

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

“УТВЕРЖДАЮ”

Заведующий ОПКВК



В.П. Драгунов

“dd” февраля 2017 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

**01.04.05 «Оптика»**

(технические науки)

Новосибирск

2017

Рабочая программа обсуждена на заседании ученого совета физико-технического факультета

протокол № 1 от 21 февраля 2017г.


Программу разработал

**д.ф.-м.н., профессор**

  
\_\_\_\_\_ (Титов Е.А.)


Декан ФТФ,

**д.ф.-м.н., доцент**

  
\_\_\_\_\_ (Корель И.И.)

Ответственный за основную образовательную программу

**д.ф.-м.н., профессор**

  
\_\_\_\_\_ (Титов Е.А.)

## **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 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 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 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 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. 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 Лио и Брегговские отражатели

### **II. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА И ТЕОРИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

1. Асимптотическое решение волнового уравнения. Геометро-оптическое 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 aberrации третьего и более высоких порядков. Хроматическая aberrация. 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. СЫО2003, 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)



## **Правила аттестации аспирантов по дисциплине**

В соответствии с учебным планом проводится экзамен. В билет включены три вопроса из программы. По результатам ответа на вопросы по билету и при необходимости на дополнительные вопросы аспирант может получить следующие оценки.

**Отлично** –на все вопросы в билете даны правильные ответы, полностью раскрывающие суть вопросов, и на дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

**Хорошо** –на вопросы даны правильные, но не полные ответы. Раскрыта суть рассматриваемого процесса, но не приведены примеры. На дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

**Удовлетворительно** – только на часть из вопросов дан правильный ответ, но на дополнительные вопросы, заданные комиссией, поступающий в аспирантуру ответил правильно и полностью.

**Неудовлетворительно** –на вопросы по билету аспирант ответил неправильно.