

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ
им. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

С.А. Никитов

2024 г.



ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности

1.3.19 Лазерная физика

(физико-математические науки)

Москва, 2024

I. Общие положения

Настоящая программа предназначена для аспирантов и лиц, прикрепленных для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и содержит требования к кандидатскому экзамену по специальности 1.3.19 Лазерная физика. Программа разработана на основе типовой программы-минимум кандидатского экзамена по специальности «Лазерная физика», утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

II. Содержание кандидатского экзамена

На кандидатский экзамен выносятся следующий перечень разделов и вопросов.

Основы физики лазеров и лазерной техники

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.

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.

Вещество в лазерном поле. Лазерная диагностика

Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Векторы 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.

Волновые процессы. Нелинейная волновая оптика. Прикладная нелинейная оптика

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, 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.

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.

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 их изучения. Лазерная микро- и макродиагностика биомолекул, клеток и биотканей. Лазерная оптико-акустическая томография.

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.

III. Список рекомендуемой литературы для подготовки к кандидатскому экзамену

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

IV. Критерии выставления оценок на кандидатском экзамене

Оценка знаний производится по **пятибалльной шкале**.

Оценка **«отлично»** выставляется за обстоятельный и глубокий ответ на два вопроса из разных тематических разделов. Аспирант/экстерн грамотно использует научную терминологию, демонстрирует знание источников, выявляет основные тенденции и проблемы, свободно ориентируется в материале, относящемся к предмету.

Оценка **«хорошо»** предполагает правильные и достаточно полные ответы на два вопроса из разных тематических разделов, отсутствие грубых ошибок и упущений, если одновременно допущены отдельные ошибки и у аспиранта/экстерна возникли затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при недостаточно полном ответе на основные вопросы, при наличии пробелов в знаниях, а также если у аспиранта/экстерна возникли серьёзные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа теоретических знаний.