

**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

« 25 » *января* 2022г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Фотоника»

Научная специальность:
2.2.7 «Фотоника»

Отрасль наук:
технические, физико-математические науки

Красноярск 2022

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области фотоники.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Фотоника» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2 Содержание программы кандидатского экзамена

Физические основы фотоники.

Квантовая теория теплового излучения. Формула Планка для спектральной плотности энергии излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Фотоэффект и концепция фотона. Эффект Комптона.

Двухуровневая система в поле теплового излучения. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Полуклассическая теория Бора. Уровни энергии атома водорода. Дипольное излучение. Мощность дипольного излучения. Правила отбора при дипольном излучении. Сила осцилляторного атомного перехода. Причины уширения линий в спектрах. Естественная ширина спектральной линии.

Уравнения Максвелла в среде. Граничные условия. Вывод уравнения электромагнитной волны. Вывод законов отражения и преломления электромагнитных волн. Явление полного внутреннего отражения. Вывод формул Френеля. Закон Брюстера.

Спектр и его характеристики. Техника регистрации спектров. закон Бугера-Ламберта-Бера. Классификация спектроскопических методов. Вращательная спектроскопия. Колебательная спектроскопия. Спектроскопия электронных переходов в атомах и молекулах. Комбинационное рассеяние. Бриллюэновское рассеяние

Источники и приемники электромагнитного излучения.

Классификация источников излучения электромагнитных волн. Тепловые источники. Эффективность излучения тепловых источников в видимом и УФ диапазонах. Дуговой и тлеющий разряды в газах. Газоразрядные лампы. Принцип действия и основные компоненты лазера. Активная среда. Трехуровневые и четырехуровневые лазерные системы. Основные типы лазеров и их характеристики. Применения лазеров. Условие инверсии населенностей. Пороговое условие генерации. Модовый состав излучения. Резонаторы с различными элементами селективного пропускания. Лазеры с перестройкой по частоте. Добротность резонатора. Модуляция добротности резонатора. Синхронизация мод. Лазеры ультракоротких импульсов. Светодиоды и инжекционные полупроводниковые лазеры (ИПЛ). Зонные диаграммы и инжекция носителей через гомо- и гетеропереходы. Ватт-амперные и спектральные характеристики излучения ИПЛ. Квантово-размерные лазеры. Методы анализа излучения: визуальный, фотографический, тепловой, фотоэлектрический. Основные характеристики приемников излучения: порог чувствительности, коэффициент преобразования, постоянная времени и область спектральной чувствительности приемников излучения. Природа шумов в оптических приемниках. Фотографические приемники излучения. Тепловые приемники излучения: болометры, термоэлементы, оптико-акустические и пироэлектрические приемники.

Фотоэмиссионные приемники излучения: фотоэлементы и фотоумножители. Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения: фоторезисторы, фотодиоды, лавинные фотодиоды. Квантово-размерные фотоприемники. Светочувствительные матрицы. Микроболометры. Селекция излучения. Диспергирующие элементы. Призма. Дифракционная решетка. Просветляющие покрытия и интерференционные фильтры. Интерференционные спектральные приборы.

Основы волоконной оптики

Принцип работы волоконного световода. Профиль показателя преломления. Световоды со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления. Апертура световода. Ширина спектра пропускания сигнала (наибольшая частота модуляции). Постоянная распространения. Эффективный показатель преломления. Число мод в световоде. Волноводный параметр. Одномодовые световоды. Условие одномодового режима работы световода. Длина волны отсечки второй моды. Анизотропия в волоконных световодах. Световоды, сохраняющие поляризацию излучения. Двулучепреломление. Эволюция поляризации по длине световода. Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.

Волновое уравнение для планарных и цилиндрических волоконных световодов. Граничные условия для векторов напряженности электрического и магнитного полей. Решения волнового уравнения для планарных и цилиндрических световодов. Диаметр поля моды. ТЕ- и ТМ-волны. Дисперсионное соотношение. Межмодовая и внутримодовая дисперсия

Хроматическая дисперсия: материальная и волноводная. Длина волны нулевой хроматической дисперсии. Поляризационная модовая дисперсия. Классификация потерь мощности излучения в оптических световодах. Потери на рассеяние и поглощение. Потери на макроизгибах и микроизгибах. Потери при соединении световодов. Измерение профиля показателя преломления. Измерение длины волны отсечки. Измерение дисперсии. Измерение диаметра поля моды. Методы измерения двулучепреломления и способности сохранять поляризацию. Измерение спектра оптических потерь в волоконных световодах. Импульсная оптическая рефлектометрия Бриллюэновская рефлектометрия

Применение волоконных световодов. Устройства управления светом

Активные волоконные световоды и принципы их работы в режиме генерации. Основные схемы волоконных лазеров и усилителей. Характеристики волоконных лазеров и усилителей. Волоконные ВКР-усилители.

Датчики на основе интерферометров Фабри-Перо, Маха-Цандера и Майкельсона. Волоконно-оптические датчики на основе интерферометра Саньяка. Волоконно-оптический гироскоп. Волоконно-оптические датчики

магнитного поля. Датчики на основе волоконно-оптических брэгговских решеток. Индустриальные приложения оптоволоконных датчиков.

Волоконно-оптические линии связи. Основные принципы передачи информации при помощи электромагнитных волн. Преимущества волоконной оптики как коммуникационной среды. Спектральное уплотнение каналов. Устройства управления светом. Электрооптические и акустооптические световые затворы, жидкокристаллические и полупроводниковые транспаранты, устройства на основе фоторефрактивных сред. Модуляторы. Волоконно-оптические соединители и разветвители. Волоконно-оптические поляризаторы и деполаризаторы. Изоляторы. Мультиплексоры. Оптический транзистор.

3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «Фотоника»

1. Квантовая теория теплового излучения. Формула Планка для спектральной плотности энергии излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Фотоэффект и концепция фотона. Эффект Комптона.

2. Двухуровневая система в поле теплового излучения. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Полуклассическая теория Бора. Уровни энергии атома водорода. Дипольное излучение. Мощность дипольного излучения. Правила отбора при дипольном излучении. Сила осцилляторного атомного перехода. Причины уширения линий в спектрах. Естественная ширина спектральной линии.

3. Уравнения Максвелла в среде. Граничные условия. Вывод уравнения электромагнитной волны. Вывод законов отражения и преломления электромагнитных волн. Явление полного внутреннего отражения. Вывод формул Френеля. Закон Брюстера.

4. Спектр и его характеристики. Техника регистрации спектров. закон Бугера-Ламберта-Бера. Классификация спектроскопических методов. Вращательная спектроскопия. Колебательная спектроскопия. Спектроскопия электронных переходов в атомах и молекулах. Комбинационное рассеяние. Бриллюэновское рассеяние.

5. Классификация источников излучения электромагнитных волн. Тепловые источники. Эффективность излучения тепловых источников в видимом и УФ диапазонах. Дуговой и тлеющий разряды в газах. Газоразрядные лампы.

6. Принцип действия и основные компоненты лазера. Активная среда. Трехуровневые и четырехуровневые лазерные системы. Основные типы лазеров и их характеристики. Применения лазеров. Условие инверсии населенностей. Пороговое условие генерации. Модовый состав излучения.

7. Лазерные резонаторы с различными элементами селективного пропускания. Лазеры с перестройкой по частоте. Добротность резонатора. Модуляция добротности резонатора. Синхронизация мод. Лазеры ультракоротких импульсов.

8. Методы анализа излучения: визуальный, фотографический, тепловой, фотоэлектрический. Основные характеристики приемников излучения: порог чувствительности, коэффициент преобразования, постоянная времени и область спектральной чувствительности приемников излучения.

9. Природа шумов в оптических приемниках. Фотографические приемники излучения. Тепловые приемники излучения: болометры, термоэлементы, оптико-акустические и пирозлектрические приемники. Фотоэмиссионные приемники излучения: фотоэлементы и фотоумножители. Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения: фоторезисторы, фотодиоды, лавинные фотодиоды. Квантово-размерные фотоприемники. Светочувствительные матрицы. Микроболометры.

10. Селекция излучения. Диспергирующие элементы. Призма. Дифракционная решетка. Просветляющие покрытия и интерференционные фильтры. Интерференционные спектральные приборы.

11. Принцип работы волоконного световода. Профиль показателя преломления. Световоды со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления. Апертура световода. Ширина спектра пропускания сигнала (наибольшая частота модуляции). Постоянная распространения. Эффективный показатель преломления. Число мод в световоде. Волноводный параметр.

12. Одномодовые световоды. Условие одномодового режима работы световода. Длина волны отсечки второй моды. Анизотропия в волоконных световодах. Световоды, сохраняющие поляризацию излучения. Двулучепреломление. Эволюция поляризации по длине световода. Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.

13. Волновое уравнение для планарных и цилиндрических волоконных световодов. Граничные условия для векторов напряженности электрического и магнитного полей. Решения волнового уравнения для планарных и цилиндрических световодов. Диаметр поля моды. TE- и TM-волны.

14. Дисперсионное соотношение. Межмодовая и внутримодовая дисперсия. Хроматическая дисперсия: материальная и волноводная. Длина волны нулевой хроматической дисперсии. Поляризационная модовая дисперсия.

15. Классификация потерь мощности излучения в оптических световодах. Потери на рассеяние и поглощение. Потери на макроизгибах и микроизгибах. Потери при соединении световодов. Измерение профиля показателя преломления. Измерение длины волны отсечки. Измерение дисперсии. Измерение диаметра поля моды. Методы измерения двулучепреломления и способности сохранять поляризацию. Измерение спектра оптических потерь в волоконных световодах. Импульсная оптическая рефлектометрия.

16. Применение волоконных световодов. Активные волоконные световоды и принципы их работы в режиме генерации. Основные схемы волоконных лазеров и усилителей. Характеристики волоконных лазеров и усилителей. Волоконные ВКР- усилители.

17. Датчики на основе интерферометров Фабри-Перо, Маха-Цандера и Майкельсона. Волоконно-оптические датчики на основе интерферометра Саньяка. Волоконно-оптический гироскоп. Волоконно-оптические датчики

магнитного поля. Датчики на основе волоконно-оптических брэгговских решеток. Индустриальные приложения оптоволоконных датчиков.

18. Волоконно-оптические линии связи. Основные принципы передачи информации при помощи электромагнитных волн. Преимущества волоконной оптики как коммуникационной среды. Спектральное уплотнение каналов.

19. Электрооптические и акустооптические световые затворы, жидкокристаллические и полупроводниковые транспаранты, устройства на основе фоторефрактивных сред. Модуляторы. Волоконно-оптические соединители и разветвители. Волоконно-оптические поляризаторы и деполяризаторы. Изоляторы. Мультиплексоры. Оптический транзистор.

4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Полно раскрыто содержание вопросов; материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, правильно используется терминология; показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов.
Хорошо	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом может иметь следующие недостатки: в изложении допущены небольшие пробелы, не искажившие содержание ответа допущены один -два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию
Удовлетворительно	Неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса. Имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение

5.1 Основная литература

- 1 Иванов Г. А. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон : учебное пособие для вузов / Г. А. Иванов, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011
- 2 Оптика. - Москва: , Физматлит, 2017. - (Общий курс физики / Д. В. Сивухин : учебное пособие для вузов : в 5 т.; Т. 4)..
- 3 Т. 1. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 1).
- 4 Т. 2. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 2).
- 5 Цаплин А. И. Методы измерений в волоконной оптике : учебное пособие для вузов / А. И. Цаплин, М. Е. Лихачев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.

5.2 Дополнительная литература

- 1 Бейли Д. Волоконная оптика : теория и практика : учебно-справочное издание : пер. с англ. / Д. Бейли, Э. Райт. - Москва: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008.
- 2 Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии : пер. с англ. / К. Бенуэлл. - Москва: Мир, 1985.
- 3 Волоконно-оптические датчики : вводный курс для инженеров и научных работников : пер. с англ. / Э. Удд [и др.]. - Москва: Техносфера, 2008.
- 4 Звелто О. Принципы лазеров : пер. с англ. - СПб: Лань, 2008.
- 5 Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. - Москва: САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
- 6 Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. - М.: ЛЕСАРарт, 2003.
- 7 Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. - М.: ЛЕСАРарт, 2005.
- 8 Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи : пер. с англ. / Р. Фриман. - М.: Техносфера, 2007.

5.3 Интернет ресурсы

1. Scopus, база данных рефератов и цитирования, <http://www.scopus.com>.
2. ScienceDirect (Elsevier), база данных научного цитирования, естественные науки, техника, медицина и общественные науки, <http://www.sciencedirect.com>.
3. :Web of Science Core Collection – международная междисциплинарная база данных научного цитирования, <http://www.webofknowledge.com>.
4. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ», <http://e.lanbook.com>.
5. Университетская библиотека ONLINE, электронно-библиотечная система, <http://biblioclub.ru/>.
6. Образовательная платформа - электронно-библиотечная система издательства «Юрайт», <https://urait.ru/>.

7. Электронно-библиотечная система Znanium.com, <http://www.znanium.com>.
8. Центральная Научная Библиотека имени Н.И. Железнова, <http://www.library.timacad.ru>.
9. United Nations Environment Program: www.unep.org.
10. eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/>.
11. Национальная электронная библиотека, <https://rusneb.ru/>.
12. Электронная библиотека IOP Science дома научного контента от IOP Publishing, <http://iopscience.iop.org/>.
13. Электронная библиотека SPIE. Digital library, <http://spiedigitallibrary.org/>.
14. Архив научных журналов Министерства образования и науки Российской Федерации, <http://archive.neicon.ru/xmlui/>.
15. Библиотека издательства Annual Reviews, библиотека журналов <http://www.annualreviews.org>.
16. Библиотека Российского фонда фундаментальных исследований, <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.
17. Центральная научная библиотека ФИЦ КНЦ СО РАН, <http://cnb.krasn.ru>.
18. Электронная библиотека Nature, <http://www.nature.com>.
19. Электронная библиотека Science, <http://www.sciencemag.org>.
20. База данных научного цитирования издательства Taylor&Francis Group, <http://www.tandfonline.com/>.
21. Онлайн-библиотека Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com>.
22. Электронная библиотека журналов открытого доступа ACS Publications, <http://pubs.acs.org/>.
23. Электронная библиотека журналов Американского физического общества APS physics, <http://publish.aps.org>.
24. Электронно-библиотечная система Scitation, издательство AIP Publishing Books, <http://scitation.aip.org/>.
25. Цифровой образовательный ресурс – электронная библиотечная система IPR SMART, <http://www.iprbookshop.ru/>.
26. Библиотека издательства Oxford Academic, <http://www.oxfordjournals.org>.
27. Справочная библиотека издательства Oxford University Press, цифровая платформа Oxford Reference, <http://www.oxfordreference.com>.
28. Электронная система исследовательских журналов мирового уровня открытого доступа SAGE journals, <http://online.sagepub.com/>.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных дисциплин и методологии науки



В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин