

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

“УТВЕРЖДАЮ”

Начальник ОПКВК



В.П. Драгунов

октябрь 2022 г.

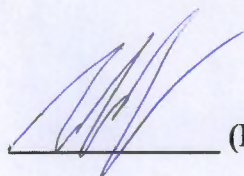
ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности
1.3.6 – Оптика

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры лазерных систем
протокол № 6 от 12 октября 2022 г.

Утверждена на заседании ученого совета физико-технического факультета
протокол № 7 от 20 октября 2022 г.

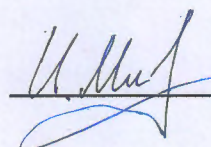
Декан ФТФ,

к.ф.-м.н., доцент


_____ (Корель И.И.)

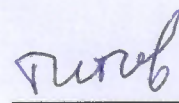
Заведующий кафедрой ЛС,

к.ф.-м.н., доцент


_____ (Мирошниченко И.Б.)

Ответственный за основную
образовательную программу

д.ф.-м.н., профессор


_____ (Титов Е.А.)

ЧАСТЬ I

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
01.04.05 "Оптика"
по физико-математическим и техническим наукам

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.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

ЧАСТЬ I

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. 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 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, гаусов 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 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 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 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.

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. 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. 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.

ЧАСТЬ II

I. ФИЗИКА ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

1. Физические основы работы параметрических генераторов света.
2. Методы управления временными, энергетическими и пространственными параметрами излучения лазеров и ПГС.
3. Твердотельные лазеры, их классификация, состав, назначение, работа основных устройств. Мощные наносекундные лазеры для накачки ПГС
4. Нелинейные кристаллы их классификация, диапазоны прозрачности, пороги разрушения.
5. Нелинейная поляризация диэлектрика
6. ПГС – сходство и отличие от лазера
7. Полупроводниковый лазер, порог генерации, эффект оптического ограничения
8. Полупроводниковый лазер с внешним резонатором, DFB лазер, лазер с вертикальным резонатором
9. Технология производства полупроводниковых лазеров
10. Оптические свойства полупроводников
11. Излучательные переходы, эффективность люминесценции
12. Классификация фотоприемников: ЛФД, рiп, Шоттки, МОМ
13. ИК-фотодетекторы
14. СВЧ-фотодетекторы

15. Лавинный фотодиод – принцип работы
16. Диод Шоттки
17. Эффект Фарадея
18. Электрооптический модулятор
19. Акустооптический модулятор
20. Фильтр Лيو и Брэгговские отражатели

II. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА И ТЕОРИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Асимптотическое решение волнового уравнения. Геометрическое приближение. Уравнение эйконала. Область применения лучевого приближения. Принцип Ферма. Гомоцентрические пучки.
2. 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.

Основная литература

1. Р.М.Бычков, Ю.В.Чугуй, Беседы о геометрической оптике. Новосибирск, издательство СО РАН, 2011 -477 с.
2. С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин, Физическая оптика. М., МГУ, 2004.- 656 с.
3. А.Рогальский. Инфракрасные детекторы. - Новосибирск: Наука. 2003

Дополнительная литература

1. А.Ярив. Квантовая электроника. Советское радио
2. В.И.Балакший, В.Н. Парыгин, Л.Е.Чирков “Физические основы акустооптики” Издательство “Радио и Связь” 1985 год.
3. А.Мэйтлэнд, М.Данн. “Введение в физику лазеров”. Москва, “Наука” 1978 год
4. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов “Прикладная нелинейная оптика” Москва, “Радио и Связь” 1982 год
5. J.-J. Zondy, D. Kolker, “Stability of the self-phase-locked pump-enhanced singly resonant optical parametric oscillator” Proc. СЫЮ2003, 1-4 June 2003, USA, Baltimore.
6. J.-J. Zondy, D. Kolker, Ch.Bonnin, D.Lupinski, “22 time efficiency enhancement of second harmonic generation by using a 10 - plate monolithic walkoff - compensating KTP structures”. Proc. “Laser Optic 2003”, 30 June - 5 July 2003, St. Petersburg, Russia
7. J.J. Zondy, D. Kolker, C. Bonnin, D. Lupinski, “Second-harmonic generation with monolithic walk-off-compensating periodic structures. II Experiment.” JOSA B, vol 20, No 8, August 2003, p.1695-1707.
8. Jean-Jacques Zondy, Dmitri Kolker and Franco N.C. Wong, “Nonlinear dynamics of optical parametric oscillators subject to resonant competing nonlinearities: the 3-1 self-phase-

locked OPO”, Invited paper, MPLP2004, Novossibirsk, Russia

9. J.-J. Zondy and D. Kolker, Franco N.C. Wong, “Dynamical signatures of self phase-locking in a triply resonant parametric oscillator”, Phys. Rev. Let. Vol 93, Number 4, 2004.

10. P. V. Gorelik, F. N. C. Wong, D. Kolker, and J. -J. Zondy, "Cascaded optical parametric oscillation with a dual-grating periodically poled lithium niobate crystal," Opt. Lett. 31, 2039-2041 (2006)