерация.

### **Тема 2.5. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества.**

Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества. Влияние симметрии среды на нелинейный отклик. Механизмы поверхностного нелинейного отклика.

### **Тема 2.6. Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденные рассеяния.**

Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские усилители и генераторы. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта.

### **Тема 2.7. Многофотонные резонансные процессы**

Многофотонные резонансные процессы. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация гармоник. Смещение частот. Параметрическое рассеяние.

### **Тема 2.8. Распространение импульсов в средах**

Материальная дисперсия сплошной среды. Распространение импульсов в диспергирующих средах: групповая скорость, дисперсионное расплывание, эффекты дисперсии высших порядков. Спектрально ограниченный импульс.

### **Тема 2.9. Волны в пространственно- периодических средах.**

Волны в пространственно- периодических средах. Запрещенная зона. Фотонные кристаллы и их дисперсионные свойства.



## **Тема 2.10. Самовоздействие световых пучков.**

Самовоздействие световых пучков. Природа кубической нелинейности. Самофокусировка в средах с керровской нелинейностью, критическая мощность, длина самофокусировки. Мелкомасштабная самофокусировка. Филаментация. Самовоздействие световых импульсов в средах с кубичной нелинейностью: самомодуляция, солитоны, компрессия и расплывание. Оптические бистабильные и мультистабильные системы

## **Раздел 3. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины**

Разделы, рекомендуемые для самостоятельного изучения:

(приводятся разделы, возможен перенос специальных вопросов из основной программы или программы кандидатского экзамена)

### **3.1. Вещество в лазерном поле. Лазерная диагностика**

Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Вектора поляризации и намагниченности среды. Разложение поляризации в ряд по степеням поля. Временная (частотная) и пространственная дисперсия. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества. Влияние симметрии среды на нелинейный отклик. Механизмы поверхностного нелинейного отклика. Резонансные процессы. Двухуровневый атом. Уравнения Блоха. Когерентные нестационарные процессы: оптическая нутация, затухание свободной поляризации, солитоны самоиндуцированной прозрачности, фотонное эхо, сверхизлучение Дике. Светоиндуцированный дрейф в газах. Обобщенная двухуровневая система. Многофотонное поглощение. Параметрическое рассеяние. Взаимодействие электромагнитного излучения с кристаллами. Зонная структура энергетических уровней. Энергия Ферми. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Возбуждения в кристаллах: фононы, поляритоны, экситоны. Основные нелинейные кристаллы. Спектроскопия насыщения неоднородно уширенных переходов. Двухфотонная спектроскопия, свободная от доплеровского уширения. Спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света. Спектроскопия многоволнового смещения.

### **3.2. Воздействие лазерного излучения на вещество. Лазерная фотофизика и фотобиология. Физические основы лазерных технологий**

Одно- и многофотонная ионизация атомов и молекул. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов. Пондеромоторное ускорение фотоэлектронов. Уширение спектра. Генерация высоких оптических гармоник и суперконтинуума. Генерация каскада комбинационных частот. Лазерный пробой газов. Лазерная искра. Лазерная плазма. Лазерный термоядерный синтез. Энергетические спектры электронов, ионов и рентгеновского излучения лазерной плазмы. Ядерные реакции в лазерной плазме. Многофотонная диссоциация молекул в лазерном поле. Столкновительный и бесстолкновительный режимы многофотонной диссоциации. Лазерное разделение изотопов. Оптическое стимулирование химических реакций. Лазерное управление движением частиц. Оптическое охлаждение и захват атомов и ионов. Атомные часы. Управление атомными пучками с помощью лазеров. Лазерные методы ускорения частиц. Поглощение и релаксация энергии лазерного излучения в полупроводниках и металлах. Электрон- электронная, электрон- фононная и фонон- фононная релаксация. Времена релаксации. Нормальный и аномальный скин эффект. Лазерная фотохимия, типы фотохимических реакций. Фотоакустические явления. Механизмы лазерного возбуждения звука. Фотоакустическая спектроскопия и микроскопия. Лазерная фотобиология. Фотобиологические реакции: энергетические (фотосинтез), информационные (зрение), биосинтетические, деструктивно- модифицирующие (фотосенсибилизация, фотоионизация) и лазерные методы из изучения. Лазерная микро- и макродиагностика биомолекул, клеток и биотканей. Лазерная оптико-акустическая томография.

### **3.3. Элементы квантовой оптики**

Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля. Пространственная и временная когерентность. Корреляционные функции первого и второго порядка. Когерентность высших порядков. Фоковское, когерентное и сжатое состояния поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Группировка и антигруппировка фотонов. Счет фотонов. Дробовой шум. Связь статистики фотонов и фотоотсчетов, формула Манделя. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Неравенства Белла. Квантовая криптография. Квантовая телепортация.

### **Раздел 4. Вопросы для самостоятельного изучения дисциплины по программе кандидатского экзамена по специальности**

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины «Лазерная физика» при подготовке к кандидатскому экзамену по специальности соответствует программе кандидатского экзамена по специальности «Лазерная физика», утвержденной Ученым советом ИОФ РАН (протокол №\_\_ от «\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).

#### **5. Примерная тематика:**

##### **5.1. Курсовых работ**

Не предусмотрено учебным планом

##### **5.2. Научно-исследовательских работ и проектов**

Не предусмотрено учебным планом

##### **5.3. Рефератов**

Не предусмотрено учебным планом

#### **6. Ресурсное обеспечение.**

##### **6.1. Кадровый потенциал**

Аспирантура ИОФ РАН располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности 1.3.19. Лазерная физика в соответствии с ФГТ.

##### **6.2. Материально-техническое оснащение.**

Для проведения занятий по дисциплине «Лазерная физика», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, обеспечивающая проведение всех видов теоретической и практической подготовки:

- аудитории для лекционных и семинарских занятий, оснащенные презентационным оборудованием (ноутбук, проектор, экран) и маркерными досками;
- оборудование для проведения лекционных и семинарских занятий в дистанционном формате (в случае необходимости);
- лицензионное программное обеспечение для демонстрации презентаций в формате PowerPoint, OpenOffice или Portable Document Format.
- учебная литература и методические материалы для проведения самостоятельной работы по дисциплине.

##### **6.3. Образовательные технологии**

При реализации различных видов учебной работы (лекции, семинары, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- лекционная система обучения;

- информационно-коммуникационные технологии;
- исследовательские методы в обучении.

Программа дисциплины «Лазерная физика» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной самостоятельной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков у обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- создание диалогического пространства в организации учебного процесса;
- использование принципов социально-психологического обучения в учебной и научной деятельности;
- применение интерактивных форм обучения, направленных на развитие внутренней активности аспиранта, стимулирование мотивации и интереса в области углубленного изучения лазерной физики в общеобразовательном и профессиональном плане; повышение уровня активности и самостоятельности научно-исследовательской работы; развитие навыков анализа, критичности мышления, научной коммуникации.

Образовательные технологии предполагают проведение занятий в форме лекций с объяснением теоретического материала, семинаров с разбором лекционного материала и решением задач и самостоятельную работу. Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях.

На занятиях может использоваться промежуточный контроль в виде решения задач по лекционному и семинарскому материалу.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература**

#### **7.1.1. Электронные учебные издания (учебники, учебные пособия).**

#### **7.1.2. Электронные базы данных, к которым обеспечен доступ.**

- Интернет-ресурсы научно-технической библиотеки ИОФ РАН <https://www.gpi.ru/about/library/education/>
- Научная электронная библиотека elibrary.ru;
- Электронные базы Web of Science и SCOPUS;
- Журналы по оптике и лазерной физике (Квантовая электроника, ЖЭТФ, Письма в ЖЭТФ, Успехи физических наук, Nanoletters, Optics Letters, Applied Optics, Laser Physics Letters, Journal of Lightwave Technology, и др.);
- Научные и научно-технические журналы издательств American Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, база данных Web of Science.

#### **7.1.3. Учебники**

1. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., 1988
2. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. М., 1989
3. О.З. Велто. Принципы лазеров. М., 1989
4. Я.И. Ханин. Основы динамики лазеров. М., 1999
5. Л. Аллен, Дж. Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., 1978
6. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. М., 1998
7. М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. М., 1979

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю. ОСНОВЫ АТТОСЕКУНДНОЙ ФИЗИКИ (электронное пособие): Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 52с.
2. Ю.А. Ильинский, Л.В. Келдыш. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. М., 1989
3. Д.Н. Клышко. Физические основы квантовой электроники. М., 1986
4. С.А. Ахманов, В.А. Выслоух, А.С. Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М., 1988
5. Л. Мандель, Э. Вольф. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М. 2000
6. В.М. Акулин, Н.В. Карлов. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. М., 1987
7. Дж. Гудмен. Введение в Фурье-оптику. М., 1970
8. Дж. Гиббс. Оптическая бистабильность. М., 1988
9. А.П. Сухоруков. Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике. М., 1988
10. В.С. Летохов, В.П. Чеботаев. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990
11. А.В. Приезжев, В.В. Тучин, Л.П. Шубочкин. Лазерная диагностика в биологии и медицине». М., 1989
12. В.В. Тучин. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях». Саратов. 1998
13. В.П. Жарков, В.С. Летохов. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия. М., 1984
14. А.В. Андреев, В.И. Емельянов, Ю.А. Ильинский. Кооперативные явления в оптике. М., 1988
15. В.Э. Гусев, А.А. Карабутов. Лазерная оптоакустика. М., 1991
16. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику. - М.: Наука, 1988.

### **7.2.1. Учебно-методические пособия (учебные задания)**

Яшунин Д. А., Мальков Ю. А., Бодров С. Б. ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ОПТИКА (электронное пособие): Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 40с.

### **7.2.2. Литература для углубленного изучения, подготовки рефератов**

**8. Аттестация по дисциплине.** Форма промежуточной аттестации по итогам обучения в 3, 4 и 5 семестрах – зачет, процедура аттестации в 3 и 4 семестрах включает решение контрольных задач и ответ на вопросы, в 5 семестре – ответ на вопросы.

Итоговая аттестация по дисциплине включает сдачу кандидатского экзамена экзаменационной комиссии, утвержденной локальным нормативным актом ИОФ РАН.

### **9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

#### **9.1 Оценочные средства текущего контроля успеваемости и сформированности компетенций**

Для текущего контроля успеваемости применяется комплекс методик и диагностического инструментария: устный опрос, решение домашних задач по теме занятий, учет посещаемости занятий и активности аспирантов в ходе занятий.

## **9.2 Примерный перечень вопросов к зачету по дисциплине**

1. Основные принципы действия лазеров
2. Основные свойства лазерного излучения (монохроматичность, поляризация, направленность, когерентность)
3. Уровни энергии атомов, молекул, кристаллов.
4. Вероятности спонтанных и индуцированных переходов. Безызлучательные переходы Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни и ширина линии перехода.
5. Классификация активных элементов. Схемы уровней. Двухуровневая система. Спектр поглощения. 3 - х и 4 -х уровневые системы переходов
6. Спектр люминесценции. Время жизни. Сечение излучения. Сечение поглощения.
7. Тепловая нагрузка на активный элемент. Термолинзы. Лучевая стойкость элементов резонатора.
8. Основные части лазера Реализация обратной связи
9. Принципиальная схема лазера. Линейный и кольцевой резонаторы
10. Устойчивость резонаторов Спектральная селекция Поляризационная селекция
11. Модовая селекция. Селекция направления.
12. Управление временными характеристиками излучения
13. Режимы генерации Стационарная генерация
14. Самосканирование частоты
15. Модуляция добротности и накачки.
16. Синхронизация мод. Гармоническая синхронизация мод.
17. Характеризация непрерывного лазерного излучения. Спектральный состав. Ширина линии.
18. Характеризация импульсного лазерного излучения. Длительность импульсов. Спектральный состав. Частотная модуляция.
19. Характеризация поперечного состава лазерного излучения
20. Сложение когерентное. Сложение спектральное.
21. Сжатие импульсов. Растяжение импульсов
22. Усиление лазерного излучения. Ослабление лазерного излучения
23. Уравнение Шредингера. Функция Лагранжа, оператор Гамильтона.
24. Переход от классической к квантовой механике. Принцип наименьшего действия.
25. Квантовые операторы. Самосопряженный или эрмитов оператор.
26. Волновая функция. Решение уравнение Шредингера для частицы, находящейся в потенциальной яме. Движения частицы в яме конечной глубины
27. Потенциальная прямоугольная яма конечной глубины. Преодоление потенциального барьера шириной  $R$ .
28. Уравнения Максвелла. Объемный резонатор, волновое уравнение. Моды резонаторов
29. Открытые резонаторы. Потери в резонаторе (внешние, граничные, дифракционные потери).
30. Скоростные уравнения для 3 - х и 4 -х уровневые системы переходов
31. Типы накачки. Оптическая, электрическая. Химическая, газодиманическая, на переменном эл/маг поле.

32. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские усилители и генераторы. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта.
33. Многофотонные резонансные процессы. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация гармоник. Смещение частот. Параметрическое рассеяние.
34. Генерация оптических гармоник. Фазовый синхронизм и его реализация, групповой синхронизм. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Параметрическое усиление и генерация.

## **10. Методические рекомендации аспирантам по освоению дисциплины**

Аспиранты должны быть заранее ознакомлены с графиком учебного процесса, содержанием дисциплины и методикой проведения занятий. Посещаемость учебных занятий является обязательной для обучающихся, как и ведение конспектов, записей. Отработка пропущенных занятий предполагает самостоятельную работу аспиранта с учебной литературой и осуществляется в форме собеседования по теме пропущенного занятия.

## **11. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине**

### **11.1 Порядок проведения лекции**

*Вводная часть* включает формулировку темы лекции с краткой аннотацией предлагаемых для изучения вопросов, характеристику места и значения данной темы в курсе.

*Основная часть* лекции имеет своей целью раскрытие содержания основных вопросов и определяется логической структурой плана лекции.

В *заключительной части* лектор проводит обобщение наиболее важных и существенных вопросов, делает выводы, отвечает на вопросы слушателей, формулирует задачи для самостоятельной работы аспирантов и рекомендует соответствующую литературу.

### **11.2 Порядок проведения семинара**

Во вводной части решаются организационные задачи семинарского занятия: проверка готовности аудитории и подготовленности аспирантов к занятию, формулировка темы, цели и задач занятия.

Основная часть занятия предполагает организацию дискуссии: постановку проблемы, выделение основных направлений. Выступление докладчиков, раскрывающих основные положения по вопросу. Выступления оппонентов, раскрывающих свое видение проблемы, дискуссия по докладу.

В заключительной части подводятся итоги занятия, дается оценка результатов работы аспирантов.

### **11.3 Организация самостоятельной работы аспирантов**

Основными формами самостоятельной работы и контроля аспирантов являются:

Выполнение индивидуальных заданий (как репродуктивного, так и творческого характера), позволяющих диагностировать уровень сформированности у аспирантов знаний, умений и навыков по дисциплине.

Собеседование – форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя с аспирантом, рассчитанная на выяснение объема знаний аспиранта по определенному разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающее всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

## **12. Описание критериев оценивания знаний обучающихся, шкал их оценивания**

### **12.1. Критерии оценивания знаний обучающихся на зачете по дисциплине:**

Оценка «Зачтено»: Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий и контрольных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Оценка «Не зачтено»: Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании аспирантуры к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **12.2. Критерии оценивания знаний обучающихся на кандидатском экзамене по специальности:**

Оценка ставится по каждому из вопросов кандидатского экзамена по специальности, оценка за экзамен определяется как среднее арифметическое из оценок по трем вопросам экзамена с соответствующим округлением до целочисленной по правилам арифметических операций. При наличии оценки «неудовлетворительно» по одному из вопросов ставится общая оценка «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично»: В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Продемонстрировано превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены полные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Хорошо»: Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Продемонстрировано хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены частичные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Удовлетворительно»: Тема раскрыта частично. Ответ структурирован недостаточно. Понятийный аппарат освоен частично. Продемонстрировано понимание отдельных положений из материала по теме. Продемонстрированы удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Представлены фрагментарные ответы на дополнительные вопросы по теме.

Оценка «Неудовлетворительно»: Тема не раскрыта. Ответ не структурирован. Понятийный аппарат освоен в недостаточном объеме. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Продемонстрировано неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения. Не представлены ответы на дополнительные вопросы по теме.

Программу разработали:

Цветков В.Б., д.ф.-м.н., профессор

---

(подпись)

Камынин В.А., к.ф.-м.н., доцент

---

(подпись)

Трикшев А.И., к.ф.-м.н., доцент

---

(подпись)