

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА**

Направление	03.06.01 Физика и астрономия
Профиль направленности	Лазерная физика (в области информационных и измерительных систем и технологий, в том числе взаимодействия излучения с веществом)
Форма обучения	очная

Семестр	Интерактив	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5		3	108	15	15	0	42	0	Э
ИТОГ О	0	3	108	15	15	0	42	0	

## АННОТАЦИЯ

Основным содержанием учебной дисциплины «Квантовая радиофизика» является изучение основ физики лазеров и лазерной техники, свойства вещества, находящегося в лазерном поле, методы лазерной диагностики, волновые процессы, нелинейная волновая оптика, воздействие лазерного излучения на вещество, лазерная фотофизика и фотобиология, физические основы лазерных технологий, элементы квантовой оптики, свойств источников когерентного излучения – лазеров

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной целью освоения учебной дисциплины “Квантовая радиофизика” является повышение уровня подготовки аспирантов, расширение их научного кругозора с учетом возрастающей роли лазеров в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах, развитие творческих способностей аспирантов; формирование и развитие профессиональных знаний в сфере избранного направления подготовки; закрепление полученных теоретических знаний по дисциплинам направления, связанных с решением сложных профессиональных задач в инновационных условиях в области лазерной физики, в том числе для подготовки к сдаче кандидатского экзамена по специальности и подготовки и защиты научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук.

Задачами учебной дисциплины являются:

- обеспечение становления профессионального научно-исследовательского мышления аспирантов, формирование четкого представления об основных профессиональных задачах, способах их решения;
- формирование способности к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач;
- определение области научных исследований и проведение анализа состояния вопроса в исследуемой предметной области; формирование готовности и базовых умений самостоятельного формулирования и решения задач, возникающих в ходе научно-исследовательской деятельности и требующих углубленных профессиональных знаний;

- развитие способности к исследованию системных связей и закономерностей функционирования и развития объектов и процессов в области квантовой радиофизики с учетом отраслевых особенностей.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Предметом учебной дисциплины «Квантовая радиофизика» является изучение основ физики лазеров и лазерной техники, свойства вещества, находящегося в лазерном поле, методы лазерной диагностики, волновые процессы, нелинейная волновая оптика, воздействие лазерного излучения на вещество, лазерная фотофизика и фотобиология, физические основы лазерных технологий, элементы квантовой оптики, свойств источников когерентного излучения – лазеров.

Изучение дисциплины «Квантовая радиофизика» основано на знании аспирантами общепрофессиональных математических и физических дисциплин.

Учебная дисциплина является логическим продолжением формирования опыта теоретической и прикладной профессиональной деятельности, получаемым аспирантом в ходе обучения, и является неотъемлемой частью подготовки аспиранта к сдаче кандидатского экзамена по специальности, а затем к представлению научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертация).

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ/ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1

УК-1 способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

УК-5 способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

ОПК-1 способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

ПК-1 умение самостоятельно формулировать научные задачи, моделировать физические процессы с разработкой программного обеспечения, разрабатывать новые приборы и методы, проводить экспериментальные и теоретические исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты в современных экспериментах

Знать:

- основы теории резонансного взаимодействия излучения с веществом; теорию гауссовых пучков, резонаторов, квантовых усилителей и генераторов, свойства вещества, находящегося в лазерном поле, основных методов лазерной диагностики, теорию волновых процессов, нелинейной волновой оптики, воздействия лазерного излучения на вещество, лазерной фотофизики и фотобиологии, физические основы лазерных технологий, элементы квантовой оптики

- ставить и решать теоретические задачи в области лазерной физики.

- физические эффекты при распространении лазерного излучения в нелинейных и диспергирующих средах

- физические основы и возможности диагностики сред с применением лазеров и для разработки новых методов активной лазерной диагностики

- современное состояние, проблемы и задачи квантовой радиофизики

Уметь:

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области лазерной физики

- генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики, в том числе в междисциплинарных областях

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов

- следовать основным нормам, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач

- использовать инновационные лазерные разработки в технологии, диагностике сред и для оптических измерений

- творчески мыслить и творчески использовать, полученные за время обучения знания, получать новые научно-практические результаты

- применять основные методы анализа, моделирования, оптимизации, управления и механизмы принятия решений в организационных системах

Владеть:

- навыками анализа основных проблем в области квантовой радиофизики, в том числе междисциплинарного характера возникающих в науке на современном этапе ее развития

- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

- способами ориентации в профессиональных источниках информации (журналы, сайты, образовательные порталы и т.д.), методами и средствами ее поиска, приемами работы со специальной литературой

- навыками работы в различных пакетах офисных программ для подготовки докладов, презентаций, публикаций, отчетов и т.д. по материалам своих результатов исследований

- навыками самостоятельной и коллективной работы направленной на решение научно-прикладных задач, возникающих при проведении научно-поисковых исследований по тематике работы

- навыками применения базовых и углубленных знаний в области квантовой радиофизики для решения задач профессиональной деятельности

- навыками использования и разработки комплексов прикладных компьютерных программ для решения задач профессиональной деятельности

- методами теоретического описания квантовых усилителей и генераторов, взаимодействия излучения с веществом, методами создания и усиления коротких лазерных импульсов

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции, час.	Практ. занятия / семинары, час.	Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**
	<i>5 Семестр</i>							
1	Первый раздел	1-8	8	8			КИ, 8	25
2	Второй раздел	9-15	7	7			КИ, 15	25
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		15	15	0			50
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>						Э	50

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	15	15	0
1 - 3	<b>Тема 1. Основы физики лазеров и лазерной техники</b> Уравнения Максвелла. Потенциальные и вихревые поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Поляризация электромагнитных волн; параметры Стокса. Уровни энергии атомов, молекул, кристаллов. Поглощение и испускание электромагнитного излучения. Вероятности спонтанных и индуцированных переходов. Принцип действия лазеров. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.	Всего аудиторных часов		
		3	3	
		Онлайн		

	<p>Оптические резонаторы. Спектр мод резонатора. Добротность резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Методы модуляции добротности резонатора лазера. Методы активной и пассивной синхронизации мод излучения в лазере. Основные типы лазеров. Динамика лазерной генерации. Классификация режимов лазерной генерации. Порог генерации. Мультистабильность и динамический хаос в лазерах. Флуктуации лазерного излучения. Естественная ширина линии и естественная расходимость лазерного излучения. Предельная пространственная когерентность лазерных пучков. Стабилизация частоты генерации (активная и пассивная). Стабилизация интенсивности. Перестройка частоты лазерной генерации. Методы измерения длительности лазерных импульсов</p>			
4 - 8	<p><b>Тема 2. Вещество в лазерном поле. Лазерная диагностика</b>  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. Многофотонные резонансные процессы. Обобщенная двухуровневая система. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация гармоник. Смещение частот. 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.</p>	Всего аудиторных часов		
		5	5	
		Онлайн		
9 - 11	<p><b>Тема 3. Волновые процессы. Нелинейная волновая оптика. Прикладная нелинейная оптика</b>  Волновая оптика световых пучков и импульсов: уравнения Максвелла, волновое уравнение, уравнения квазиоптики, уравнения для медленно меняющихся амплитуд. Гауссовы пучки, их преобразование оптическими системами. Дифракционное расплывание, длина дифракции. Волны в световодах. Дифракция случайных волновых полей,</p>	Всего аудиторных часов		
		3	3	
		Онлайн		

	<p>теорема Ван Циттерта-Цернике. Материальная дисперсия сплошной среды. Распространение импульсов в диспергирующих средах: групповая скорость, дисперсионное расплывание, эффекты дисперсии высших порядков. Спектрально ограниченный импульс. Волны в пространственно- периодических средах. Запрещенная зона. Фотонные кристаллы и их дисперсионные свойства. Фурье-оптика волновых пучков и импульсов; пространственная фильтрация. Основы адаптивной оптики: управление фазой световых колебаний в пространстве и во времени, формирование пучков и импульсов с заданной структурой. Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах: методы описания и классификация нелинейных эффектов. Самовоздействие световых пучков. Природа кубической нелинейности. Самофокусировка в средах с керровской нелинейностью, критическая мощность, длина самофокусировки. Мелкомасштабная самофокусировка. Филаментация. Пространственные оптические солитоны. Самовоздействие световых импульсов в средах с кубической нелинейностью: самомодуляция, солитоны, компрессия и расплывание. Самовоздействие случайно-модулированных импульсов. Формирование сверхкоротких импульсов методами фазовой самомодуляции и компрессии. Генерация оптических гармоник. Фазовый синхронизм и его реализация, групповой синхронизм. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Параметрическое усиление и генерация. Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские усилители и генераторы. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта. Оптические бистабильные и мультистабильные системы. Оптические логические элементы. Продольная неустойчивость в нелинейных резонаторах: от периодических колебаний через удвоение периода к оптическому хаосу. Поперечные пространственные эффекты в нелинейных резонаторах, образование и эволюция пространственных структур. Оптическое моделирование нейронных сетей.</p>			
12 - 13	<p><b>Тема 4. Воздействие лазерного излучения на вещество. Лазерная фотофизика и фотобиология. Физические основы лазерных технологий</b></p> <p>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.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		

	<p>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. Лазерный нагрев вещества. Лазерное плавление и испарение поверхности. Лазерный отжиг и легирование полупроводников. Лазерная закалка металлов. Процессы абсорбции и десорбции в поле лазерного излучения. 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</p>			
14 - 15	<p><b>Тема 5. Элементы квантовой оптики</b>  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 Мандела. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна-Подольского- Розена. Неравенства Белла. Квантовая криптография. Квантовая телепортация.</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <p>2</p> <p>Онлайн</p>	2	

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции

ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

По направлению подготовки предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков, а также технологий проведения научно–поисковых исследований.

Стандартные методы обучения: проведение лекций, практических работ, самостоятельная работа аспиранта, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к практическим, работа с литературой.

Методы обучения с применением интерактивных форм образовательных технологий: компьютерные симуляции; анализ решений на основе кейс-метода и имитационных моделей; круглые столы; групповые дискуссии и проекты; обсуждение результатов работы исследовательских групп; разбор конкретных ситуаций.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ К ФОНДУ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ В РАМКАХ РЕАЛИЗУЕМОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

По итогам выполнения индивидуального задания проводится промежуточная аттестация (семестровый контроль) аспиранта. Итоговая аттестация проводится в виде экзамена.

Оценка за экзамен выставляется по четырехбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Итоговая оценка выставляется с учетом оценки за семестровый контроль.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
2. 621.37 К85 Лазеры ультракоротких импульсов и их применения : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2012
3. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Долгопрудный: Интеллект, 2012
4. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Долгопрудный: Интеллект, 2012

5. ЭИ И 26 Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
6. ЭИ К 59 Основы фемтосекундной оптики : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
7. 535 Д31 Современная лазерная спектроскопия : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2014
8. ЭИ П 16 Физические основы фотоники : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2018
9. 535 Г93 Введение в Фурье-оптику : , Дж.У. Гудмен; Пер.с англ., М.: Мир, 1970
10. 537 К23 Лекции по квантовой электронике : , Карлов Н.В., М.: Наука, 1988
11. 535 С42 Квантовая оптика : , М. О. Скалли, М. С. Зубайри, М.: Физматлит, 2003
12. 535 Ш47 Принципы нелинейной оптики : , Шен И.Р.;Пер.с англ., М.: Наука, 1989
13. 537 Х19 Лекции по квантовой радиофизике : , Я. И. Ханин, Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2005

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 А44 Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике : , В. М. Акулин, Н. В. Карлов, М.: Наука, 1987
2. 535 Л52 Принципы нелинейной лазерной спектроскопии : , В.С. Летохов, В.П. Чеботаев, М.: Наука, 1975
3. 535 М23 Оптическая когерентность и квантовая оптика : , Л. Мандель, Э. Вольф, М.: Физматлит, 2000
4. 535 Я60 Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы : , М. Янг, М.: Мир, 2005
5. 537 З-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
6. 535 А95 Физическая оптика : учебник для вузов, С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин, Москва: Наука, 2004
7. 535 К38 Оптические солитоны : от световодов к фотонным кристаллам, Ю. С. Кившарь, Г. П. Агравал, М.: Физматлит, 2005

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

Автор(ы):

Киреев Сергей Васильевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):