

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением научно-технического совета  
протокол № 1 от «24» января 2022 г.

Председатель НТС, первый проректор -  
проректор по научно-исследовательской  
работе \_\_\_\_\_ А.Б. Прокофьев

Ученый секретарь НТС

\_\_\_\_\_ Л.В. Родионов



**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по научной специальности  
**1.3.6. Оптика**

## **Введение**

Настоящая программа основана на следующих дисциплинах: электромагнитной теории света, геометрической оптике, физической оптике, взаимодействии света с веществом, оптике лазеров, прикладной оптике, спектроскопии, статистической и квантовой оптике.

### **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 aberrации третьего и более высоких порядков. Хроматическая aberrация. Типы оптических приборов.

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

Интерференция частичнокогерентного 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, 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 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 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.

## Основная литература

1. Дифракционная нанофотоника, под ред. В.А. Сойфера, М., Физматлит, 2011, 680с., ISBN – 9785922112376.
2. Р. Скиданов, В. Сойфер, В. Котляр "Оптический захват и вращение микрообъектов вихревыми лазерными пучками", LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2011, 200с. , ISBN 978-3-8454-0960-3.
3. Головашкин Д.Л., Казанский Н.Л., Малышева С.А. Расчет дифракции на оптическом микрорельефе методом FDTD // LAP LAMBERT Academic Publishing, Саарбрюкен, Германия, 236 с. (2011), ISBN-13: 978-3-8454-0996-2.
4. Котляра В.В., Ковалева А.А. «Вихревые лазерные пучки», Самара, ИСОИ РАН, 252 с. (2012). ISBN 978-5-88940-125-4.
5. Филонин О.В. "Общий курс компьютерной томографии", Самарский научный центр, Самара, 407с, 2012, ISBN 978-5-93424-580-2.