Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН
_____А.А. Шпедт
«02» июля 2025г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

«Фотоника»

для поступающих на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН

по научной специальности
2.2.7 «Фотоника»

Красноярск 2025

1 Общие положения

Настоящая программа сформирована на основе федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет общее содержание вступительного испытания по специальной дисциплине «Фотоника» при приеме на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Вступительное испытание по специальной дисциплине «Фотоника» нацелено на оценку знаний лиц, поступающих на программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, полученных ими в ходе освоения программ специалитета и (или) магистратуры, и на отбор среди поступающих лиц, наиболее способных и подготовленных к научной и научно-исследовательской деятельности, имеющих потенциал в части генерирования новых идей при решении исследовательских задач и подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

2 Форма проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится на русском языке в устной форме. Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса. Вопросы соответствуют содержанию вступительного испытания.

3 Содержание программы

Лазерные технологии обработки материалов: области применения и их особенности. Особенности воздействия лазерного излучения на материалы и вызванные им физико-химические процессы. Различие между непрерывным и импульсным воздействием излучения на материалы, влияние длительности и частоты следования импульсов на качество обработки, ее эффективность и производительность.

Газовые технологические лазеры: типовая конструкция, газ активной среды и режимы генерации излучения (CO, CO2 и эксимерные лазеры).

Основные уравнения в оптике гауссовых пучков, определение длины Рэлея и глубины резкости, качество пучка (M2-фактор), инвариант Лагранжа-Гельмгольца. Геометрические приближения оптики лазерных пучков, телецентрическая модель лазерного источника. Фокусировка лазерного пучка сферической линзой, особенности размещения линзы и аберрационные искажения пучка.

Твердотельные и волоконные лазеры: типовая конструкция, основные материалы активных сред, режимы генерации излучения.

Лазерные информационно-измерительные технологии. Применение лазерного излучения в оптической микроскопии и спектроскопии. Лазерная

интерферометрия. Лазерная дальнометрия, доплеровский и триангуляционный датчики.

Терагерцовые лазеры: принцип возбуждения излучения, типовая конструкция и режимы генерации излучения.

Применение лазеров в научных исследованиях: флуоресцентная спектроскопия и микроскопия, конфокальная, двухфотонная и конфокальная терморефлекторная микроскопия, рамановская спектроскопия.

Спонтанные и вынужденные переходы. Принцип работы лазера и основные типы источников лазерного излучения. Активные среды и инверсная населённость, вынужденное излучение. Резонаторы лазеров. Устойчивые и неустойчивые, кольцевые резонаторы.

Схемы реализации и особенности применения pump-probe фемтосекундной техники в научных исследованиях. Лазерно-индуцированная плазменная спектроскопия и области ее применения.

Моды резонатора и модовый состав лазерного пучка. Многомодовые пучки: Эрмита-Гаусса, Лагерра-Гаусса, дифракционно-ограниченные. Режим модуляции добротности в лазере. Режим синхронизации мод лазера. Естественная ширина линии и механизмы уширения линий.

Многомерная оптическая память, лазерные технологии записи и считывания информации в объеме прозрачных диэлектриков. Условия формирования модифицированных областей в объеме стекла и их оптические свойства.

Пико- и фемтосекундные лазеры: принцип генерации лазерных импульсов, типовая конструкция и режимы генерации излучения.

Технологии лазерной модификации полупроводниковых пленок: используемые материалы, лазерные источники и режимы облучения. Создание фотоэлектрических пленочных элементов. Методы многослойной записи информации и ее считывания.

Нелинейно-оптические кристаллы и их ключевые характеристики. Применение нелинейно-оптических кристаллов в лазерных системах. Модуляторы: акустооптический, ячейки Поккельса, Керра и Фарадея.

Материалы, технологии создания и применение фотовольтаических элементов и светоизлучающих полупроводниковых элементов.

Суперлюминесцинция полупроводников и полупроводниковые лазеры. Метод инжекции и генерация излучения в полупроводниковых лазерах. Характеристики пучка излучения полупроводникового лазера.

Лазерные технологии обработки тонких пленок в режимах окисления, переноса, абляции. Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры: механизмы формирования и области применения. Технология лазерной литографии. Интерференционная литография.

Особенности взаимодействия импульсов ультракороткой длительности с веществом. Применение импульсов ультракороткой длительности для лазерной обработки материалов фотоники.

Типы волноводов, применяемых в интегральной оптике: планарные и полосковые волноводы, периодические волноводы, в т.ч. решетки Брэгга,

плазмонные волноводы. Условия распространения оптического излучения в полосковом волноводе, частота отсечки для распространения одномодового излучения.

Лазерные технологии в биофотонике, оптико-физические свойства биотканей. Процессы, происходящие в биотканях под действием лазерного излучения. Основные хромофоры организма.

Функциональные элементы интегральной оптики, применяемые для фокусировки, поляризации и модуляции излучения. Волноводные интерферометры Маха-Цендера, согласующиеся волноводы и разделители. Способы ввода и вывода лазерного излучения в волновод и волокно. Оптические потери в прямолинейном и криволинейном волноводах. Сдвиг Гуса-Хенхена.

Лазерные технологии синтеза наночастиц в коллоидных растворах и в твердотельной прозрачной матрице. Механизмы формирования, роста и распада в режиме дефрагментации / окисления наночастиц под действием лазерного излучения. Плазмонный резонанс: механизм возникновения и области применения.

Лазерные технологии в термооптической хирургии и соединения биотканей. Параметры хирургических лазеров. Оптотермические и оптоакустические конверторы лазерного излучения. Лазерная рана, зоны разрушения и некроза.

Оптические системы для лазерной обработки с высоким разрешением. Дифракционный, тепловой, термохимический предел разрешения. Методы обработки материалов интерференционными полями.

Применение лазерных источников в исследованиях квантоворазмерных систем. Понятия лазерной левитации (оптического пинцета), оптических ловушек, лазерного охлаждения. Сферы применения и перспективы развития.

Применение лазеров в качестве эталонных источников излучения для проведения измерений. Характеристики лазерных пучков: направленность, когерентность, спектральная ширина лазерного излучения.

4 Примерный перечень вопросов

1 Лазерные технологии обработки материалов. Особенности воздействия лазерного излучения на материалы и вызванные им физико-химические процессы.
2 Газовые технологические лазеры: типовая конструкция, газ активной среды и режимы генерации излучения (CO, CO2 и эксимерные лазеры).
3 Основные уравнения в оптике гауссовых пучков, определение длины Рэлея и глубины резкости, качество пучка (M2-фактор), инвариант Лагранжа-Гельмгольца. Геометрические приближения оптики лазерных пучков, телецентрическая модель лазерного источника. Фокусировка лазерного пучка сферической линзой, особенности размещения линзы и аберрационные искажения пучка.

4 Твердотельные и волоконные лазеры: типовая конструкция, основные материалы активных сред, режимы генерации излучения.
5 Лазерные информационно-измерительные технологии. Применение лазерного излучения в оптической микроскопии и спектроскопии. Лазерная интерферометрия.
6 Терагерцовые лазеры: принцип возбуждения излучения, типовая конструкция и режимы генерации излучения.
7 Применение лазеров в научных исследованиях: флуоресцентная спектроскопия и микроскопия, конфокальная, двухфотонная и конфокальная микроскопия, рамановская спектроскопия.
8 Спонтанные и вынужденные переходы. Принцип работы лазера и основные типы источников лазерного излучения. Активные среды и инверсная населённость, вынужденное излучение. Резонаторы лазеров. Устойчивые и неустойчивые, кольцевые резонаторы.
9 Схемы реализации и особенности применения фемтосекундной техники «накачка–зондирование» в научных исследованиях.
10 Моды резонатора и модовый состав лазерного пучка. Многомодовые пучки: Эрмита-Гаусса, Лагерра-Гаусса, дифракционно-ограниченные. Режим модуляции добротности в лазере. Режим синхронизации мод лазера. Естественная ширина линии и механизмы уширения линий.
11 Многомерная оптическая память, лазерные технологии записи и считывания информации в объеме прозрачных диэлектриков. Условия формирования модифицированных областей в объеме стекла и их оптические свойства.
12 Пико- и фемтосекундные лазеры: принцип генерации лазерных импульсов, типовая конструкция и режимы генерации излучения.
13 Технологии лазерной модификации полупроводниковых пленок: используемые материалы, лазерные источники и режимы облучения. Создание фотоэлектрических пленочных элементов. Методы многослойной записи информации и ее считывания.
14 Нелинейно-оптические кристаллы и их ключевые характеристики. Применение нелинейно-оптических кристаллов в лазерных системах. Модуляторы: акустооптический, ячейки Поккельса, Керра и Фарадея.
15 Материалы, технологии создания и применение фотовольтаических элементов и светоизлучающих полупроводниковых элементов.
16 Суперлюминесцинция полупроводников и полупроводниковые лазеры. Метод инжекции и генерация излучения в полупроводниковых лазерах. Характеристики пучка излучения полупроводникового лазера.
17 Лазерные технологии обработки тонких пленок в режимах окисления, переноса, абляции. Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры: механизмы формирования и области применения. Технология лазерной литографии. Интерференционная литография.

18 Особенности взаимодействия импульсов ультракороткой длительности с веществом. Применение импульсов ультракороткой длительности для лазерной обработки материалов фотоники.

19 Типы волноводов, применяемых в интегральной оптике: планарные и полосковые волноводы, периодические волноводы, в т.ч. решетки Брэгга, плазмонные волноводы. Условия распространения оптического излучения в полосковом волноводе, частота отсечки для распространения одномодового излучения.

20 Лазерные технологии в биофотонике, оптико-физические свойства биотканей. Процессы, происходящие в биотканях под действием лазерного излучения. Основные хромофоры организма.

21 Функциональные элементы интегральной оптики, применяемые для фокусировки, поляризации и модуляции излучения. Волноводные интерферометры Маха-Цендера, согласующиеся волноводы и разделители.

22 Способы ввода и вывода лазерного излучения в волновод и волокно. Оптические потери в прямолинейном и криволинейном волноводах. Сдвиг Гуса-Хенхен.

23 Лазерные технологии синтеза наночастиц в коллоидных растворах и в твердотельной прозрачной матрице. Механизмы формирования, роста и распада в режиме дефрагментации / окисления наночастиц под действием лазерного излучения. Плазмонный резонанс: механизм возникновения и области применения.

24 Лазерные технологии в термооптической хирургии и соединения биотканей. Параметры хирургических лазеров. Оптотермические и оптоакустические конверторы лазерного излучения. Лазерная рана, зоны разрушения и некроза.

25 Оптические системы для лазерной обработки с высоким разрешением. Дифракционный, тепловой, термохимический предел разрешения. Методы обработки материалов интерференционными полями.

26 Применение лазерных источников в исследованиях квантоворазмерных систем. Понятия лазерной левитации (оптического пинцета), оптических ловушек, лазерного охлаждения. Сферы применения и перспективы развития.

27 Применение лазеров в качестве эталонных источников излучения для проведения измерений. Характеристики лазерных пучков: направленность, когерентность, спектральная ширина лазерного излучения.

5 Критерии оценивания ответов поступающих

Результаты вступительного испытания определяются по 50-бальной шкале (от 0 до 50 баллов). Максимальное количество баллов подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 50 баллов. Минимальное

количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 20 баллов.

50 – бальная шкала	Общая характеристика ответа	Критерии оценки
41–50 баллов	Ответ отличный	Ясный, достаточно точный, уверенный ответ на все вопросы экзаменационного билета, дополнительные и уточняющие вопросы. Глубокое знание материала. Свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и терминологией. Логически правильное и убедительное изложение ответа. Ответ на вопрос достаточно аргументирован и обоснован, приведены убедительные примеры по каждому вопросу экзаменационного билета.
31-40 баллов	Ответ хороший	Ясный и уверенный ответ на все вопросы билета. Знание ключевых проблем и основного содержания материала. Умение оперировать понятиями по своей тематике. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа. Допущены незначительные ошибки в терминологии и при использовании фактического материала. Ответ на дополнительные и уточняющие вопросы.
20-30 баллов	Ответ удовлетвори-тельный	Ответ на все вопросы билета, требующий существенных дополнений. Недостаточно логичное и аргументированное изложение ответа. Фрагментарные, поверхностные знания материала. Затруднения с использованием понятийного аппарата и терминологии. Отсутствуют ответы на дополнительные и уточняющие вопросы.
0 – 19 баллов	Ответ неудовлетвори-тельный	Отсутствие ответа на вопросы билета; ответ только на один из вопросов; попытка ответа на все вопросы без раскрытия основного содержания;

		подмена ответа на вопросы экзаменационного билета ответом на смежные вопросы. Полное незнание либо отрывочное представление о материале. Неумение оперировать понятиями по своей тематике. Неумение логически определенно и последовательно излагать ответ.

6 Список рекомендуемой литературы

1. Звелто О. Принципы лазеров. пер. с англ. под науч. ред. Т.А. Шмаонова. - 4-е изд. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. - 720 с
2. Тарасов Л. В. Физика лазера — Изд. 2-е, испр. и доп .— М.: URSS: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", [2010] .— 439 с.
3. Ананьев Ю.А., Оптические резонаторы и лазерные пучки / Ю. А. Ананьев. – М.: Наука, 1990. – 263 с.
4. Гудмен, Д. Введение в Фурье-оптику. – 1970.
5. Быков, В. П. Лазерные резонаторы / В. П. Быков, О. О. Силичев. - М.: Физматлит, 2004. -320 с.
6. Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие: учебное пособие для вузов / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 304 с.
7. Тарасов. Л.В. Введение в квантовую оптику / Л.В. Тарасов. М.: URSS: Издательство ЛКИ, 2014. – 304 с.
8. Koechner W. Solid-State Laser Engineering. 6th edition. - Springer-Verlag New York, 2006. - 747pp
9. L. Novotny and B. Hecht. Principles of nano-optics. Cambridge university press (2012).
10. M. Born and E. Wolf. Principles of optics: electromagnetic theory of propaga- tion,interference and diffraction of light. Elsevier (2013)
11. Principles of Photonic Integrated Circuits Materials, Device Physics, Guided Wave Design https://doi.org/10.1007/978-3-030-65193-0
12. Schaeffer R. Fundamentals of laser micromachining//CRC press. – 2012, – 223 p.
13. Dickey F. M., Laser beam shaping: theory and techniques // CRC press. – 2014, – 587 p.
14. Климков Ю.М., Хорошев М.В. Лазерная техника: Учебное пособие // М.: МИИГАиК. – 2014, – 143 с.
15. Nolte S., Schrempel F., Dausinger F. Ultrashort Pulse Laser Technology. Laser Sources and Applications // Springer Series in Optical Sciences. – 2016, – 358 p.

16. William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder. Laser Material Processing. 4.ed // Springer Series in Optical Sciences. – 2010, – 558 p.
17. Metev S. M., Veiko V. P. Laser-assisted microtechnology. 2ed // Springer Science & Business Media. – 2013, – Т. 19. – 271 p.
18. Салех, Б. and М. Тейх, Оптика и фотоника. Принципы и применения: учеб. пособие. в 2 т. Т. 1-2. 2012, М.: Издательский Дом «Интеллект». 760 с.
19. Veiko, V.P., Konov, V.I. (eds) Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies. Springer International Publishing, Heidelberg (2014) https://www.springer.com/gp/book/9783319059860 — Accessability: from ITMO University.
20. Sugioka, K. (ed) Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering. Springer, Cham. (2021) . http://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2 — Accessability: from ITMO University.

Согласовано:

Заведующий кафедрой
фундаментальных дисциплин
и методологии науки О.В. Александрова

Заведующий аспирантурой Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров А.Н. Кокорин