

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан РФФ

А.Г. Коротяев

« 20 »

Радиофизический факультет

2022 г.



ПРОГРАММА

вступительного испытания по специальной дисциплине  
соответствующей научной специальности программы подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре  
1.3.19 – Лазерная физика

**Авторы-разработчики:**

*Войцеховский Александр Васильевич, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой квантовой электроники и фотоники Радиофизического факультета НИ Томского госуниверситета*

*Липатов Евгений Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент Кафедры квантовой электроники и фотоники Радиофизического факультета НИ Томского госуниверситета*

Согласовано:

Руководитель ОП



Е.И. Липатов

## 1. Общие положения

1.1. Программа вступительного испытания по специальной дисциплине соответствующей научной специальности программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре 1.3.19 – Лазерная физика

*шифр и наименование научной специальности*

(далее – Программа), сформирована на основе требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к программам магистратуры (специалитета) по соответствующим направлениям (специальностям) подготовки. Программа разработана для поступления на обучение в аспирантуру НИ ТГУ.

Программой устанавливается:

- форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;
- шкала оценивания;
- максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;
- критерии оценки ответов.

Вступительное испытание проводится на русском языке или на английском языке для абитуриентов из стран дальнего зарубежья, поступающих на обучение по PhD программе.

Форма, процедура сдачи вступительного испытания, а также шкала оценивания и критерии оценки ответов экзаменуемого, установленные Программой, не зависят от языка проведения вступительного испытания.

1.2. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом ректора НИ ТГУ, действующими на текущий год поступления.

1.3. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

## 2. Форма, структура, процедура, программа вступительного испытания и шкала оценивания ответов

2.1. Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в форме экзамена письменно и устно (в форме собеседования) в соответствии с перечнем тем и (или) вопросов, установленных данной Программой.

### Структура экзамена.

#### 1. Оптика

Линейные и нелинейные колебательные системы. Понятия фазовой плоскости и фазовой траектории. Уравнения Максвелла: дифференциальная и интегральная



формы. Волновое уравнение для электромагнитного поля. Понятие поляризации для электромагнитной волны.

Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения при отражении света.

Распространение света в анизотропных и гиротропных средах. Волновые поверхности в кристаллах. Лучи и волновые нормали. Эллипсоид Френеля. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление. Электрооптические эффекты Керра и Поггеля.

Энергетические уровни атомов, ионов и молекул. Оптические и неоптические переходы. Вероятности и скорости оптических переходов. Мощность спонтанного и вынужденного излучения.

Ширина и контур спектральных линий. Естественная ширина линий. Факторы, влияющие на уширение линий. Поперечная и продольная релаксации. Однородное и неоднородное уширение линий. Спектральная плотность мощности.

## 2. Свойства лазерного излучения.

Пространственно-временная когерентность. Монохроматичность, направленность, поляризованность, объёмная и спектральная плотность излучения. Способы получения этих свойств от обычных источников и их недостатки. Способы демонстрации и исследования указанных свойств. Преимущества лазера как источника излучения, вытекающие из рассмотренных свойств излучения.

## 3. Структурная схема лазера.

Основные элементы лазера и их роль. Лазер как преобразователь качества энергии. Лазер как усилитель с положительной обратной связью. Беззеркальные лазеры. Роль спонтанного излучения в развитии генерации.

Эффективность преобразования энергии и условия возникновения инверсии населённостей для четырёхуровневой схемы активного центра.

Непрерывный и импульсный режимы работы лазера с точки зрения условий создания инверсии населённостей. Самоограниченные и связанно-свободные лазерные переходы.

## 4. Оптические резонаторы. Модели лазерных пучков.

Особенности лазерного излучения. Параметры двухзеркального резонатора. Резонатор как оптический волновод. Потери излучения и добротность резонатора, резонансные свойства. Моды резонатора и их обозначение. Разновидности открытых оптических резонаторов.

Приближения в теории открытого резонатора. Оптический резонатор с активной средой. Основные процессы, происходящие в активном резонаторе: усиление и потери мощности, формирование модового состава излучения, спектральных характеристик, конкуренция мод и деформация спектра мод. Явление выгорания «провалов», термооптические явления, генерация волноводных мод и мод «шепчущей галереи» в твердотельных активных элементах. Роль дополнительных отражающих поверхностей в резонаторе.



Методы геометрической, матричной, волновой, оптики в описании пучка лазерного излучения.

Приближение геометрической оптики. Матрица переноса луча. Расчёт преобразования пучков с помощью лучевых матриц. G-параметры и понятие устойчивости резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Диаграмма устойчивости. Плоский, конфокальный, концентрический резонаторы и их свойства. Понятие эквивалентного конфокального резонатора. Анизотропные резонаторы.

Модель гауссова пучка. Особенности распространения гауссова пучка в свободном пространстве. Основные параметры гауссова пучка, формируемого в устойчивом резонаторе. Параметры Когельника. Конфокальный параметр пучка.

Приближение квазиоптики (волновое приближение). Интегральное уравнение Фокса–Ли для открытого резонатора. Дифракционные потери и фазовый сдвиг. Моды открытого резонатора как решения уравнения Фокса–Ли.

#### 5. Устройства и элементы вывода излучения из резонатора лазера.

Полупрозрачные зеркала. Элемент с отверстием связи. Вывод излучения через края одного из отражателей. Использование полупрозрачной пластинки, помещаемой внутрь полости резонатора, для вывода излучения.

#### 6. Методы описания процессов в лазерах.

Особенности лазера как системы. Иерархия теоретических методов и моделей описания процессов в лазерах. Феноменологический (вероятностный), полуклассический и квантовый методы. Основные положения.

Феноменологические (вероятностные) модели. Полуклассическая модель. Квантово-электродинамическая модель. Процессы в лазере и хаковская версия синергетики.

Фотонная модель процессов в одномодовом лазере. Основные приближения. Физическое содержание модели Статца-Де Марса.

Анализ фотонной модели. Квазистатическое приближение. Особенности динамики плотности фотонов и инверсии населённости.

#### 7. Режимы работы лазеров.

Режим свободной генерации. Режим модуляции добротности резонатора. Режим синхронизации мод. Многомодовый, одномодовый и одночастотный режимы генерации лазера. Динамический хаос и условия его появления в лазерах.

#### 8. Классификация и типы лазеров.

Классификация лазеров по различным основаниям. Газовые лазеры. Общие особенности. Обеспечение инверсии в газовых лазерах. Лазеры на нейтральных атомах. Ионные лазеры. Молекулярные лазеры. Лазеры на эксимерах. Электроионизационные, газодинамические и химические.

Жидкостные лазеры. Общие особенности. Лазеры на растворах неорганических соединений редкоземельных элементов. Лазеры на растворах органических красителей. Управление спектром излучения жидкостных лазеров.



Полупроводниковые лазеры. Общие особенности. Создание инверсии в полупроводниках. Лазеры с электронной накачкой. Инжекционные лазеры. Гетероструктурные лазеры с одно- и двухсторонним ограничением.

Твердотельные лазеры. Общие особенности. Системы оптической накачки. Твердотельные лазеры с накачкой лазерными диодами и светодиодами. Активные среды. Твердотельные микролазеры и волоконные лазеры. Лазеры на квантовых ямах.

#### 9. Параметры и характеристики лазерного излучения.

Энергетические, временные спектральные и пространственно-угловые характеристики лазерного излучения. Расходимость излучения, длина волны, понятие ближней и дальней зоны, размер пучка, форма волнового фронта. Эксплуатационные параметры лазеров.

#### 10. Методы расчёта основных элементов лазерных систем.

Оценка мощности излучения лазера. Расчёт оптимального коэффициента полезных потерь лазера. Методика расчёта систем оптической накачки лазеров. Расчёт КПД лазера.

#### 11. Элементы источников накачки лазерных активных сред.

Элементы систем накачки твердотельных лазеров: лампы накачки, осветители, полупроводниковые лазеры и светодиоды в системах накачки.

Элементы систем накачки газовых лазеров. Элементы систем накачки жидкостных лазеров. Элементы накачки полупроводниковых лазеров.

**2.2.** Процедура проведения экзамена представляет собой сдачу экзамена в очной форме и (или) с использованием дистанционных технологий (при условии идентификации поступающих при сдаче ими вступительных испытаний):

##### 1) очно и (или) дистанционно.

Для дистанционной формы проведения экзамена используются платформы Moodle и (или) программы для организации видеоконференций. Для наблюдения за участниками экзамена и идентификации их личности создана система прокторинга. Проктор (наблюдатель) перед началом экзамена при помощи веб-камеры абитуриента проводит инструктаж и собеседование по вопросам организации и проведения экзамена, идентификацию личности путем сравнения фото в паспорте и лица сдающего (абитуриент показывает в веб-камеру свой паспорт в развернутом виде рядом со своим лицом).

Видео, транслируемое с веб-камеры участника экзамена, доступно проктору для наблюдения и записывается на сервер для дальнейшего просмотра при возникновении спорных ситуаций.

**2.3.** Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к поступающему. На каждого поступающего ведется отдельный протокол.

## 2.4. Программа экзамена.

Примерный перечень вопросов для подготовки к сдаче экзамена:

1. Линейные и нелинейные колебательные системы.
2. Понятия фазовой плоскости и фазовой траектории.
3. Уравнения Максвелла: дифференциальная и интегральная формы.
4. Волновое уравнение для электромагнитного поля.
5. Гармонические поля и волны.
6. Уравнение Гельмгольца.
7. Понятие поляризации для электромагнитной волны.
8. Явления интерференции и дифракции, когерентные и некогерентные волны, Функция когерентности.
9. Процессы в гелий-неоновом лазере.
10. Условия генерирования лазерного излучения (вывод и интерпретация).
11. Процессы в лазерах на красителях.
12. Эффективность преобразования энергии и условие инверсии для 4-уровневой схемы функционирования активного центра.
13. Влияние режима работы лазера на условия создания инверсии.
14. Процессы в рубиновом лазере в режиме модуляции добротности оптического резонатора.
15. Поглощение света и спонтанное испускание: их роль в осуществлении накачки лазера.
16. Фазовая и групповая скорости света.
17. Параметры Стокса.
18. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля.
19. Полное внутреннее отражение. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения при отражении света.
20. Распространение света в анизотропных и гиротропных средах.
21. Волновые поверхности в кристаллах. Лучи и волновые нормали. Эллипсоид Френеля.
22. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление. Электрооптические эффекты Керра и Погкельса.
23. Оптическая активность. Преобразования Лоренца.

## 2.5. Шкала оценивания ответов на экзамене:

| <b>неудовлетворительно</b> | <b>удовлетворительно</b> | <b>хорошо</b>  | <b>отлично</b>  |
|----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| до 59 баллов               | 60 – 75 баллов           | 76 – 84 баллов | 85 – 100 баллов |

Общая продолжительность экзамена составляет 45 минут.



Максимальное количество баллов за экзамен – 100. Минимальное количество баллов для успешного прохождения экзамена – 60. Поступающий, набравший менее 60 баллов за экзамен, не может быть зачислен в аспирантуру.

**Таблица критериев оценки устных и письменных ответов (при наличии)**

| Вид деятельности           |        |  |
|----------------------------|--------|--|
| Оценка                     | Балл   | Уровень владения темой   |
| <b>неудовлетворительно</b> | до 59  | Неполный объем ответов, наличие ошибок и пробелов в знаниях.   |
| <b>удовлетворительно</b>   | 60-75  | Недостаточно полный объем ответа, наличие ошибок и некоторых пробелов в знаниях.   |
| <b>хорошо</b>              | 76-84  | Правильный и достаточно полный, не содержащий существенных ошибок ответ. Оценка может быть снижена за отдельные несущественные ошибки. |
| <b>отлично</b>             | 85-100 | Полный безошибочный ответ с правильным применением понятий и определений.  |

Вступительное испытание проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

Итоговая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми членами экзаменационной комиссии.