

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор-проректор
по научной работе

_____ А.В. Коржов

«_____» _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

Научная специальность: 1.3.6. «Оптика»

Разработчики:

Кундикова Н.Д., д.ф.-м.н., профессор, зав.кафедрой

Мухин Юрий Викторович, к.ф.-м.н., доцент

Бибикова Э.А. к.ф.-м.н., доцент

Челябинск 2022 г.

Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену

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 Поккельса. 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 аберрации третьего и более высоких порядков. Хроматическая аберрация. Типы оптических приборов.

3. Интерференция и дифракция световых волн

Интерференция частичнокогерентного излучения. Комплексная степень когерентности. Теорема Ван-Циттерта-Цернике.

Двухлучевая и многолучевая интерференция. Сдвиговая 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, гаусский 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 фотоотсчетов, формула Мандела 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.

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. Триплетные 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, призмные 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. Пиковый режим. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов.

Принципы адаптивной оптики; коррекция волнового фронта лазерных пучков.

Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки

1. Уравнения Максвелла
2. Волновое уравнение.
3. Параболическое приближение.
4. Вектор Джонса.
5. Типы поляризационных устройств.
6. Формулы Френеля.
7. Двойное лучепреломление.
8. Оптическая активность.
9. Эффект Фарадея.
10. Принцип Ферма.
11. Сферические зеркала и линзы.
12. Двухлучевая и многолучевая интерференция.
13. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
14. Дифракционная решетка.

15. Пучок Гаусса.
16. Солитоны.
17. Фотоэффект.
18. Операторы рождения и уничтожения фотонов.
19. Комбинационное рассеяние света.
20. Метод медленно меняющихся амплитуд.
21. Генерация оптических гармоник.
22. Самофокусировка света.
23. Рассеяние света в биоткани.
24. Спектры атомов.
25. Спектры молекул.
26. Колебательные спектры.
27. Вращательная структура колебательных полос.
28. Электронные спектры молекул.
29. Поглощение в инфракрасной области спектра и взаимодействие света с фононной подсистемой.
30. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектриках.
31. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения.
32. Зонная модель люминесценции диэлектриков.
33. Тепловые, газоразрядные и лазерные источники.
34. Оптические материалы.
35. Приборы с зарядовой связью (ПЗС) - линейки, матрицы.
36. Светофильтры, призмные и дифракционные спектральные приборы, интерферометры.
37. Цифровые голограммы.
38. Использование методов Фурье-оптики для оптической фильтрации.
39. Типы волоконных световодов.
40. Принцип работы лазера.
41. Свойства лазерных пучков.
42. Типы лазеров.
43. Режимы работы лазеров.
44. Коррекция волнового фронта лазерных пучков.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970.
2. Королев Ф.А. Теоретическая оптика. М.: Высшая школа, 1966.
3. Матвеев А.Н. Оптика. М.: Высшая школа, 1985.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980.
5. Шерклиф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965.

6. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981.
7. Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: Мир, 1988.
8. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000.
9. Солимено С., Крозиньяни Б., Порто П. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения. М.: Мир, 1989.
10. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972.
11. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М.: Наука, 1986.
12. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
13. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1962.
14. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Физматгиз, 1963.
15. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
16. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1987.
17. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения. (молекулярная люминесценция). М.: Изд-во МГУ, 1989.
18. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: Высшая школа, 1971.
19. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Изд-во МГУ, 1994.
20. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1: Молекулярная спектроскопия. М.: Изд-во МГУ, 1994.
21. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат, 1986.
22. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970.
23. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983.
24. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
25. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Изд-во МГУ, 1996.
26. Мэйтленд А., Данн М. Введение в физику лазеров. М.: Наука, 1978.
27. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
28. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1990.
29. Парыгин В.Н., Балакший В.И. Оптическая обработка информации. М.: Издательство МГУ, 1987.
30. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: Наука, 1985.
31. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1,2. М.: Мир, 1981.
32. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир.

Дополнительная литература

1. О. М. Марченко, Гауссов свет. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
2. М. Ф. Панов, А. В. Соломонов, Физические основы фотоники. Санкт-Петербург: Лань, 2022.

3. Н. Г. Дмитриева, О. Н. Чайковская, Е. Н. Бочарникова, Общая физика. Геометрическая и волновая оптика. Томск, 2022.
4. А. А. Старовойтов, Лабораторный практикум по основам нелинейной оптики. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2019.
5. С. Э. Фриш, Оптические спектры атомов, 2-е изд., . Санкт-Петербург: Лань, 2022.
6. В. К. Кирилловский, Современные оптические исследования и измерения. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
7. А. В. Беликов, С. Н. Смирнов, Ю. В. Семяшкина, А. Д. Тавалинская, Лазерные и оптические биомедицинские технологии. Лабораторный практикум. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2020.
8. Г. Л. Киселев, Квантовая и оптическая электроника, 5-е изд., Санкт-Петербург: Лань, 2022.
9. А. С. Борейшо, В. А. Борейшо, И. М. Евдокимов, С. В. Иваки, Лазеры: применения и приложения. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
10. В. А. Зверев, Е. В. Кривоустова, Т. В. Точилина, Оптические материалы. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
11. С. К. Стафеев, К. К. Боярский, Г. Л. Башнина, Основы оптики. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
12. Н. И. Калитеевский, Волновая оптика. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
13. В. А. Зверев, И. Н. Тимошук, Т. В. Точилина, Основы вычислительной оптики. Санкт-Петербург: Лань, 2022.
14. М. М. Мирошников, Теоретические основы оптико-электронных приборов, 3-е изд., Санкт-Петербург: Лань, 2022.
15. Г. А. Можаров, Геометрическая оптика, 2-е изд., Санкт-Петербург, 2022.
16. Ю. И. Белоусов, Е. С. Постников, Инфракрасная фотоника. Санкт-Петербург: Лань, 2022.

Условия допуска к экзамену

К экзамену допускаются лица, имеющие высшее образование, подтвержденное дипломом магистра или специалиста.

Процедура проведения экзамена

Экзамен проводится в смешанной форме, включает письменную часть и устную часть (собеседование). Претендент получает билет с двумя вопросами и готовит письменный ответ в течении 45 минут, может пользоваться любой литературой. Во второй, устной части, претендент кратко излагает содержание ответа, экзаменаторы вправе задавать уточняющие вопросы, раскрывающие понимание претендентом представленного материала. В случае необходимости экзаменаторы вправе задать дополнительные вопросы в рамках программы экзамена. Оценка ответов претендентов производится по пяти бальной шкале.