

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по ОД

Е.В. Луков

« 15 » декабря 2022г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
1.3.19. «Лазерная физика»

Программа кандидатского экзамена по научной специальности *1.3.19. «Лазерная физика»* рассмотрена и рекомендована к утверждению ученым советом радиофизического факультета

протокол № 10 от 13.12.2022

Авторы-разработчики:

1. Липатов Евгений Игоревич, кандидат физ.-мат. наук, без звания, доцент
2. Тельминов Евгений Николаевич, кандидат физ.-мат. наук, доцент, доцент
3. Шулепов Михаил Александрович, кандидат физ.-мат. наук, без звания, научный сотрудник

Согласовано:

Руководитель ОП



Липатов Евгений Игоревич

1. Общие положения

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» кандидатские экзамены сдаются в соответствии с научной специальностью (научными специальностями) и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени к проведению научных исследований по научной специальности 1.3.19 «Лазерная физика» и по соответствующей отрасли науки (далее – кандидатский экзамен).

Программа кандидатского экзамена разработана на основе Паспорта научной специальности 1.3.19 «Лазерная физика» (далее Программа), утвержденного ВАК при Минобрнауки России.

Организация и проведение приема кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с установленным в НИ ТГУ порядком.

Подготовка по Программе может осуществляться как самостоятельно, так и в рамках освоения соответствующей программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре НИ ТГУ. Сдача аспирантом кандидатского экзамена является обязательным условием обучения и относится к оценке результатов освоения базовой дисциплины (модуля) образовательного компонента программы, осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

2. Структура кандидатского экзамена и шкала оценивания уровня знаний

Кандидатский экзамен проводится в форме устного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

1. Основные вопросы (не более трёх вопросов по содержанию курса «Лазерная физика»).
2. Дополнительные вопросы (не более трёх вопросов из 2-го раздела содержания Программы).

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

«отлично» - 5 баллов;

«хорошо» - 4 балла;

«удовлетворительно» - 3 балла;

«неудовлетворительно» - 1-2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет.	5 баллов
Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные.	4 балла
Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования.	3 балла
Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный	1-2 балла

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

3. Перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена

Раздел 1. Основные вопросы (по содержанию дисциплины «Лазерная физика»).

Тема 1. 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.

Тема 2. 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. 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.

Тема 3. 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 кубичной 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 Манделштама-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.

Тема 4. 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.

Тема 5. 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.

Литература

1. *Ахманов С.А., Никитин С.Ю.* Физическая оптика. – М.: Изд-во МГУ, 2004. 626 с.
2. Базовые лекции по электронике (в 2-х т.). Т. 1: Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника / Общ. ред. В.М. Пролейко. – М.: Техносфера, 2009. – С. 275–310, 357–377.
3. *Банкер Ф.* Симметрия молекул и молекулярная спектроскопия. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
4. *Вильсон Е., Дешюс Д., Кросс П.* Теория колебательных спектров молекул. М. : ИЛ, 1949. – 358 с.
5. *Виноградова М.Б., Руденко С.В., Сухоруков А.П.* Теория волн. – М.: Наука, 1979. 328 с.

6. *Владимиров С.Н., Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н.* Нелинейно-динамическая криптология: радиофизические и оптические системы. – М.: Физматлит, 2009. – 208 с.
7. *Герцберг Г.* Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. – М.: Мир, 1949. – 648 с.
8. *Герцберг Г.* Спектры и строение двухатомных молекул. Пер. с англ. – М.: ИЛ, 1949. – 403 с.
9. *Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А.* Лазеры на парах меди. – М.: Физматлит, 2005. 134 с.
10. *Дубнищев Ю.Н.* Теория и преобразование сигналов в оптических системах. – Новосибирск: Изд-во Сиб. унив., 2004. – 275 с. (5 экз. в НБ ТГУ).
11. *Звелто О.* Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. 560 с.
12. *Карлов Н.В.* Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1988. 335 с.
13. *Кившарь Ю.С., Агравал Г.П.* Оптические солитоны: От волоконных световодов к фотонным кристаллам / Пер. под ред. Н.Н. Розанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 648 с.
14. *Киселёв Г.Л.* Квантовая и оптическая электроника: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2011. – 320 с.
15. *Климков Ю.М.* Прикладная лазерная оптика. – М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
16. *Кузнецов С.П.* Динамический хаос (курс лекций). – М.: Физматлит, 2006. – 355 с. (9 экз. в НБ ТГУ).
17. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов / В.М. Батенин, В.В. Бучанов, М.А. Казарян и др. М.: Научная книга, 1998. 544 с.
18. *Лоудон Р.* Квантовая теория света. – М.: Мир, 1976. – 488 с.
19. *Маршалл Т.* Лазеры на свободных электронах. – М.: Мир, 1987. 273 с.
20. *Н.Б. Делоне.* Взаимодействие лазерного излучения с веществом. – М.: Наука, 1989. – 280 с.
21. *Свердлов Л.М., Ковнер М.А., Крайнов Е.П.* Колебательные спектры многоатомных молекул. – М.: Наука, 1970. – 650 с.
22. *Скалли М.О., Зубайри М.С.* Квантовая оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 512 с.
23. *Тарасенко В.Ф., Пойзнер Б.Н.* Импульсные лазеры на плотных газах: физика процессов и экспериментальная техника. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. 143 с.
24. *Тарасов Л.В.* Физика лазера. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011. – 456 с.
25. Терминология квантовой электроники и лазерной техники в диссертациях, дипломных и курсовых работах: Методические материалы и указатель нормативно установленных терминов / Сост. Б.Н. Пойзнер, А.М. Решетов, В.В. Сичкарёв. – Томск, 1988. 52 с.
26. *Ханин Я.И.* Основы динамики лазеров. – М.: Наука, 1999. 368 с.
27. *Хаус Х.* Волны и поля в оптоэлектронике. – М.: Мир, 1988. 432 с.
28. *Шляйх В.П.* Квантовая оптика в фазовом пространстве. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 760 с.
29. *Штыков В.В.* Квантовая радиофизика. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 336 с. (30 экз. в НБ ТГУ).

30. Энциклопедия низкотемпературной плазмы: Серия Б: Справочные приложения, базы и банки данных: Т. XI-4. Газовые и плазменные лазеры / Под ред. С.И. Яковленко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 820 с.
31. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. – М.: Мир, 2005. 541 с.
32. Яриш А. Введение в оптическую электронику. – М.: Мир, 1983. 398 с.
33. Handbook of solid-state lasers. Materials, systems and applications (Eds. B. Denker, E. Shklovsky). Woodhead Publishing, 2013. 660 p. (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 35).
34. M.Csele. Fundamental of Light Sources and Lasers (2004)
35. D.Greene Light and Dark (2003)
36. W. Chang Principles of Lasers and Optics (2005)

Раздел 2. Дополнительные вопросы (по области исследований паспорта научной специальности 1.3.19 «Лазерная физика»).

1. Процессы генерации и преобразования когерентного оптического излучения, физические методы управления свойствами и параметрами лазерного излучения, включая разработку источников излучения с неклассическими свойствами.

1. Процессы в лазерах на алюмоиттриевом гранате с неодимом и на стекле с неодимом, их конструкция, параметры излучения.
 2. Процессы в электроразрядных и электроионизационных CO₂-лазерах, их конструкция, параметры излучения.
 3. Процессы в мощных лазерных CO₂-усилителях.
 4. Процессы в СО-лазерах.
 5. Процессы в полупроводниковых лазерах с электронной накачкой и квантоскопы.
 6. Процессы в инжекционных лазерах на двойных гетероструктурах.
 7. Бистабильные полупроводниковые лазеры.
 8. Процессы в лазерах на самоограниченных переходах; их конструкция, параметры излучения.
 9. Процессы в эксимерных лазерах; их конструкция, параметры излучения.
 10. Процессы в лазерах на неорганических жидкостях, особенности их конструкции и характеристики излучения.
 11. Процессы в лазерах на красителях; их конструкция, параметры излучения.
 12. Процессы в лазерах на центрах окраски; их конструкция, параметры излучения.
- Вибронные лазеры.

13. Процессы в ионных лазерах.
14. Голографические лазеры: принцип действия, резонаторы, активные среды.
15. Процессы в плазменных лазерах.
16. Свип-лазеры.
17. Солитонные лазеры.
18. Волоконные лазеры и усилители.
19. Проблема создания гамма-лазеров.
20. Расчёт параметров и способ согласования гауссова пучка с открытым резонатором.
21. Принципы и техника селекции поперечных и продольных мод излучения.
22. Принципы и техника синхронизации продольных мод излучения.
23. Температурные эффекты в активных элементах лазеров.
24. Влияние термооптических искажений на излучение лазеров.
25. Отклик излучения газовых лазеров на возмущение тока разряда.
26. Шумы в лазерных усилителях и в лазерах.
27. Методы получения сверхкоротких импульсов лазерного излучения.
28. Неустойчивые резонаторы: конструкция, потери, спектр частот.
29. Открытые резонаторы мощных ионных лазеров.
30. Методы управления характеристиками лазерного излучения.

Рекомендуемая литература

1. *Айхлер Ю., Айхлер Г.И.* Лазеры: Исполнение, управление, применение. – М.: Техносфера, 2012. – 496 с.
2. *Пойзнер Б.Н.* Физические основы лазерной техники: Уч. пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 210 с.
3. Springer Handbook of Lasers and Optics (Ed. F. Träger). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. 1694 p.

2. Исследование фундаментальных свойств вещества с помощью когерентного излучения методами нелинейной оптики и лазерной спектроскопии.

1. Физические и математические аспекты принципа Неймана.
2. Явление фотоупругости и закономерности дифракции света на звуке.
3. Электрооптические эффекты Керра и Погкельса.

4. Ангармонический осциллятор как элементарная модель нелинейной поляризуемости.
5. Эффекты нелинейного преобразования частоты и самовоздействия света.
6. Условия фазового синхронизма в нелинейной среде и их квантово-механическая интерпретация.
7. Нелинейная рефракция, самофокусировка и самодефокусировка.
8. Генерация второй и третьей гармоник оптического излучения.
9. Распространение солитонов в волноводных структурах: нелинейно-оптический и информационный аспекты.
10. Пространственные солитоны в керровской среде с насыщением нелинейности.
11. Понятие нелинейной динамической системы и способы её математического описания. Обратная связь и передаточные характеристики. Принцип суперпозиции и его нарушение в системах с нелинейной средой, элементом.
12. Понятие бифуркации и катастрофы. Основные виды бифуркаций: состояний равновесия; периодических режимов; состояний равновесия и периодических движений. Понятие катастрофы. Явления бистабильности, мультистабильности и гистерезиса в свете понятия бифуркации. Графическое представление бифуркационного поведения.
13. Примеры динамических систем с бифуркациями: триггер Шмидта, бистабильный интерферометр Фабри-Перо, нелинейный кольцевой интерферометр и влияние оптического вихря на его бифуркационное поведение. Их возможные применения в информационных системах.
14. Передаточная характеристика интерферометров как преобразователя: три примера докладчика. Пространственная неоднородность как преобразователь: три примера докладчика, касающихся дифракции волн.
15. Детерминированный хаос: типичный случай или экзотика? Связь его с неустойчивостью и условия его возникновения (нелинейность, размерность фазового пространства). Историко-научные пути к открытию хаоса.
16. Использование явления синхронизации и хаотического отклика для осуществления конфиденциальной связи.
17. Нелинейно-оптические системы – аналоги нейронных сетей и гипотетических внутриклеточных вычислительных «устройств».

18. Оптические вихри как носитель информации и способы использования в информационных системах.
19. Волноводный резонатор и волноводные моды.
20. Распределение поля в волноводных модах.
21. Поперечные моды открытого резонатора.
22. Распространение Гауссова пучка в свободном пространстве.
23. Эффект тепловой линзы.
24. Методы ввода-вывода излучения для тонкопленочного волновода.

Рекомендуемая литература

1. *Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.* Прикладная нелинейная оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 512 с.
2. *Измайлов И.В., Лячин А.В., Пойзнер Б.Н.* Детерминированный хаос в моделях нелинейного кольцевого интерферометра. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 256 с.
3. *Шен И.Р.* Принципы нелинейной оптики. – М.: Мир, 1989. С. 290-317.

Пример экзаменационного билета

1. Уравнения Максвелла, потенциальные и вихревые поля.
2. Схема лазера на связанных переходах и роль оптического резонатора.
3. Флуктуации лазерного излучения. Естественная ширина линии и естественная расходимость лазерного излучения.