

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. Коротаев

« 30 »  2025 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

*Войцеховский*

Липатов Евгений Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент Кафедры квантовой электроники и фотоники Радиофизического факультета НИ ТГУ, руководитель ОП

*[Handwritten signature]*

## 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** (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 программу, реализуемую на английском языке.

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 дистанционных вступительных испытаний используются платформа «Среда электронного обучения iDO» и программы для организации видеоконференций (Яндекс Телемост, Контур.Толк и другие). Для наблюдения за участниками экзамена и идентификации их личности в НИ ТГУ создана система прокторинга. Проктор (наблюдатель) перед началом каждого экзамена при помощи веб-камеры поступающего проводит инструктаж и собеседование по вопросам организации и проведения экзамена, идентификацию личности путем сравнения фото в паспорте и лица сдающего (поступающий 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-хуровневой 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 Поккельса.
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)**

<b>Вид деятельности</b>		
<b>Оценка</b>	<b>Балл</b>	<b>Уровень владения темой</b>
<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.