

Приложение 13

Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом КФТИ – обособленного  
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН  
«22» января 2025 г., протокол № 2

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по дисциплине

**«Оптика»**

(общая типовая программа по научной специальности  
1.3.6 Оптика)

## **1. Введение**

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по научной специальности **1.3.6. Оптика, физико-математические науки**.

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

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине **Оптика** сдается по программе, состоящей из двух частей: типовой программы по научной специальности (данная программа) и дополнительной индивидуальной программы, разрабатываемой научным руководителем соискателя ученой степени. Кандидатский экзамен проводится в устной форме по вопросам программы. Сдающим предлагаются три основных вопроса из программы - два по типовой программе и один по дополнительной. Помимо основных вопросов члены комиссии могут задать обучающимся дополнительные вопросы, не требующие длительной подготовки.

Кандидатский экзамен по оптике проводится в устной форме по вопросам программы, на экзамене предлагается три вопроса (без билетов). После устного ответа могут заданы дополнительные и уточняющие вопросы, не выходящие за пределы программы кандидатского экзамена.

## **2. Программа кандидатского экзамена**

### **2.1. 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 Поггеля. Оптическая активность. Эффект Фарадея.

Оптика движущихся сред. Опыты Физо и Майкельсона. Преобразования Лоренца. Продольный и поперечный эффекты Доплера.

## **2.2. 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.

## **2.3. 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.

## 2.4. 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 магнитодипольные 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 Манделштама-Бриллюэна. Четырехволновое взаимодействие. Обращение волнового фронта. Вещество в сверхсильном световом поле.

## 2.5. 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 фотоотсчетов, формула Манделя для распределения фотоотсчетов. 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.

## 2.6. 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 остовных уровней. Эффекты Оже и Фано. Эффекты на краях остовного 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.

### **2.7. 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.

## **2.8. 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.

## **3. Рекомендуемая литература**

### 3.1. Основная литература

1. Ахманов С.А., Высоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: "Наука", 1990.
2. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Издательство МГУ, 1994.
3. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения. (Молекулярная люминесценция). М.: Издательство МГУ, 1989.
4. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1. Молекулярная спектроскопия. М.: Издательство МГУ, 1994.
5. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000.
6. Матвеев А.Н. Оптика. М.: "Высшая школа", 1985
7. Солимено С., Крозиньяни Б., Порто П. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения. М.: "Мир", 1989.

8. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
10. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: "Наука", 1989.
11. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: "Высшая школа", 1983.
12. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах, М.: Мир.

### 3.2. Дополнительная литература

1. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: "Наука", 1981.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: "Наука", 1970.
3. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Издательство МГУ, 1987.
4. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: "Наука", 1985.
5. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: "Мир", 1970.
6. Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: "Мир", 1988.
7. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: "Высшая школа", 1971.
8. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1962.
9. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1,2. М.: Мир, 1981.
10. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988
11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
12. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М.: "Наука", 1986.
13. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Издательство МГУ, 1996.
14. Королев Ф.А. Теоретическая оптика. М.: "Высшая школа", 1966.
15. Мэйтленд А., Данн М. Введение в физику лазеров. М.: "Наука". 1978.
16. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: "Мир", 1972.
17. Парыгин В.Н., Балакший В.И. Оптическая обработка информации. М.: Издательство МГУ, 1987.

18. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: "Наука", 1980.
19. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Физматгиз, 1963.
20. Шерклиф У. Поляризованный свет. М.: "Мир", 1965.

#### **4. Электронные ресурсы**

1. Электронная платформа «Лань» - <https://e.lanbook.com>
2. Электронная платформа <http://www.biblioclub.ru/>
3. Электронная платформа издательства WILEY-BLACWALL - <http://www.interscience.wiley.com>
4. Электронная платформа издательства SPRINGER - <http://www.springerlink.com>
5. Платформа научной электронной библиотеки e-Library.ru - <http://www.elibrary.ru>
6. Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.sciencedirect.com>
7. Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.scopus.com>  
(Реферативно-поисковая база данных Scopus)

#### **4. Критерии оценки**

<b>Отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Все вопросы раскрыты полностью;</li> <li>– Обучающийся владеет основными теориями и глубоко понимает их содержание;</li> <li>– Имеет ясное представление связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Уверенно владеет необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– Ясно и четко дает основные определения. Владеет терминологическим и понятийным аппаратом;</li> <li>– Развернуто отвечает на дополнительные вопросы.</li> </ul>
----------------	--

<b>Хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты по существу;</li> <li>– Обучающийся в целом владеет основными теориями и понимает их содержание;</li> <li>– Имеет общее представление о связи теории и практики в рамках излагаемого материала;</li> <li>– Владеет в целом необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами;</li> <li>– В достаточной мере владеет понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты, но не полностью;</li> <li>– Слабое понимание связи теории и практики;</li> <li>– Обучающийся может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, но имеет затруднения при решении некоторых задач;</li> <li>– Обучающийся не демонстрирует уверенного владения понятийным и терминологическим аппаратом;</li> <li>– Дополнительные вопросы вызывают затруднение.</li> </ul>
<b>Неудовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Большая часть вопросов не раскрыта;</li> <li>– Обучающийся не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, не может применить теорию при решении конкретных задач;</li> <li>– Нет ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>