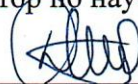


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной деятельности



\_\_\_\_\_ Д.А. Тагорский

« 9 \_\_\_\_\_ 2024 г.



**Программа**  
**кандидатского экзамена**  
**по научной специальности 1.3.6 Оптика**

## **Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 1.3.6 Оптика.**

### **Цель.**

Кандидатские экзамены являются составной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателей ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе. Сдача кандидатских экзаменов обязательна для присуждения ученой степени.

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

### **Задачи.**

- способности формулировать и доказывать основные положения и результаты фундаментальной и прикладной фотоники, квантовой оптики и оптической спектроскопии;
- готовности понимать, излагать и критически оценивать физическую информацию;
- способности анализировать современные научные достижения в области фотоники, квантовой оптики и оптической спектроскопии и применять их при решении исследовательских и практических задач;
- способности владеть навыками решения задач фотоники, квантовой оптики и оптической спектроскопии;
- готовности использовать знания в области фотоники, квантовой оптики и оптической спектроскопии для постановки и решения научно-исследовательских задач.

### **Основные требования.**

Основным требованием допуска к сдаче кандидатского экзамена является наличие подписанного заявления и утвержденной дополнительной программы кандидатского экзамена.

Сдача кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с календарным учебным графиком и индивидуальным учебным планом аспиранта. Кандидатские экзамены у прикрепленных лиц принимаются в период, установленный приказом ректора КФУ. В случае представления диссертации в совет по защите на соискание ученой степени кандидата наук, возможен прием кандидатских экзаменов вне сроков сессии.

### **Порядок проведения кандидатского экзамена.**

Кандидатский экзамен по специальности проводится в форме экзамена на основе биле-тов. В каждом экзаменационном билете 2 вопроса по основной программе и 1 вопрос по дополнительной программе. Дополнительная программа утверждается на Ученом совете Института физики для каждого аспиранта персонально со списком вопросов по теме диссертационного исследования аспиранта. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 5 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

### **Критерии оценивания.**

Оценка соискателю за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями:

**Отлично (5 баллов)**

Соискатель обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

#### **Хорошо (4 балла)**

Соискатель обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

#### **Удовлетворительно (3 балла)**

Соискатель обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

#### **Неудовлетворительно (2 и менее баллов)**

Соискатель обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

### **Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.6 Оптика.**

#### **1. Электромагнитная теория света.**

Уравнения Максвелла. Вектор Умова-Пойнтинга. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Параболическое приближение. Моды свободного пространства. Фазовая и групповая скорости света. Поляризация света. Вектор Джонса. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Расчетные методы Джонса и Мюллера. Типы поляризационных устройств. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения. 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. Коническая рефракция. Электрооптические эффекты Керра и Погкельса. Оптическая активность. Эффект Фарадея. Оптика движущихся сред. Опыты Физо и Майкельсона. Преобразования Лоренца. Продольный и поперечный эффекты Допплера.

#### **2. Геометрическая оптика.**

Асимптотическое решение волнового уравнения. Геометро-оптическое приближение. Уравнение эйконала. Область применения лучевого приближения. Принцип Ферма. Гомоцентрические пучки. Понятие оптического изображения. Параксиальное приближение. Преломление на сферической поверхности. Сферические зеркала и линзы. Образование каустик в оптических системах. Геометрические aberrации третьего и более высоких порядков. Хроматическая aberrация. Типы оптических приборов.

#### **3. Интерференция и дифракция световых волн.**

Интерференция частично-когерентного излучения. Комплексная степень когерентности. Теорема Ван-Циттерта - Цернике. Двухлучевая и многолучевая интерференция. Сдвиговая и спекл-интерферометрия. Многослойные покрытия. Дифракция. Дифракционные интегралы Кирхгофа - Гюйгенса. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Эффект Тальбо. Влияние дифракции на разрешающую силу систем, образующих изображение.

Дифракционная решетка. Параболическая теория дифракции; гауссов пучок. ABCD – метод; комплексный параметр кривизны. Особенности дифракции некогерентного излучения. Основы векторной теории дифракции. Обратные задачи теории дифракции. Синтез оптических элементов. Киноформная оптика.

#### **4. Теория излучения и взаимодействия световых волн с веществом.**

Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Резонансное приближение. Дисперсионные соотношения Крамерса - Кронига. Оптические нутации. Оптический эффект Штарка. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность. Солитоны. Релаксационные процессы. Уравнение для матрицы плотности. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей. Эффект насыщения. Законы теплового излучения. Формула Планка. Фотоэффект. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля. Однофотонные и многофотонные процессы. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Квадрупольные и магнито-дипольные переходы. Кооперативные эффекты. Сверхизлучение. Когерентное и комбинационное рассеяния. Нелинейные восприимчивости. Распространение волн в нелинейной среде. Метод медленно меняющихся амплитуд. Условие синхронизма. Генерация оптических гармоник. Трехволновое взаимодействие. Параметрическое преобразование частоты. Самофокусировка света. Вынужденное и комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Четырехволновое взаимодействие. Обращение волнового фронта. Вещество в сверхсильном световом поле.

#### **5. Статистическая оптика.**

Временная и пространственная когерентность световых полей; корреляционные функции первого и высших порядков. Спектральное представление. Теорема Винера-Хинчина. Интерферометрия интенсивностей. Опыт Брауна-Твисса. Квантовые свойства световых полей. Фоковское, когерентное и сжатое состояние поля. Распределение Бозе-Эйнштейна. Параметр вырождения поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Связь статистик фотонов и фотоотчетов, формула Мандела для распределения фотоотчетов. Дробовой шум. Статистические свойства лазерного излучения. Закон Кирхгофа и шумы квантовых усилителей света. Флуктуационно-диссипационная теорема. Корреляционная спектроскопия. Эффекты группировки и антигруппировки фотонов. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Бифотоны. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Неравенства Белла. Статистика частично поляризованного излучения. Поляризационная матрица. Распространение волн в случайно неоднородной среде. Корреляционные и структурные функции амплитуды и фазы. Оптические модели атмосферной турбулентности. Рассеяние света в дисперсной среде; уравнение переноса, диффузионное приближение. Рассеяние света в биоткани.

#### **6. Спектроскопия.**

Спектры атомов. Систематика спектров многоэлектронных атомов. Типы связей электронов. Определение набора термов. Исходные термы. Мультиплетная структура. Правила отбора. Взаимодействие конфигураций. Спектры молекул. Адиабатическое приближение. Группы симметрии молекул. Колебательные спектры. Классификация нормальных колебаний по типам симметрии. Вырождение. Резонанс Ферми. Правила отбора в колебательных спектрах поглощения и комбинационного рассеяния. Вращательная структура колебательных полос. Электронные спектры молекул. Классификация электронных состояний двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона. Типы связи электронного движения и вращения. Спектроскопия твердого тела. Переходы под действием света в идеальном кристалле. Поглощение в инфракрасной области спектра и взаимодействие света с фононной подсистемой. Переходы в электронной подсистеме.

Поглощение света в металлах. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектриках. Экситоны Ванье-Мотта и Френкеля. Область фундаментального поглощения. Переходы с основных уровней. Эффекты Оже и Фано. Эффекты на краях основного поглощения: EXAFS и XANES. Понятие о поляритонах. Спектроскопия дефектных состояний в кристаллах. Автолокализация экситонов и дырок в диэлектриках. Вторичные эффекты в кристаллах: люминесценция, фотоэмиссия, дефектообразование под действием света. Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения. Молекулярная и рекомбинационная люминесценция. Закон Стокса-Ломмеля. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции Левшина и универсальное соотношение между ними Степанова. Закон Вавилова. Триpletные состояния молекул и их роль в процессах деградации и миграции энергии электронного возбуждения. Схема Теренина-Льюиса. Тушение (температурное, концентрационное, посторонними веществами) люминесценции. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Люминесценция молекулярных кристаллов. Теория Давыдова. Кооперативные процессы в люминесценции. Зонная модель люминесценции диэлектриков. Размножение электронных возбуждений в твердом теле. Термовысвечивание и инфракрасная стимуляция. Применение люминесцентных кристаллов в науке, технике и медицине.

#### **7. Экспериментальная и прикладная оптика.**

Источники оптического излучения. Тепловые, газоразрядные и лазерные источники. Синхротронное излучение. Оптические материалы. Характеристики приемников излучения: спектральная и интегральная чувствительность, шумы, инерционность. Приборы с зарядовой связью (ПЗС) - линейки, матрицы. Техника спектроскопии. Светофильтры, призменные и дифракционные спектральные приборы, интерферометры. Фурье-спектроскопия. Основные характеристики приборов: аппаратная функция, разрешение, светосила, дисперсия. Лазерная спектроскопия. Запись и обработка оптической информации. Механизм записи и воспроизведения волновых полей с помощью двумерных и трехмерных голограмм. Цифровые голограммы. Переходные и передаточные функции оптических систем обработки информации. Изопланарность. Использование методов Фурье-оптики для оптической фильтрации и распознавания образов. Коррекция и реконструкция изображений. Методы компьютерной оптики. Волоконная оптика. Типы волоконных световодов. Моды оптических волокон. Затухание и дисперсия мод. Направленные ответвители. Волоконные линии связи. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.

#### **8. Оптика лазеров.**

Принцип работы лазера. Схемы накачки. Теория Лэмба. Эффекты затягивания частоты и выгорания дыр. Лэмбовский провал. Оптические резонаторы. Моды оптических резонаторов. Свойства лазерных пучков. Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски. Режимы работы лазеров. Непрерывные и импульсный режимы. Пичковый режим. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Принципы адаптивной оптики; коррекция волнового фронта лазерных пучков.

**Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.3.6 Оптика.**

#### **Основная литература.**

1. Сальников, А. Н. Физика. Современная картина мира / А. Н. Сальников. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 628 с. — ISBN 978-5-507-44892-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/266801> . —

Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Пиралишвили, Ш. А. Волновая оптика / Ш. А. Пиралишвили, Н. А. Каляева, Е. А. Попкова. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 140 с. — ISBN 978-5-8114-9741-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/238784>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Уфимцев, П. Я. Основы физической теории дифракции / П. Я. Уфимцев; перевод с английского П. Я. Уфимцева. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 353 с. — ISBN 978-5-00101-762-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135518>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Белинский, А. В. Квантовые измерения: учебное пособие / А. В. Белинский. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 185 с. — ISBN 978-5-00101-691-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135495>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Звелто О. Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т.А. Шмаонова. 4-е изд. — СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 720 с.

6. Агеев, И. М. Физические основы электроники и наноэлектроники: учебное пособие / И. М. Агеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-8114-4081-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131007>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **Дополнительная литература.**

1. Надолинский, А. М. Оптика упругого рассеяния фотона: область аномальной дисперсии: учебное пособие / А. М. Надолинский. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. — 92 с. — ISBN 978-5-88814-936-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/170571>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Уфимцев, П. Я. Теория дифракционных краевых волн в электродинамике. Введение в физическую теорию дифракции: учебное пособие / П. Я. Уфимцев; перевод с английского А. В. Капцова. — 5-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 375 с. — ISBN 978-5-00101-808-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151587>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Дубнищев, Ю. Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах: учебное пособие / Ю. Н. Дубнищев. — 4-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 368 с. — ISBN 978-5-8114-1156-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210599> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Темам, Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль; перевод с английского И. О. Арушаняна. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 323 с. — ISBN 978-5-93208-542-4. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166739>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Рассеяние света на атмосферных ледяных кристаллах в приближении физической оптики: монография. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2022. — 384 с. — ISBN 978-5-9221-1927-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/305303> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Ищенко, А. А. Методы детектирования ультрабыстрой динамики вещества: монография / А. А. Ищенко, Г. В. Фетисов, С. А. Асеев. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2022. — 520 с. — ISBN 978-5-9221-1929-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/305309> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Гадомский, О. Н. Оптика сред со случайным близким к нулю показателем преломления. Фундаментальные основы, нанотехнологии и применение: монография / О. Н. Гадомский, Н. М. Ушаков. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-4393-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/139292> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **Информационное обеспечение.**

American Institute of Physics (AIP) - <http://scitation.aip.org/>

Elsevier (Science Direct) - <http://www.sciencedirect.com/>

Научная электронная библиотека - <http://www.elibrary.ru>

ЭБС ZNANIUM.COM - <http://znanium.com/>

Электронно-библиотечная система Издательства "Лань" - <http://lanbook.com/>