

**Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова**

Физический факультет

**Кафедра оптики, спектроскопии
и физики наносистем**

Учебные планы и программы учебных дисциплин

Профиль бакалавриата и магистерская программа

**"Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного
излучения"**

Москва, 2016 г.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Физический факультет

**Программы учебных дисциплин и учебные планы
профиля бакалавриата и магистерской программы
"Оптика и спектроскопия, физика лазеров
и синхротронного излучения"
кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем**

Составитель и редактор сборника – доцент О.М.Вохник

В сборнике представлены программы обязательных дисциплин профиля, дисциплин магистерской программы и специальных курсов по выбору кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем для профиля бакалавриата и магистерской программы "Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного излучения".

© Кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем
физического факультета МГУ

Содержание

	стр.
Предисловие	5
I. Профиль бакалавриата "Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного излучения"	6
I.1. Учебный план бакалавриата	7
I.2. Программы дисциплин профиля	8
Научно-исследовательский семинар "Вопросы современной оптики"	9
Экспериментальные методы в оптике	10
Основы физики лазеров	12
Оптические спектры атомов и молекул	13
Воздействие света на квантовые системы	16
Дополнительные главы физической оптики	18
Синхротронное излучение и его применения	20
I.3. Программы специальных курсов по выбору	22
Оптические методы в информатике	23
Люминесценция твердых тел	25
Основы фрактальной оптики	26
Теория синхротронного излучения	28
Компьютерные технологии в оптическом эксперименте	30
Стохастические процессы в оптике	32
II. Магистерская программа "Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного излучения"	34
II.1. Учебный план магистратуры	35
II.2. Программы дисциплин магистерской программы	36
Синхротронные исследования микро- и наноструктурированных сред	37
Оптика конденсированного состояния вещества	39
Лазерная физика в медицине	41
Спектроскопия твердого тела	43
Основы нелинейной оптики	45
Статистическая оптика	47
Физические процессы в лазерных системах	48
Оптика полупроводников и светодиоды	51
Когерентная оптика	53
Волоконная и интегральная оптика	55
Фундаментальные и прикладные проблемы физической оптики	57
Фотоника	59
II.3. Программы специальных курсов по выбору	60
Прикладная компьютерная оптика	61
Лазерная спектроскопия	63
Молекулярная люминесценция	64
Спектроскопия атомов и атомные столкновения	66

Вторичные процессы в диэлектрических кристаллах.....	68
Синхротронное излучение в биологии и медицине.....	70
Люминесценция редкоземельных ионов.....	72
Диагностика наносистем с использованием синхротронного излучения....	74
Методы анализа стохастических сигналов.....	75
Физические основы оптической связи.....	77
Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.....	79
Оптические приборы в каналах синхротронного излучения.....	81
Силовая оптика.....	83
Оптические основы современного приборостроения.....	84

Предисловие

Кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем была создана на физическом факультете Московского университета в 2014 году на базе двух кафедр – кафедры оптики и спектроскопии и кафедры физики наносистем. Заведующий кафедрой - член-корр. РАН профессор М.В.Ковальчук.

На кафедре оптики, спектроскопии и физики наносистем ведется подготовка бакалавров по двум профилям: "Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного излучения" и "Физика наносистем". По таким же двум магистерским программам ведется подготовка магистров.

Кафедра оптики и спектроскопии - одна из старейших кафедр факультета. Специализация "Оптика и спектроскопия" была введена в Московском университете по инициативе С.И.Вавилова в 1930 году. Сама кафедра была организована М.А.Леонтовичем в 1940 году на базе оптической лаборатории физического факультета (руководители - Г.С.Ландсберг, Л.И.Мандельштам).

С 1946 по 1979 г.г. кафедрой заведовал профессор Ф.А.Королев. В эти годы лекции на кафедре читали такие известные оптики как С.И.Вавилов, В.Л.Левшин, П.А.Бажулин, А.Р.Стриганов. С 1979 по 1995 г.г. кафедрой руководили лауреат Нобелевской премии А.М.Прохоров и профессор Л.С.Корниенко, с 1995 по 2013 г.г. - профессор В.В.Михайлин.

В настоящем сборнике представлены учебные материалы по профилю бакалавриата и магистерской программе "Оптика и спектроскопия, физика лазеров и синхротронного излучения". Сборник включает учебные планы, программы обязательных дисциплин и специальных курсов по выбору.

Со всеми материалами о кафедре оптики, спектроскопии и физики наносистем можно познакомиться на сайте кафедры.

<http://optics.phys.msu.ru>

I. Профиль бакалавриата

**"Оптика и спектроскопия, физика лазеров и
синхротронного излучения"**

I.1. Учебный план бакалавриата

III курс		IV курс	
5-й семестр (осенний) 1 зачет	6-й семестр (весенний) 1 экзамен, 1 зачет 1 зачет с оценкой	7-й семестр (осенний) 3 экзамена, 3 зачета, 1 зачет с оценкой	8-й семестр (весенний) 3 зачета
Научно-исследовательский семинар Вопросы современной оптики <i>проф. П.В. Короленко</i> <i>проф. О.Е. Наний</i> зачет	Дисциплина профиля Экспериментальные методы в оптике <i>к.ф.-м.н. В.Н. Колобанов</i> экзамен	Дисциплина профиля Воздействие света на квантовые системы <i>проф. П.В. Короленко</i> экзамен	Дисциплина профиля Синхротронное излучение и его применения <i>проф. М.В. Ковальчук</i> <i>к.ф.-м.н. С.Ю. Стремоухов</i> зачет
	Дисциплина профиля Основы физики лазеров <i>проф. О.Е. Наний</i> зачет	Дисциплина профиля Оптические спектры атомов и молекул <i>к.ф.-м.н. А.Н. Туркин</i> экзамен	Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Компьютерные технологии в оптическом эксперименте <i>к.ф.-м.н. А.М. Зотов</i> экзамен
	Специальный физический практикум зачет с оценкой	Дисциплина профиля Дополнительные главы физической оптики <i>к.ф.-м.н. О.М. Вохник</i> экзамен	Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Стохастические процессы в оптике <i>проф. А.И. Федосеев</i> экзамен
	Научно-исследовательская практика без отчетности	Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Оптические методы в информатике <i>к.ф.-м.н. А.Н. Туркин</i> зачет	Преддипломная практика зачет
		Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Люминесценция твердых тел <i>к.ф.-м.н. И.А. Каменских</i> зачет	
		Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Основы фрактальной оптики <i>к.ф.-м.н. Ю.В. Рыжикова</i> зачет	
		Спецкурс кафедры по выбору (1 из 2-х) Теория синхротронного излучения <i>д.ф.-м.н. К.В. Жуковский</i> зачет	
		Специальный физический практикум зачет с оценкой	
	Научно-исследовательская практика зачет		

Примечание. Одинаковой заливкой выделены пары спецкурсов по выбору.

I.2. Программы дисциплин профиля

Научно-исследовательский семинар "Вопросы современной оптики"

Авторы программы: профессор П.В.КОРОЛЕНКО,
профессор О.Е.НАНИЙ
3-й курс, 5-й семестр, 36 часов

1. Развитие оптики в Московском университете. История кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем. "Тихая революция" в физике, место оптики в системе современных физических представлений.

2. Ретроспектива и перспективы исследований по физике лазеров на кафедре. Методы улучшения качества лазерного излучения. Лазерные пучки в атмосфере. Оптимизация характеристик излучения мощных быстропроточных лазеров. Многопучковые лазерные системы.

3. Конвергенция наук. Фрактальная оптика, ее значение для развития междисциплинарных исследований. Красота в науке. Природа и роль эмоциональной составляющей в процессах созерцания фракталоподобных объектов.

4. Оптическая революция в системах связи и ее социально-экономические последствия. Есть ли предел информационной емкости волоконно-оптических линий связи? Пространственное мультиплексирование в оптических системах связи. Оптическая связь между компьютерами и распределенные вычисления.

5. Методы коммутации в оптических сетях связи. Программно-управляемые оптические сети связи. Полностью оптические сети связи. Оптическая пакетная коммутация и оптическая регенерация.

6. Диагностические применения оптики. Распределенные волоконно-оптические датчики и области их применения. Оптические гироскопы нового поколения. Биофотоника и ближнепольная оптика.

Литература

1. М.В.Ковальчук. Моя конвергенция. ИКЦ «Академкнига». 2012.
2. В.Г.Воронин, О.Е.Наний. Основы нелинейной волоконной оптики. Учебное пособие. М., Университетская книга, 2011.
2. М.Янг. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. М., Издательство "Мир", 2005.
3. В.А.Коньшев, А.В.Леонов, О.Е.Наний, В.Н.Трещиков, Р.Р.Убайдуллаев// Оптическая революция в системах связи и ее социально-экономические последствия. Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 1, стр. 15-27.
4. А.В.Леонов, О.Е.Наний, М.А.Слепцов, В.Н. Трещиков. Тенденции развития оптических систем дальней связи // Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 2, стр. 123-145.

Экспериментальные методы в оптике

Автор программы: ст.н.сотр. В.Н.КОЛОБАНОВ
3-й курс, 6-й семестр, 34 часа

Место оптики и спектроскопии в современной науке и технике. Спектральная область геометрической оптики. Этапы развития и основные направления экспериментальных исследований в оптике.

Оптические материалы. Физико-химические свойства. Отражение излучения, поглощение и прозрачность оптических материалов (диэлектриков, полупроводников, металлов) в различных областях спектра. Применение оптических материалов. Металлические и диэлектрические тонкие пленки, диэлектрические просветляющие и зеркальные покрытия. Атмосфера как оптическая среда.

Получение оптического излучения. Источники теплового излучения, их характеристики. Примеры источников. Газоразрядные источники излучения. Основные характеристики излучения газового разряда. Мощность и спектральный состав излучения. Форма и уширение спектральных линий. Основные типы газоразрядных источников излучения. Источники излучения с электронными потоками. Свойства синхротронного излучения из поворотного магнита, шифтера, виглера, ондулятора. Лазер на свободных электронах.

Измерение параметров оптического излучения. Основные характеристики приемников излучения. Фотографические приемники. Тепловые приемники излучения: термоэлементы, болометры, оптико-акустические приемники, пироэлектрические приемники. Приемники с внешним и внутренним фотоэффектом: фотоэлементы, фотоумножители, вторично-электронные умножители, электронно-оптические преобразователи, фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые приемники изображения, приборы с зарядовой связью как замена фотографической регистрации.

Спектральная фильтрация оптического излучения. Основные характеристики спектральных фильтрующих устройств. Светофильтры на основе явлений поглощения, дисперсии, преломления, отражения, интерференции. Интерференционные, интерференционно-поляризационные фильтры.

Классы спектральных приборов. Их основные характеристики. Щелевые спектральные приборы. Аппаратная функция спектрального прибора. Призмённые спектральные приборы и их особенности. Спектральные приборы с дифракционной решеткой. Плоские дифракционные решетки, их свойства. Вогнутые дифракционные решетки, их свойства. Нарезные и голографические дифракционные решетки. Спектральные приборы с плоскими и вогнутыми дифракционными решетками. Способы компенсации астигматизма. Приборы с плоским полем.

Интерферометр Фабри-Перо, его характеристики. Отличие его аппаратной функции от аппаратной функции призмённых и дифракционных приборов. Мультиплекс- и многопроходный интерферометры. Использование интерферометра Фабри-Перо в спектральных приборах и в лазерной технике. Фотографическая и фотоэлектрическая регистрация интерферограмм. Светосила приборов с интерферометром Фабри-Перо. Модуляционные спектральные

приборы. Фурье-спектрометр, принцип действия, аппаратная функция, аподизация. Особенности работы Фурье-спектрометра.

Применение лазерного излучения в спектроскопии. Лазер как источник излучения. Спектральные характеристики лазерного излучения. Использование лазерного излучения в спектроскопических исследованиях.

Основные тенденции развития экспериментальной базы оптики на современном этапе.

Литература

1. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., “Наука”, 1970.
2. В.В. Лебедева. Техника оптической спектроскопии. М., Издательство Московского университета, 1986.
3. Г.С. Ландсберг. Оптика. М., Физматлит., 2003.
4. В.А. Асеев., В.М. Золоторев, Н.В. Никоноров. Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники. Санкт-Петербург, СПб ГУ ИТМО, 2015.

Дополнительная литература

1. J.S.Kanger, F.A.Van Goor. Experimental Optics Course, 2012.
2. N.Lang, J.Röpcke, S.Wege, A.Steinach // In situ diagnostic of etch plasmas for process control using quantum cascade laser absorption spectroscopy. Eur. Phys. J. Appl. Phys., 2009, v.49, p.13110.
3. Powder Diffraction. Theory and Practice. Edited by Robert E. Dinnebier, Simon J. L. Billinge. Published by The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK 2008.

Основы физики лазеров

Автор программы: профессор О.Е.НАНИЙ
3-й курс, 6-й семестр; 34 часа

Принцип работы лазера. Лазеры усилители и лазеры генераторы. Особенности лазерного излучения. Типы лазеров и их сравнительные характеристики.

Взаимодействие электромагнитного излучения с рабочим веществом лазера. Механизмы усиления света: вынужденное излучение и вынужденное рассеяние. Эффект насыщения. Его проявление при однородном и неоднородном уширении спектральной линии.

Оптические усилители. Типы оптических усилителей. Непрерывный и импульсный режимы работы. Шум-фактор оптических усилителей. Усиленное спонтанное излучение.

Эрбиевые волоконные усилители С и L – диапазонов. Оптическая стабилизация коэффициента усиления эрбиевых усилителей. Применение эрбиевых усилителей в оптической связи.

Усилители на основе вынужденного комбинационного рассеяния света (ВКР-усилители). Распределенные ВКР – усилители, шум-фактор распределенных ВКР-усилителей. Параметрические усилители.

Методы создания обратной связи. Лазеры с объемными резонаторами. Моды устойчивых и неустойчивых резонаторов. Кольцевые резонаторы. Распределенная обратная связь. Волоконные и волноводные лазеры.

Лазерная генерация. Порог, частота и мощность генерации. Оптимальная связь лазера с внешним пространством. Режимы и спектральные характеристики лазерной генерации.

Синхронизация мод. Режим "гигантского" импульса и его получение методом модуляции добротности. Метод разгрузки резонатора и совмещенные режимы генерации.

Многоканальные лазеры.

Литература

1.Ю.Айхлер, Г.-И.Айхлер. Мир физики и техники. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М., Техносфера. 2008.

2.А.С.Курков, О.Е.Наний. Эрбиевые волоконно-оптические усилители // Lightwave Russian Edition, 2003, №1, стр.14-19.

3.О.Звелто. Принципы лазеров. М., Издательство “Лань”, 2008.

4.Л.С.Корниенко, О.Е.Наний. Физика лазеров. М., Издательство Московского университета, 1995.

5.А.Н.Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. М., Высшая школа, 2001.

6.В.П.Быков, О.О.Силичев. Лазерные резонаторы. М., Физматлит, 2003.

Оптические спектры атомов и молекул

Автор программы: доцент А.И.ОДИНЦОВ
4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

Часть 1. Строение атомов и атомные спектры

1. Спектры водорода и щелочных металлов.

Уровни энергии и спектры водорода и изоэлектронных ему ионов. Тонкая структура уровней. Вакуумный сдвиг. Спектры щелочных металлов, энергия уровней. Спектральные серии. Дублетная структура уровней. Ридберговские состояния. Статистические методы описания энергетического спектра. Квантовый хаос.

2. Систематика спектров сложных атомов.

Приближение центрального поля. Волновые функции многоэлектронного атома. Электростатическое и магнитное взаимодействия электронов. Типы связей электронов. Сложение угловых моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана, $3j$, $6j$, $9j$ - коэффициенты. Связь типа LS . Определение набора термов для конфигураций с неэквивалентными и эквивалентными электронами. Исходные термы. Генеалогические коэффициенты. Классификация термов по старшинству. Выражение энергии через кулоновские и обменные радиальные интегралы. Расчет энергий термов методом сумм диагональных матричных элементов. Мультиплетная структура термов. Связь типа jj . Переход от LS к jj связи. Связь типа $j l$. Промежуточная связь. Трансформация типов связи. Взаимодействие электронных конфигураций.

3. Спектры гелия и щелочно-земельных элементов.

Общая характеристика спектров. Схемы уровней и переходов. Мультиплетная структура термов. Метастабильные состояния. Смещенные термы. Автоионизационные состояния.

4. Спектры элементов с внешними р-электронами.

Основные и возбужденные электронные конфигурации. Нахождение термов. Расположение энергетических уровней. Мультиплетная структура. Отступления от LS связи. Общая характеристика спектров по группам. Спектры инертных газов.

5. Спектры элементов с достраивающимися внутренними оболочками.

Особенности спектров атомов с незаполненными d- и f-оболочками. Электронные конфигурации и термы. Причины усложнения спектров. Общая характеристика спектров.

6. Действие внешнего магнитного и электрического поля на атомы.

Простой и сложный эффекты Зеемана. Явление Зеемана в сильных промежуточных полях. Расщепление уровней в электрическом поле. Линейный и квадратичный эффекты Штарка.

7. Излучение и поглощение света атомами.

Переходы различной мультипольности, правила отбора. Силы переходов. Правила сумм для сил переходов.

Часть 2. Строение молекул и молекулярные спектры

1. Энергетические уровни молекул и типы молекулярных спектров.

Адиабатическое приближение. Разделение энергий электронного, колебательного и вращательного движений. Типы молекулярных спектров.

2. Свойства симметрии молекул.

Преобразования симметрии. Основные точечные группы симметрии молекул. Неприводимые представления. Классификация термов. Правила отбора для матричных элементов переходов.

3. Вращательные спектры молекул.

Вращательные уровни и переходы линейных молекул, молекул типа сферического, симметричного и асимметричного ротаторов. Влияние ядерных моментов на вращательные спектры.

4. Колебательные спектры двухатомных молекул.

Модель гармонического осциллятора. Вероятности переходов. Ангармонический осциллятор. Взаимодействие колебаний и вращения. Колебательно-вращательные спектры двухатомных молекул. Изотопический эффект.

5. Колебательные спектры многоатомных молекул.

Классификация колебаний по их симметрии. Нормальные колебания. Вырождение. Влияние ангармонизма. Резонанс Ферми. Колебательные спектры простейших многоатомных молекул. Вращательная структура колебательных полос. Правила отбора.

6. Электронные спектры двухатомных молекул.

Классификация электронных состояний двухатомных молекул. Электронные переходы и их колебательная структура. Принцип Франка-Кондона. Связь электронного движения и вращения молекулы. Вращательная структура электронно-колебательных полос. Возмущения уровней и преддиссоциация.

7. Электронные спектры многоатомных молекул.

Электронное строение и образование химических связей в многоатомных молекулах. Типы электронных состояний и методы их описания. Гибридизация. Нелокализованные электроны. Металлическая модель молекулы. Общая характеристика электронных спектров. Квазилинейчатые спектры многоатомных молекул.

Литература

1. М.А.Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия: общие вопросы спектроскопии. Изд.6, URSS, 2012.

2. М.А.Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия: атомная спектроскопия. Изд.6, URSS, 2012.

3. М.А.Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия: молекулярная спектроскопия. Изд.6, URSS, 2012.

4. И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М., "Наука", 1977.

5. Г.Герцберг. Спектры и строение двухатомных молекул. М., Издательство иностранной литературы, 1949.

6. Г.Герцберг. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. М., Издательство иностранной литературы, 1949.

7. Г.Герцберг. Электронные спектры и строение многоатомных молекул. М., "Мир", 1969.

8. Л.А.Грибов. Введение в молекулярную спектроскопию. М., "Наука", 1976.

9.П.А.Браун, А.А.Киселев. Введение в теорию молекулярных спектров. Ленинград, Издательство Ленинградского университета, 1983.

10.Ф.Банкер. Симметрия молекул и молекулярная спектроскопия. М., “Мир”, 1981.

Дополнительная литература

1.R.Kakkar. Atomic and Molecular Spectroscopy. Basic Concepts and Applications. Cambridge University Press, 2015.

2.S.Svanberg. Atomic and Molecular Spectroscopy. Basic Aspects and Practical Applications. Springer Series on Atomic, Optical and Plasma Physics, v.6, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

3.А.М.Попов, О.В.Тихонова. Лекции по атомной физике. Москва, 2007.

Воздействие света на квантовые системы

Автор программы: профессор П.В.КОРОЛЕНКО

4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

Введение

1.Общая характеристика метода анализа.

Стационарное уравнение Шредингера. Энергетический спектр. Поведение микросистемы при нестационарном воздействии

2.Квазиклассическая теория дипольных переходов в двухуровневой системе.

Резонансное приближение. Гамильтониан атома в поле излучения. Осцилляции заселенностей в резонансном поле. Поляризация среды при интенсивном взаимодействии. Импульсное воздействие. Когерентное затухание нутаций. Фотонное эхо.

3.Релаксационные процессы.

Формализм матрицы плотности. Продольная и поперечная релаксации. Уравнения для поляризации, заселенностей и поля при наличии релаксации. Другие способы учета релаксации. Оптическое уравнение Блоха.

4.Восприимчивость двухуровневой системы .

Поглощение и дисперсия. Однородное и неоднородное уширение. Эффекты насыщения. Солитоны. Насыщение усиления в системе вырожденных уровней. Нелинейная поляризация среды и нелинейные оптические явления.

5.Анализ квантовых переходов в различных порядках теории возмущений. Определение вероятности перехода методом последовательных приближений. Переходы в «размытые» состояния в первом порядке теории возмущений. Переходы через виртуальные состояния

6.Описание процессов взаимодействия излучения с веществом, когда среда и поле квантуются.

Метод вторичного квантования. Гамильтониан электрона в поле квантованного излучения

Поглощение и испускание фотонов. Рассеяние света как двухфотонный процесс. Многофотонный резонанс

7. Светодинамика атомов.

Сила светового давления. Ускорение и замедление атомов в световом поле. Светоиндуцированный дрейф в смеси атомов

8.Взаимодействие световых волн со свободными электронами.

9.Особенности взаимодействия излучения с металлами, полупроводниками и метаматериалами.

Элементы металлооптики. Поглощение света и передача энергии в полупроводниках. Оптические свойства метаматериалов. Поверхностные плазмоны. Свойства плазмон-поляритонов.

10.Воздействие света на квантовые точки.

Квантово-размерный эффект. Волновая функция и энергетический спектр носителя заряда внутри квантовой точки.

11.Взаимодействие с веществом сверхсильных электромагнитных полей.

Литература

Список основной литературы

1. П.В.Короленко. Взаимодействие излучения с веществом. М., Издательство Московского университета. 1992.
2. В.М.Акулин, Н.В.Карлов. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. М., "Наука", 1987.
3. Р.Пантел, Г.Путхоф. Основы квантовой электроники. М., "Мир", 1972.
4. В.Г.Левич, Ю.А.Вдовин, В.А.Мямлин. Курс теоретической физики Т. II. М., Издательство физико-математической литературы, 1962.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. Т. III. М., Издательство физико-математической литературы, 1963.
6. Р.Лоудон. Квантовая теория света. М., "Мир", 1976.
7. Н.Б.Делоне Взаимодействие лазерного излучения с веществом. М., "Наука", 1989.
8. Н.И.Коротеев, И.Л.Шумай. Физика мощного лазерного излучения. М., "Наука", 1991.
9. М.Н.Либенсон, Е.Б.Яковлев., Г.Д.Шандыбина. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций. Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе. Под общей редакцией В.П.Вейко. СПб, СПб ГУ ИТМО, 2008.
10. П.Г.Крюков. Фемтосекундные импульсы. М., Физматлит, 2008.

Список дополнительной литературы

- 1Д. В.Гайтлер. Квантовая теория излучения. М., "Иностранная литература", 1956.
- 2Д. Ф.А.Королев. Теоретическая оптика. М., "Высшая школа", 1966.
- 3Д. Ф.Бертен. Основы квантовой электроники. М., "Мир", 1971.
- 4Д. В.М.Файн. Фотоны и нелинейные среды. М., "Советское радио", 1972.
- 5Д. Л.Аллен, Дж.Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., "Мир", 1978.
- 6Д. В.М.Акулин. Динамика сложных квантовых систем. М., Физматлит. 2009.
- 7Д. В.Г.Веселаго. Электродинамика материалов с отрицательным коэффициентом преломления // УФН, 2003, т.173, №7, стр. 790—794.

Дополнительные главы физической оптики

Авторы программы: доцент А.Б.ВАСИЛЬЕВ,
доцент О.М.ВОХНИК
4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

Волновое уравнение. Скалярная теория дифракции. Уравнение Гельмгольца. Теория Грина. Интегральная теорема Гельмгольца-Кирхгофа. Граничные условия Кирхгофа. Теории Кирхгофа-Френеля и Рэлея-Зоммерфельда. Принцип Бабинне.

Элементы Фурье-анализа. Функции с разделяющимися переменными и функции с осевой симметрией. Преобразование Фурье-Бесселя.

Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракция Фраунгофера на отверстиях разной конфигурации. Дифракция Френеля на щели. Особенности дифракции на нанобъектах.

Различные состояния поляризации световой волны. Ортогональные формы поляризации. Параметры Стокса. Геометрическое представление состояний поляризации с помощью сферы Пуанкаре.

Статистическое описание частично поляризованного света. Матрица когерентности, ее связь с параметрами Стокса. Выражение степени поляризации излучения через параметры Стокса и инварианты матрицы когерентности.

Расчетные методы в поляризационной оптике, основанные на использовании матриц Джонса и Мюллера. Собственные векторы анизотропной оптической системы.

Поляризация излучения при отражении от диэлектрика и металла. Поляризационные оптические устройства. Пленочные поляризаторы. Поляризационные призмы.

Основы электронной теории дисперсии. Формула Лоренц-Лорентца. Удельная рефракция. Связь дисперсии и поглощения света. Соотношения Крамерса-Кронига. Дисперсия среды с инверсией населенностей энергетических уровней. Понятие о квантовой теории дисперсии.

Распространение оптических сигналов в диспергирующих средах. Искажения импульсов в волоконных световодах. Неэквидистантность частот оптического резонатора, заполненного диспергирующей средой.

Особенности нелинейных оптических процессов, связанные с дисперсией среды. Самовоздействие света в диспергирующей среде. Компрессия импульсов. Оптический солитон.

Электрические свойства анизотропной среды. Тензор диэлектрической проницаемости. Плоская волна в анизотропной среде. Уравнения Френеля и эллипсоид Френеля.

Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Классификация кристаллов по оптическим свойствам. Двойное лучепреломление. Коническая рефракция.

Искусственная анизотропия. Эффект Керра. Кристаллы в нелинейной оптике.

Рассмотрение излучения в оптически неоднородной среде. Макроскопические и микроскопические неоднородности как причины рассеяния света. Классический и квантовый подходы к описанию рассеяния излучения. Упругое и неупругое рассеяние.

Интенсивность, частота и поляризация рассеянного излучения. Формула Рэлея. Когерентность рассеянного излучения. Многократное рассеяние, поглощение и экстинкция излучения в среде. Сечение рассеяния.

Рассеяние света взвешенными частицами. Теория Ми. Дифракционные максимумы в распределении интенсивности рассеянного излучения.

Молекулярное рассеяние света на адиабатических и изобарических флуктуациях плотности. Характеристики рассеянного излучения. Соотношение Эйнштейна. Критическая опалесценция. Формула Орнштейна-Цернике.

Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна конденсированными средами. Упругие волны. Спектральный состав рассеянного света.

Комбинационное рассеяние света. Колебательные и вращательные спектры. Интенсивности стоксовых и антистоксовых компонент.

Литература

1. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., "Наука", 1973.
2. М. Б. Виноградова, О. В. Руденко, А. П. Сухоруков. Теория волн. М., "Наука", 1990.
3. Н. В. Калитеевский. Волновая оптика. М., "Высшая школа", 1995.
4. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Оптика. М., Физматлит, 2005.
5. У. Шерклифф. Поляризованный свет. М., "Мир", 1965.
6. И. Г. Фабелинский. Избранные труды, т. 1. М., Физматлит, 2005.

Синхротронное излучение и его применения

Авторы программы: профессор М.В.КОВАЛЬЧУК

доцент С.Ю.СТРЕМОУХОВ

4-й курс, 8-й семестр; 36 часов

1. Синхротронное излучение. История открытия синхротронного излучения и его теоретического и экспериментального исследования.

2. Классические задачи о движении релятивистского электрона в постоянном электрическом, магнитном поле. Классическая задача о движении нерелятивистского электрона в постоянных и однородных электрическом и магнитном поле.

3. Классическая теория синхротронного излучения. Излучение релятивистского заряда, движущегося по окружности. Острая направленность излучения (прожекторный эффект). Спектральное и угловое распределение излучения. Мощность излучения. Поляризационные свойства.

4. Квантовая теория синхротронного излучения. Критерий применимости классического подхода к описанию синхротронного излучения. Квантовые поправки. Квантовые флуктуации движения электрона по орбите.

5. Линейный и спиральный ондулятор, вигглер. Свойства ондуляторного излучения. Задача о движении электрона в двумерном периодическом магнитном поле.

6. Сравнение свойств синхротронного излучения, излучений линейного и спиральных ондуляторов.

7. Лазер на свободных электронах как источник индуцированного ондуляторного излучения.

8. Поколения источников синхротронного излучения. Сравнение характеристик излучения.

9. Конкуренты синхротронного излучения: оптический лазер, рентгеновская трубка, нелинейное преобразование лазерного излучения (эффект генерации гармоник высокого порядка).

10. Наиболее известные и широко применяемые методы исследования структуры вещества с использованием синхротронного излучения.

11. О Курчатовском источнике синхротронного излучения.

Литература

1. И.М.Тернов, В.В.Михайлин. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М., Энергоатомиздат, 1986.

2. И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов. Синхротронное излучение и его применение. М., Издательство Московского университета, 1980.

3. Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. М., Физматлит, 2007.

4. Под ред. К. Кунца. Синхротронное излучение. Свойства и применения. М., "Мир", 1981.

5. Под ред. М.В.Ковальчука. Стоячая рентгеновская волна. Сборник научно-популярных статей. М., НИЦ “Курчатовский институт”, 2013.

6. В.В.Михайлин. Синхротронное излучение в спектроскопии. М., МГУ имени М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, 2007.

7. Под ред. Б.К.Вайнштейна. Современная кристаллография. Т.1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии. М., "Наука", 1979.

8. Г.Н.Жижин и др. // Лазеры на свободных электронах и перспективы применения их излучения в оптической спектроскопии. Вестник РУДН. Серия Физика, 2002, №10(1), стр.100-108.

I.3. Программы специальных курсов по выбору

Оптические методы в информатике

Авторы программы: доцент А.Н.ТУРКИН
профессор О.Е.НАНИЙ
4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

1. Понятие информации. Роль информации в жизни человека. Оптика и информация. Индикация, передача информации, хранение и обработка информации оптическими методами. Представление информации. Оптические индикаторы на основе полупроводниковых светодиодов. Полупроводниковые светодиоды разных цветов. Возможности получения цветного изображения. Полноцветный светодиод. Полноцветный экран.

2. Полупроводники, p-n переход. Излучательная рекомбинация в полупроводниках. Электролюминесценция. Полупроводниковые источники света. Светодиод. Принцип работы светодиода. Полупроводниковый лазерный диод. Особенности и преимущества полупроводниковых источников излучения.

3. Сверхъяркие светодиоды, работающие на повышенных плотностях токов. Возможности создания светодиодных экранов и кластеров. Тепловое моделирование, создание теплоотводов. Активное и пассивное охлаждение светодиодов.

4. Электромагнитное поле и его свойства. Волновое уравнение. Плоские гармонические волны. Комплексная запись гармонических волн. Фазовая скорость. Модуляция. Групповая скорость. Векторные волны. Поляризация.

5. Связь оптических и механических параметров среды. Элементарная теория дисперсии. Дисперсия фазовой скорости. Дисперсия групповой скорости. Законы отражения и преломления света.

6. Основы волоконной оптики. Оптическое волокно (ОВ). Распространение света по оптическому волокну. Профиль показателя преломления. Волоконный световод (ВС). Моды волоконного световода. Константа распространения, фазовая и групповая скорость в ВС.

7. Характеристики ОВ. Многомодовые ОВ. Одномодовые ОВ. Виды дисперсии. Дисперсия в одномодовых ОВ. Хроматическая дисперсия (ХД) и поляризационная модовая дисперсия (ПМД). Затухание. Волоконно-оптический кабель (ВОК). Сращивание ОВ. Различные методы сварки ОВ. Сварочные аппараты. Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС). Методы прокладки ВОК при строительстве ВОЛС.

8. Затухание в ВОЛС. Методы измерения затухания в ВОЛС – оптический тестер и рефлектометр. Принцип действия оптического рефлектометра. Усиление оптического сигнала. Волоконно-оптический усилитель (ВОУ). Применение ВОУ в ВОЛС. Спектральное уплотнение (WDM). ВОЛС с WDM.

9. Математическое и физическое представление информации. Цифровые и аналоговые сигналы. Аналогово-цифровое преобразование. Количество информации. Основы оптических цифровых систем связи. Скорость передачи информации (биты и боды). Модуляция и кодирование оптических сигналов в аналоговых и цифровых системах связи. Импульсно-кодовая модуляция. Форматы передачи данных в оптических системах связи.

10. Искажение оптических сигналов в ВОЛС. Дисперсия. Хроматическая дисперсия (ХД). Методы измерения и контроля ХД, компенсаторы ХД. Поляризационная модовая дисперсия (ПМД). Методы измерения ПМД. Необходимость контроля ПМД. Нелинейные эффекты в волоконной оптике.

11. Оптические передатчики. Светодиоды. Лазеры с прямой и внешней модуляцией. Вертикально излучающие лазеры.

12. Оптические цифровые приемники. Схема и принцип работы. Полупроводниковые фотодиоды. Коэффициент ошибок цифровой системы связи. Источники шумов в цифровых оптических линиях связи.

13. Оптическое временное мультиплексирование. Оптическая регенерация. Фотоника: оптическая обработка сигналов. Полностью оптические сети. Волокно с высокой нелинейностью, фотонно-кристаллические волокна. Генераторы суперконтинуума. Оптическая шина. Оптоэлектронные процессоры. Оптическая память.

14. Оптические датчики. Лазерный и волоконно-оптический гироскопы. Волоконно-оптические датчики температуры, давления и смещения. Лазерные дальномеры и оптические рефлектометры. Лазерный доплеровский анемометр. Датчики на основе «дырчатых» волокон. Рамановский и бриллюэновский датчики температуры.

Литература

1. О.Е.Наний, А.Н.Туркин. Оптические методы в информатике. М., Университетская книга, 2010.

2. В.Г.Воронин, О.Е.Наний. Основы нелинейной волоконной оптики. М., Университетская книга, 2011.

3. Ф.Е.Шуберт. Светодиоды. М., Физматлит, 2008.

4. G.Agrawal. Lightwave Technology Telecommunication Systems. Wiley, New Jersey, 2005.

5. В.Г.Воронин, О.Е.Наний, А.Н.Туркин, Д.Д.Щербаткин, В.И.Хлыстов, В.А.Камынин. Интегральные потери в элементах волоконно-оптической линии связи. М., Университетская книга, 2012.

6. В.Г.Воронин, О.Е.Наний, А.А.Кулик, А.Н.Туркин. Оптический рефлектометр. М., Университетская книга, 2007.

7. О.Е.Наний, В.Г.Волков, В.Г.Воронин, В.А.Камынин. Исследование распространения световых импульсов в оптических волокнах. М., Университетская книга, 2011.

8. G.Agrawal. Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition. London: Elsevier, 2007.

9. А.Б.Иванов. Волоконная оптика. М., Сайрус Системс, 1999.

10. Р.Р.Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. М., Эко-трендз, 2000.

11. А.М.Желтиков. Микроструктурированные световоды в оптических технологиях. М., Физматлит, 2009.

12. М.А.Гладышевский, О.Е.Наний, Д.Д.Щербаткин, А.Н.Туркин. Волоконная оптика. М., ВиКо, 2002.

13. А.В.Листвин, В.Н.Листвин, Д.В.Швырков. Оптические волокна для линий связи. М., ЛЕСАРпт, 2003.

Люминесценция твердых тел

Автор программы: доцент И.А.КАМЕНСКИХ
4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

1. Определение люминесценции, классификация видов люминесценции, экспериментальные методы люминесцентной спектроскопии. Применения люминесценции. Актуальные исследования, проводимые на кафедре.

2. Классическая теория поглощения и испускания света - дипольные и квадрупольные излучения; вероятности испускания и поглощения. Гармонический осциллятор. Элементы физики твердого тела: симметрия кристаллов, обратная решетка, зона Бриллюэна.

3. Уровни электрона в периодическом потенциале. Функция Блоха. Иерархия приближений в физике твердого тела, приближение слабой связи, энергетические зоны, приближение сильной связи. Область фундаментального поглощения. Прямые и непрямые переходы. Урбаховский край.

4. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Автолокализация электронов и дырок. Поляроны малого и большого радиуса. Автолокализованные экситоны.

5. Акустические и оптические фононы. Модель потенциальных кривых. Сильное и слабое взаимодействие с фононами. Бесфононные линии. Внутреннее тушение. Температурное тушение люминесценции.

6. Примесная люминесценция. Примеры типичных примесей: переходные металлы (d^n), диаграммы Танабе-Сугано; редкоземельные элементы (f^n); переходы с переносом заряда; ионы с конфигурацией s^2 . Кросслюминесценция.

7. Квантово-размерные эффекты. Квантовые точки, нити, ямы. Энергетические диаграммы. Поглощение и люминесценция.

8. Перенос энергии в кристаллах. Процессы релаксации поглощенной энергии. Резонансная передача энергии и сенсibilизированная люминесценция. Концентрационное тушение. Антистоксова люминесценция.

9. Формирование квантового выхода люминесценции в области фундаментального поглощения. Приповерхностные потери. Фотонное умножение. Квантовый выход люминесценции при высокоэнергетическом возбуждении. Характерные времена для разных стадий релаксации.

10. Возможности синхротронного излучения в люминесцентной спектроскопии: кинетика люминесценции, измерения с временным разрешением, поляризованная люминесценция, рентгеновская люминесценция.

Литература

1. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть 1. М., Издательство МГУ, 2008 г.

2. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков, Часть 2. Вторичные процессы. М., Издательство МГУ, 2010 г.

3. G. Blasse. Luminescent Materials, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1994.

4. Н.Ашкрофт, Н.Мермин. Физика твердого тела. М., "Мир", 1979 г.

5. А.М.Гурвич. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М., "Высшая школа", 1976.

6. C.Ronda. Luminescence: from Theory to Applications. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2008.

7. M.Fox. Optical Properties of Solids, Oxford University Press, Oxford, 2001.

Основы фрактальной оптики

Автор программы: ст.науч.сотр. Ю.В.РЫЖИКОВА

4-й курс, 7-й семестр; 36 часов

1.Общее представление о фракталах.

Классификация фракталов. Основные определения фрактала. Фрактальная размерность, коэффициенты скейлинга. Регулярные и случайные фракталы. Способы построения фрактальных сигналов и структур.

2.Методы фрактального анализа. Случайные фракталы.

Броуновские сигналы. Описание сигналов на основе модели обобщенного броуновского движения. Физический смысл параметра Херста. Персистентность и антиперсистентность.

3.Методы мультифрактального анализа.

Основные понятия мультифрактальных представлений. Функция мультифрактального спектра. Мультифрактальная функция Вейерштрасса.

4. Спектральный подход в исследовании фрактальных признаков.

Особенности спектров фрактальных сигналов. Разложение сигналов по вейвлетам. Свойства и возможности вейвлет-преобразований. Анализ признаков фрактальности на основе вейвлет-преобразований.

5.Фракталы в детерминированном хаосе.

Общая характеристика детерминированного хаоса. Фрактальные свойства странных аттракторов. Квадратичное отображение. Самоподобие в бифуркационной диаграмме квадратичного отображения.

6.Способы построения фрактальных оптических элементов.

Применение модели одномерных квазикристаллов. Использование свойств апериодических числовых последовательностей Кантора, Фибоначчи, Морса-Туэ и двойного периода, Рудин-Шапиро. Фотонные кристаллы. Нано-синтез фотонных кристаллов и фрактальных структур.

7.Дифракция на фрактальных решетках и экранах.

Скейлинг в картинах дифракции. Связь характеристик скейлинга с симметрией самоподобия решеток и экранов. Устойчивость фрактальных признаков. Особенности дифракции на апериодических фрактальных решетках. Понятие диффрактала. Статистические и фрактальные характеристики диффракталов.

8.Многослойные структуры с признаками самоподобия.

Геометрия апериодических многослойных структур. Распространение света в многослойных системах. Фрактальные признаки в спектрах пропускания и отражения. Модифицированные многослойные структуры. Системы со слоями из наноструктурированных материалов и метаматериалов.

9.Фрактальность спекловых полей.

Природа спекл-полей. Фрактальность в распределении интенсивности. Фрактальная структура дислокационных образований. Фрактальные представления в оптике атмосферы. Структура атмосферной турбулентности. Фрактальные элементы во флуктуационной структуре лазерных пучков.

10.Прикладные аспекты фрактальной оптики и технологии изготовления фрактальных оптических элементов.

Практическое применение фрактальных многослойных и решетчатых структур. Диагностические системы на основе регистрации фрактальных характеристик излучения. Литографические технологии. Основные математические подходы к решению прямой и обратной задачи фотолитографии.

Литература

1. П.В.Короленко, М.С.Маганова, А.В.Меснянкин. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования. М., Издательство УНЦ ДО, НИИЯФ МГУ, 2004. Учебное пособие.

2. Б.Мандельброт. Фрактальная геометрия природы. М., «Институт компьютерных исследований». 2002.

3. В.И.Белотелов, А.К.Звездин. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы. М., Издательство "Бюро Квантум", 2006. (Библиотечка "Квант", Вып. 94, приложение к журналу "Квант" №2, 2006)

4. П.В.Короленко, М.С.Маганова. Основы статистических методов в оптике. Учебное пособие. М., Издательство "Университетская книга", 2010.

5. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. М., "Наука", 1973.

6. Р.М.Кроновер. Фракталы и хаос в динамических системах. М., Техносфера, 2006.

7. А.А.Потапов. Фракталы в радиофизике и радиолокации. М., Логос, 2002.

8. О.М.Вохник., А.М.Зотов., П.В.Короленко., Ю.В.Рыжикова. Моделирование и обработка стохастических сигналов и структур. Учебное пособие. М., МГУ, 2013.

9. Э.С.Путилин. Оптические покрытия: Учебное пособие. СПб., СПбГУИТМО, 2010.

10. L.D.Negro "Optics of Aperiodic Structures – Fundamentals and Device Applications". CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.

Теория синхротронного излучения

Автор программы: вед. науч. сотр. К.В.ЖУКОВСКИЙ
4-й курс, 7-й семестр, 36 часов

Природа и открытие синхротронного излучения(СИ). Этапы развития теории СИ и достижения выдающихся ученых в области СИ. Примеры наблюдения и использования СИ в природе и технике. Примеры экспериментальных данных в ускорителях и в наблюдениях СИ из космоса.

Излучение быстро движущихся частиц – два пути исследования: в сопутствующей системе отсчета или запаздывающие потенциалы. Общие формулы для излучения, движение (e^-)-электрона по окружности

Мощность излучения при движении электрона по окружности - качественное рассмотрение. Эффект Доплера. Релятивистский прожектор. Преобразования Лоренца. Эффект абберации и СИ. Интенсивность излучения при движении электрона по окружности, угловое распределение. Спектр СИ. Вывод из качественных соображений и качественный анализ. Частота излучения при вращении электрона по окружности. Критическая частота. Вывод из качественных соображений. Мощность и энергия СИ – качественный анализ. Общность и различия СИ и ондуляторного излучения. Асимптотики спектра СИ, мощности полной энергии для низких и высоких частот. Мощность гармоник.

Формула для углового распределения спектральной интенсивности излучения – строгий вывод через запаздывающие потенциалы. Преобразования Фурье вектор потенциалов поля. Полная энергия излучения ускоренного заряда, формула Лармора и её релятивистское обобщение. Излучение электрона при линейном ускоренном и при круговом движении. Угловое распределение излучения заряда в нерелятивистском и релятивистском случаях. Общность и различия для случаев линейного релятивистского движения с ускорением и кругового движения.

Интеграл излучения и вывод углового распределения дифференциальной энергии и интенсивности СИ. Интегралы Эйри. Интегрирование по частотам и анализ распределения полной интенсивности излучения по углам в зависимости от частоты излучения, функции Бесселя и их асимптотики. Интегрирование по углам и анализ распределения полной интенсивности излучения по частотам, интегралы от функций Бесселя.

Поляризация излучения электрона при движении по окружности. Качественное обсуждение распределения энергии излучения между плоскостью орбиты и плоскостью, перпендикулярной ей. Критическая частота СИ. Основные квантовые эффекты теории СИ. Поляризация СИ – точный количественный анализ. Высокочастотная и низкочастотная области, критический угол. Угловая зависимость СИ в предельных случаях.

Литература

1. И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов, Синхротронное излучение и его применение. Издательство Московского университета, 1980.
2. А.А.Соколов, И.М.Тернов. Релятивистский электрон. М., Наука, 1983.
3. Труды ФИАН, т. 80 (Синхротронное излучение), М., Наука, 1975.

4. J. D. Jackson. Classical electrodynamics, 3ed., Wiley, 1999.

5. Теория излучения релятивистских частиц. Под ред. В.А. Бордовицына, М., Физматлит, 2002.

6. A. Hofmann. The Physics of Synchrotron Radiation. Cambridge University Press, 2004.

Компьютерные технологии в оптическом эксперименте

Автор программы: ст.науч.сотр. А.М.ЗОТОВ

4-й курс, 8-й семестр; 36 часов

1. Введение. Проблематика курса. Краткий исторический экскурс. Получение и обработка данных на ЭВМ. Понятие компьютерной системы сбора данных и управления.

2. Типы аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Входной диапазон сигнала. Разрядность. Быстродействие. Режимы работы: обычный, стробоскопический, с усреднением. Параллельные АЦП. АЦП последовательного приближения. Сигма-дельта АЦП.

3. Предназначение и основные свойства цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Последовательные ЦАП: ШИМ, на переключаемых конденсаторах. Параллельные ЦАП: суммирование напряжений, суммирование зарядов, суммирование токов. Классификация, принцип работы и особенности применения ЦАП.

4. Устройство, принцип действия и характеристики фотодиода. Метал-оксид полупроводник (МОП) структура. Комплиментарная МОП (КМОП) матрица. Прибор с зарядовой связью (ПЗС), ПЗС-матрица. Принцип передачи зарядов в ПЗС-линейке и матрице.

5. Классификация и принцип действия датчиков температуры. Терморезистивные термодатчики. Резистивные детекторы температуры. Кремниевые резистивные датчики. Термисторы. Термоэлектрические (термопары). Пирометры. Флуоресцентные интерферометрические датчики на основе растворов, меняющих цвет при температурном воздействии. Акустические, пьезоэлектрические. Классификация и принцип действия гигрометров. Емкостные, Резистивные, термисторные, оптический (точка росы).

6. Статистическая обработка оцифрованных сигналов. Моменты. центрированные моменты. Среднее и дисперсия. Коэффициент асимметрии. Коэффициент эксцесса. Медиана. Мода. Размах. Методы обработки данных с нестационарным средним. Дисперсия Аллана. Структурная функция. Связь корреляционной и структурной функции.

7. Особенности обработки сигналов в частотном домене. Применение дискретного фурье-преобразования (ДПФ). Основные свойства ДПФ. Отличия дискретного преобразования Фурье от непрерывного. Физическая интерпретация ДПФ.

8. Понятие отрицательной частоты для быстрого Фурье преобразования. Свойства симметрии и антисимметрии спектров действительных и мнимых сигналов.

9. Вычислительная сложность ДПФ. Быстрое Фурье преобразование (БПФ) для факторизуемых оснований. Простое основание 2. Простое основание 4. Другие простые основания. Стандартные библиотеки и реализации БПФ.

10. БПФ для нефакторизуемых оснований. Дополнение и обрезка данных. Краевые эффекты и окна. Метод БПФ Блюштейна для произвольных длин данных.

11. Спектральная фильтрация. Полосовой фильтр. Казуальный фильтр. Преобразование Гильберта.

12. Вычисление поля за фазовым экраном в ближней зоне. Практические задачи решаемые методом фазовых экранов. Метод разложения на плоские волны с помощью БПФ. Метод вычисления интеграла Френеля-Кирхгофа через БПФ. Корректный выбор сетки. Сравнение методов.

13. Вычисления корреляционных функций и свертки через БПФ. Проблема обращения свертки. Устойчивость решения. Винеровский фильтр.

14. Понятие вэйвлет преобразования и оконного фурье-преобразования, сходства и различия. Вычисления вэйвлет преобразования через БПФ.

15. Двумерная спектральная фильтрация. Двумерный аналог преобразования Гильберта. Обработка интерферограмм в спектральном домене. Фазовая проблема.

Литература

1. А.Б.Сергиенко. Цифровая обработка сигналов. Издательский дом "Питер", 2002.

2. Г.Виглеб. Датчики. Устройство и применение. М., "Мир", 1989.

3. Ж.Аш. Датчики измерительных систем. Книги 1, 2. М., "Мир", 1992.

4. И.Добеши. Десять лекций по вэйвлетам. Ижевск "НИЦ Регулярная и хаотическая динамика", 2001.

5. Г.Нуссбаумер. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки. М., "Радио и связь", 1985.

6. Р.Блейхут. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М., "Мир", 1989.

Стохастические процессы в оптике

Автор программы: профессор А.И.ФЕДОСЕЕВ

4-й курс, 8-й семестр, 36 часов

1. Введение. Общая характеристика хаотических процессов. Динамическая система и ее математическая модель. Детерминированный хаос.
2. Модель Лоренца. Переход от периодического движения к хаотическому. Переход к хаосу через последовательность бифуркаций. Понятие сценария развития хаоса
3. Аттракторы и их проекции. Размерность аттрактора и вложения. Странный аттрактор. Определение размерности странного аттрактора.
4. Способы идентификации детерминированного хаоса. Показатели Ляпунова. Спектры Фурье. Сечения Пуанкаре.
5. Неустойчивость и хаос в лазерах бегущей волны. Модель Лоренца и Хакена. Фазовая динамика одномодового лазера.
6. Хаос в оптических волноводах.
7. Хаос в кольцевых твердотельных лазерах
8. Лазеры с меняющимися во времени параметрами. Отклик молекулярного лазера на периодическую модуляцию потерь и на изменение добротности. Бифуркации и переход к хаосу в молекулярном лазере.
9. Лазеры с изменяющимися во времени параметрами. Акусто-оптический модулятор в резонаторе твердотельного лазера. Условия перехода лазера в автомодуляционные режимы генерации, включая хаотические режимы.
10. Широкоапертурный лазер с поперечным потоком активной среды. Физические модели. Неустойчивость стационарной генерации при полностью стабильных внешних параметрах.
11. Теория неустойчивости стационарной генерации в неустойчивом резонаторе. Моды возмущений и их взаимодействие.
12. Детерминированный хаос в быстропроточном лазере с неустойчивым резонатором. Управляющие параметры. Сценарии хаоса и бифуркации. Аттракторы и их размерности. Возможности управления режимом генерации.
13. Неустойчивость и хаос в быстропроточных лазерах, оснащенных оптическими системами типа генератор-усилитель. Пространственно-периодическое поле в усилителе, как причина неустойчивости.
14. Использование хаоса в оптических информационных системах.

Литература

1. Я.И.Ханин. Основы динамики лазеров. М., Физматлит, 1999.
2. А.Ю.Лоскутов, А.С.Михайлов. Введение в синергетику. М., "Наука", 1990.
3. М.Фейгенбаум. Универсальность в поведении нелинейных систем. // Успехи физических наук, 1983, т.141, вып.2, с.343-359.
3. Н.А.Магницкий, С.В.Сидоров. Новые методы хаотической динамики. М., Едиториал УРСС, 2004.

4. А.Ф.Глова, С.Н.Козлов, В.В.Лиханский, В.П.Ярцев. Бифуркации и хаос в CO_2 – лазере с периодической накачкой // Квантовая электроника, 1990, т.17, №7, с.894-896.

5. А.В.Бондаренко, А.Ф.Глова, С.Н.Козлов, Ф.В.Лебедев, В.В.Лиханский, А.П.Напартович, В.Д.Письменный, В.П.Ярцев. Бифуркации и хаос в системе оптически связанных CO_2 лазеров. // ЖЭТФ, 1989, т.95, вып.3, с.807-816.

6. Д.Н.Клименко, Н.В.Кравцов, Е.Г.Ларионцев, В.В.Фирсов. Синхронизация хаоса во встречных волнах кольцевого лазера // Квантовая электроника, 1997, т. 24, № 7, с.649–652.

8. А.Ю.Лоскутов, А.В.Мушенков, А.И.Одинцов, А.И.Федосеев, А.В.Федянович. Режимы хаотической генерации в неустойчивом резонаторе быстропроточного лазера с неоднородной накачкой // Квантовая электроника 1999, т.29, N2, с.127-131.

6. Л.С.Кузьминский, А.И.Одинцов, Н.Э.Саркаров, А.И.Федосеев. Автоколебательная неустойчивость в лазерных системах с движением активной среды в пространственно-периодическом поле // Оптический журнал, 2009, т.76, №6, с.24-30.

7. P.Grassberger, I.Procaccia. Characterization of strange attractors // Phys. Rev. Lett., 1983, v.50, N5, p.346-349.

II. Магистерская программа

**"Оптика и спектроскопия, физика лазеров и
синхротронного излучения"**

Учебный план магистратуры

I год обучения		II год обучения	
1-й семестр (осенний)	2-й семестр (весенний)	3-й семестр (осенний)	4-й семестр (весенний)
Обязательная дисциплина Синхротронные исследования микро- и наноструктурированных сред проф. М.В.Ковальчук, проф. Е.Н.Овчинникова экзамен	Обязательная дисциплина Спектроскопия твердого тела к.ф.-м.н. И.А.Каменских экзамен	Обязательная дисциплина Когерентная оптика проф. П.В.Короленко экзамен	Обязательная дисциплина Фундаментальные и прикладные проблемы физической оптики проф. П.В.Короленко проф. О.Е.Наний зачет
Обязательная дисциплина Оптика конденсированного состояния вещества д.ф.-м.н. А.Н.Васильев экзамен	Обязательная дисциплина Основы нелинейной оптики к.ф.-м.н. О.М.Вохник	Обязательная дисциплина Волоконная и интегральная оптика к.т.н. В.Г.Воронин	Обязательная дисциплина Фотоника проф. О.Е.Наний зачет
Обязательная дисциплина Лазерная физика в медицине к.ф.-м.н. О.М.Вохник зачет	Обязательная дисциплина Статистическая оптика проф. П.В.Короленко к.ф.-м.н. Ю.В.Рыжикова зачет	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Методы анализа стохастических сигналов к.ф.-м.н. Ю.В.Рыжикова зачет	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Силовая оптика к.ф.-м.н. С.Ю.Стремоухов зачет
Дисциплина по выбору (2 из 3-х) Прикладная компьютерная оптика к.ф.-м.н. А.М.Зотов экзамен	Обязательная дисциплина Физические процессы в лазерных системах д.ф.-м.н. А.И.Федосеев зачет	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Физические основы оптической связи проф. О.Е.Наний зачет	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Оптические основы современного приборостроения к.ф.-м.н. Н.Л.Семенова зачет
Дисциплина по выбору (2 из 3-х) Лазерная спектроскопия д.ф.-м.н. А.И.Федосеев экзамен	Обязательная дисциплина Оптика полупроводников и светодиоды к.ф.-м.н. А.Н.Туркин зачет	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом д.ф.-м.н. А.Н.Васильев зачет	
Дисциплина по выбору (2 из 3х) Молекулярная люминесценция проф. А.М.Салецкий экзамен	Дисциплина по выбору (2 из 3-х) Спектроскопия атомов и атомные столкновения проф. В.С.Сенашенко экзамен	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Оптические приборы в каналах синхротронного излучения к.ф.-м.н. В.Н.Колобанов зачет	
Специальный физический практикум зачет с оценкой	Дисциплина по выбору (2 из 3-х) Вторичные процессы в диэлектрических кристаллах д.ф.-м.н. А.Н.Васильев экзамен		
	Дисциплина по выбору (2 из 3-х) Синхротронное излучение в биологии и медицине к.ф.-м.н. А.А.Вазина экзамен		
	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Люминесценция редкоземельных элементов к.ф.-м.н. И.А.Каменских зачет		
	Дисциплина по выбору (1 из 2-х) Диагностика наносистем с использованием синхротронного излучения к.ф.-м.н. И.С.Занавескина зачет		

Примечание. Одинаковой заливкой выделены спецкурсы по выбору.

II.2. Программы обязательных дисциплин магистерской программы

Синхротронные исследования микро- и наноструктурированных сред

Авторы программы: профессор М.В.КОВАЛЬЧУК
 профессор Е.Н.ОВЧИННИКОВА
 1-й курс 1-й семестр; 36 часов

1. Основные свойства синхротронного излучения. Параметры, характеризующие синхротроны третьего поколения. Лазеры на свободных электронах.

2. Некоторые основные понятия теории взаимодействия рентгеновского излучения (РИ) с веществом. Рассеяние РИ электроном, атомом. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Кристаллическая решетка и обратная решетка. Структурный фактор. Фазовая проблема рентгеноструктурного анализа.

3. Метод стоячих рентгеновских волн. Возможности исследования поверхности и ультратонких слоев. Выход вторичных излучений в условиях формирования стоячей волны.

4. Особенности взаимодействия рентгеновского синхротронного излучения с веществом. Гамильтониан взаимодействия электромагнитной волны с веществом с учетом спина электрона.

5. Амплитуда рассеяния рентгеновского излучения в первом порядке теории возмущений. Магнитный нерезонансный вклад в рассеяние рентгеновского излучения и его поляризационные свойства. Магнитные структуры в кристаллах. Возможность разделения спинового и орбитального вкладов в магнитный момент атома.

6. Амплитуда резонансного рассеяния рентгеновского излучения – второй порядок теории возмущений. Края поглощения. Коэффициент поглощения, его зависимость от энергии. Дисперсионные поправки к атомному фактору.

7. XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) – спектроскопия. Дальняя тонкая структура спектров поглощения рентгеновского излучения (EXAFS). Многократное рассеяние электронных волн.

8. Спектроскопия XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) и NEXAFS (Near-edge Absorption Fine Structure). Методы регистрации спектров. Методы расчета тонкой структуры спектров поглощения. Учет эффектов самопоглощения. Применение XAFS для изучения наносистем.

9. Явления линейного и кругового дихроизма в спектрах поглощения рентгеновского излучения. Круговой рентгеновский дихроизм в магнитных системах. Правила сумм.

10. Рентгеновский естественный круговой дихроизм спектров поглощения, его связь с симметрией и электронными свойствами среды. Магнитокиральный дихроизм и его связь с магнитоэлектрическим эффектом. Мультиферроики.

11. Метод DAFS (Diffraction Anomalous Fine Structure). Метод MAD (Multiwavelength Anomalous Diffraction) и решение фазовой проблемы рентгеноструктурного анализа.

12. Анизотропные добавки к атомному фактору. Определение числа независимых компонент тензоров атомного и структурного факторов в диполь-дипольном приближении. Учет вкладов высших порядков.

13.«Запрещенные» рефлексы в резонансной дифракции рентгеновского излучения. Энергетическая, азимутальная и поляризационная зависимости «запрещенных» отражений. Резонансная дифракция СИ в электрически упорядоченных системах.

14.Магнитный вклад в резонансный атомный фактор. Магнитные “запрещенные” рефлексы. Примеры исследования магнитных структур с помощью резонансного рассеяния СИ.

15.Неупругие каналы рассеяния рентгеновского излучения. Электронный микроскоп в пучке синхротронного излучения. Визуализация магнитных и антиферромагнитных доменов. Метод RIXS (Resonant Inelastic X-ray Scattering).

16. Малоугловое рассеяние рентгеновского излучения. Эксперименты в геометрии скользящего падения. Рентгеновская рефлектометрия – метод исследования многослойных структур. Магнитная рефлектометрия.

17.Когерентная рентгеновская дифракция (безлинзовая рентгеновская микроскопия). Возможность получения изображения отдельных биологических молекул. Временные эксперименты с использованием синхротронного излучения. Возможность изучения динамических явлений. Эксперименты типа pump-probe.

18.Ядерно-резонансное рассеяние на синхротронах. Временные спектры и реализация мессбауэровского источника на синхротроне.

Литература

1.И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов. Синхротронное излучение и его применения. М., Издательство Московского Университета, 1985.

2.Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М., Физматлит, 2007.

3.Р.В.Ведринский, И.И.Гегузин. Рентгеновские спектры поглощения твердых тел. М., Энергоатомиздат, 1991.

4.М.В.Ковальчук, В.Г.Кон. Рентгеновские стоячие волны – новый метод исследования структуры кристаллов // Успехи физических наук, 1986, т.149, с. 69-103.

5.А.С.Илюшин, А.П.Орешко. Дифракционный структурный анализ. М., 2012.

6.Е.Н.Овчинникова, М.А.Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 1. Препринт физического факультета МГУ, 2007.

7.Е.Н.Овчинникова, В.Е.Дмитриенко, М.А.Андреева. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 2. Препринт физического факультета МГУ, 2009.

8.М.А.Андреева, Е.Н.Овчинникова. Синхротронные исследования в физике твердого тела. Часть 3. Препринт физического факультета МГУ, 2010.

Оптика конденсированного состояния вещества

Автор программы: д.ф.-м.н. А.Н.Васильев
1-й курс, 1-й семестр; 36 часов

1. Кристаллические и аморфные твердые тела. Жидкости. Ближний и дальний порядок. Энергия взаимодействия. Кристаллы с ионной, ковалентной, молекулярной связью. Методы исследования.

2. Свойства симметрии кристаллов. Взаимосвязь симметрии структуры и макроскопических физических свойств кристаллов. Реальные кристаллы.

3. Распространение света в твердых телах и жидкостях. Проникновение света в поглощающие среды. Диэлектрическая проницаемость и ее связь с микроскопическими свойствами твердых тел.

4. Элементы динамической теории кристаллических решеток. Нормальные колебания. Фононы. Акустические и оптические ветви. Теплоемкость кристаллов.

5. Взаимодействие колебаний решетки с электромагнитным полем. Поляритоны. Инфракрасные спектры поглощения.

6. Электроны в кристаллах. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны. Приближение сильной и слабой связи. Плотность состояний в твердых телах. Зонные структуры диэлектриков, металлов, полупроводников и полуметаллов. Обзор методов расчета электронной структуры кристаллов.

7. Металлы. Уровень и поверхность Ферми. Циклотронный резонанс и методы определения параметров электронной структуры металлов.

8. Взаимодействие электронов и дырок в диэлектриках. Экситоны Ванье-Мота и Френкеля. Особенности электронной структуры молекулярных кристаллов.

9. Конфигурационное взаимодействие. Эффект Оже. Биэкситоны и конденсация экситонов.

10. Дефекты в кристаллах. Диффузия ионов в кристаллах. Глубокие и мелкие дефектные состояния. Собственные и примесные дефектные состояния. Центры окраски в диэлектриках. Приближение слабой и сильной электрон-фононной связи.

11. Неупорядоченные системы, стекла. Особенности электронной структуры неупорядоченных сред. Поглощение света неупорядоченными системами.

12. Взаимодействие электронной и фононной подсистем. Адиабатическое приближение. Поляроны. Автолокализация электронов и дырок.

13. Динамика электронов. Уравнение Больцмана. Электропроводность. Туннелирование электронов. Полупроводниковые системы.

14. Кристаллы во внешних электрическом и магнитном полях. Эффект Холла. Эффект Франца-Келдыша.

15. Диэлектрические функции с учетом временной и пространственной дисперсии. Общие вопросы взаимодействия элементарных возбуждений с электромагнитными полями и между собой. Кинетические уравнения для функции распределения возбуждений по энергии и пространству в поляризационном приближении. Многоэлектронные возбуждения.

16. Кооперативные явления. Ферромагнетизм и другие виды упорядочивания в спиновой подсистеме. Сверхпроводимость. Кооперативные явления в оптике, сверхизлучение.

17. Квантовые размерные эффекты. Наноструктуры.

Литература

1. У. Харрисон. Теория твердого тела. М., "Мир", 1972.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., "Наука", 1978.
3. Ю.А. Ильинский, Л.В. Келдыш. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. М., Издательство Московского университета, 1989.
4. В.М. Агранович, М.Д. Галанин. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., "Наука", 1978.
5. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., "Наука", 1973.
6. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. 2 т. М., Мир, 1979.
7. А.Н. Васильев, В.В. Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков, часть 1. М., Издательство Московского университета, 2008.
8. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М., "Мир", 1974.
9. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. М., "Наука", 1976.
10. Ф. Бассани, Дж. Пастори Парравичини. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах. М., "Наука", 1982.
11. Г. Фэн. Фотон-электронное взаимодействие в кристаллах в отсутствие внешних полей. М., "Мир", 1969.
12. А.М. Стоунхэм. Теория дефектов в твердых телах. Т. 1, 2. М., "Мир", 1978.

Лазерная физика в медицине

Автор программы: доцент О.М.Вохник
1-й курс, 1-й семестр; 36 часов

1. Введение

Особенности взаимодействия оптического излучения с биотканью. Основные типы лазеров. Свойства лазерного излучения.

2. Лазерные методы в медицинской диагностике и биологии.

2.1. Лазерный флуоресцентный анализ.

Флуоресценция биотканей. Лазерный флуоресцентный микроскоп. Метод фотообесцвечивания. Диагностика злокачественных новообразований, ишемии миокарда, атеросклероза сосудов. Флуоресцентные биомаркеры в нейробиологии.

2.2. Абсорбционная спектроскопия.

Исследование оптически плотных биотканей калориметрическими методами. Оптико-акустический метод. Абсорбционный анализ состава выдыхаемого воздуха методами диодной лазерной спектроскопии. Характеристики излучения перестраиваемых диодных лазеров. Диагностика по изотопическому отношению углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ в выдыхаемом воздухе. Высокочувствительный анализ окиси углерода, монооксида азота, аммиака в пробах выдыхаемого воздуха.

2.3. Пикосекундная спектроскопия.

Основные методы абсорбционной спектроскопии с пикосекундным временным разрешением. Измерение быстрой кинетики флуоресценции как метод изучения динамики внутреннего движения и передачи энергии в сложных биомолекулах. Диагностика и контроль терапии психических заболеваний по конформационным изменениям сывороточного альбумина человека.

2.4. Диагностика с использованием упругого рассеяния света.

Лазерная нефелометрия. Эктацитометрия. Рэлеевское рассеяние в диагностике онкологических заболеваний. Поляризационная нефелометрия. Лазерные методы в иммунологии. Малоугловое рассеяние. Пролетная цитометрия.

2.5. Лазерная спектроскопия квазиупругого рассеяния.

Монодинные и гетеродинные спектрометры оптического смешения, лазерные доплеровские анемометры. Диагностика на основе измерения коэффициентов диффузии. Электрофоретическое светорассеяние, его использование в медицинских исследованиях и диагностике. Гемодинамика. Диагностика внутриклеточной подвижности методами лазерной доплеровской микроскопии. Доплеровская спекл-интерферометрия.

3. Лазеры в терапии.

3.1. Фотодинамическая терапия опухолей.

История развития фотодинамической терапии. Физические основы метода. Клиническая практика применения фотодинамической терапии. Современная аппаратура и направления исследований.

3.2. Лазерная биостимуляция.

Лазеры в лечении ран, язв и замедленной консолидации переломов. Механизмы терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения. Светоокислородный эффект.

4. Лазерные технологии в хирургии.

4.1. Воздействие лазерного излучения на биоткань.

Абляция. Субабляционный режим.

4.2. Лазерная коагуляция сосудистых, пигментированных и непигментированных патологий. Лазерные скальпели и перфораторы. Лазерные операции в онкологии. Лазерная реваскуляризация миокарда. Лазерная литотрипсия.

4.3. Лазерные технологии в сосудистой хирургии.

Преимущества использования лазеров в баллонной ангиопластике. Лазерная сварка кровеносных сосудов.

5. Лазерная инженерия хрящей.

5.1. Строение хрящевой ткани. Изменение свойств хрящей при нагреве лазерным излучением. Лазерная септохондрокоррекция. Лазерная реконструкция межпозвоночных дисков.

6. Лазеры в офтальмологии

6.1. Устройство глаза. Глаз как оптический прибор. Механизм зрения. Интерферометрические и голографические методы диагностики, ретинометрия, флуоресцентная спектроскопия, спекл-интерферометрия. Лазерная микрохирургия глаза. Лазерная офтальмоонкология.

Литература

1. В.В.Тучин. Оптика биологических тканей. М., Физматлит, 2013.
2. Оптическая биомедицинская диагностика. Т.1,2. Под ред. В.В.Тучина. М., Физматлит, 2007.
3. Труды Института общей физики имени А.М.Прохорова РАН, т.61, 2005.
4. А.В.Приезжев, В.В.Тучин, Л.В.Шубочкин. Лазерная диагностика в биологии и медицине. М., "Наука", 1989.
5. Л.В.Доронина-Амитонова, И.В.Федотов, А.Б.Федотов, К.В.Анохин, А.М.Желтиков // Успехи физических наук, т.185, № 4, стр.371-392, 2015.
6. Специальный выпуск журнала "Квантовая электроника", 2003, т.32, № 11.
7. J.Plasek and T.Marik // Applied Optics, 1982, v.21, No.23, p.p.4335-4338.
8. T.I.Syrejshchikova, Yu.A.Gryzunov, N.V.Smolina et al // Laser Physics, 2010, v.20, No.5, pp.1074 – 1078.
9. А.И.Неворотин. Введение в лазерную хирургию. Санкт-Петербург, СпецЛит, 2000.
10. В.Н.Баграташвили, А.В.Басков, И.А.Борщенко, Н.Ю.Игнатьева, Ю.М.Овчинников, А.И.Омельченко, А.П.Свиридов, В.М.Свистушкин, Э.Н.Соболь, А.Б.Шехтер. Лазерная инженерия хрящей. М., "Наука", 2006.

Спектроскопия твердого тела

Автор программы: доцент И.А.КАМЕНСКИХ

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Феноменологическое описание взаимодействия света с веществом. Диэлектрические функции. Соотношения Крамерса-Кронига и правила сумм.

Экспериментальные методы получения диэлектрических функций в области фундаментального поглощения. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Функция потерь энергии.

2. Электронные возбуждения (одноэлектронные зонные возбуждения, электронно-дырочные пары, экситоны) в идеальных и дефектных недеформируемых кристаллах (без учета фононов).

3. Эффекты Оже и Фано. Возбуждения, создаваемые рентгеновскими фотонами. Вопросы поглощения фотонов большой энергии. Спектроскопия EXAFS и XANES.

4. Экспериментальные аспекты спектроскопии твердого тела с применением синхротронного излучения. Применение накопителей электронов в спектроскопии твердого тела. Встроенные устройства (виглеры и ондуляторы). Лазеры на свободных электронах. Примеры исследования широкозонных диэлектриков.

5. Процессы рассеяния. Спектроскопия рассеяния света.

6. Вторичные процессы в диэлектрических кристаллах (люминесценция, фотоэмиссия, термолюминесценция, дефектообразование и т.д.). Фотоэлектронная спектроскопия.

7. Релаксация возбуждений, неупругие процессы электрон-электронного рассеяния, перенос энергии и заряда, захват на ловушки, взаимодействие с фононами и другие.

8. Формирование спектров возбуждения вторичных процессов. Спектроскопия в области вакуумного ультрафиолетового излучения.

9. Модификация электронных возбуждений в деформируемых кристаллах за счет взаимодействия с фононами. Спектры поглощения и люминесценции дефектов в кристаллах, эффект Яна-Теллера, поляронные состояния, не прямые переходы.

10. Автолокализация электронных возбуждений и дефектообразование. Процессы десорбции.

11. Взаимодействие возбуждений при высокоэнергетическом возбуждении. Радиолюминесценция. Процессы в сцинтилляторах.

Литература

1. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть 1. М., Издательство Московского университета, 2008.

2. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть 2. Вторичные процессы. М., Издательство Московского университета, 2010.

3. Синхротронное излучение, свойства и применения. Под ред. К.Кунца. М., Мир, 1981.

4. M. Fox. Optical Properties of Solids. Oxford University Press, 2001.

5. Э.Д.Алукер, Д.Ю.Лусис, С.А.Чернов. Электронные возбуждения и радиолуминесценция щелочно-галогидных кристаллов. Рига, "Зинатне", 1979.
6. Н. Kuzmany. Solid-State Spectroscopy, Springer, 2009.
7. С. Ronda. Luminescence: From Theory to Applications. Wiley-VCH, 2008.

Основы нелинейной оптики

Автор программы: ст.науч.сотр. В.И.ОДИНЦОВ

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Нелинейная поляризация. Физические механизмы нелинейности.

Общее классическое описание нелинейных эффектов. Нелинейные восприимчивости. Квантовый расчет нелинейных восприимчивостей. Укороченные уравнения для медленных амплитуд связанных волн.

2. Фазовое согласование. Параметрические процессы.

Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и преобразование частоты. Соотношения Мэнли-Роу. Визуализация инфракрасного излучения. Перестраиваемый параметрический генератор.

3. Самовоздействие света.

Самофокусировка света и ее физические механизмы. Явления самомодуляции и самодифракции.

4. Вынужденное рассеяние света.

Классическое описание вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) на молекулярных колебаниях. Квантовая теория ВКР. Возбуждение антистоксовых и высших стоксовых компонент ВКР в резонаторах и световодах. Классическая теория вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). ВКР и ВРМБ при широкополосной и пространственно-неоднородной накачке. Вынужденное температурное рассеяние.

Практическое использование вынужденного рассеяния для преобразования лазерного излучения.

5. Вырожденное взаимодействие волн в насыщающейся среде.

Двухуровневая система в сильном световом поле. Вынужденное резонансное рассеяние света. Органические красители как нелинейные среды. Резонансное двухволновое взаимодействие в красителях.

6. Четырехволновое взаимодействие. Коэффициент отражения сигнальной волны. Параметрическая неустойчивость.

7. Фоторефрактивные кристаллы как нелинейные среды. Энергообмен между волнами и четырехволновое взаимодействие в фоторефрактивных кристаллах.

8. Обращение волнового фронта методами нелинейной оптики.

Обращение волнового фронта при вынужденном рассеянии света и четырехволновом взаимодействии. Динамическая голография. Схемы с параметрической обратной связью. Практическое использование явления обращения волнового фронта.

Литература

1. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., “Наука”, 1989.

2. Н.Б.Делоне. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. М., “Наука”, 1989.

3. Н.И.Коротеев, И.Л.Шумай. Физика мощного лазерного излучения. М., “Наука”, 1991.

4. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М., "Радио и связь", 1982.
5. R.W.Boyd. Nonlinear Optics, 3rd ed., Elsevier Inc., 2008.
6. В.Г.Дмитриев. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта М., Физматлит, 2003.
7. Б.Я.Зельдович, Н.Ф.Пилипецкий, В.В.Шкунов. Обращение волнового фронта. М., "Наука", 1985.
8. Partha P. Banerjee. Nonlinear Optics. Theory, Numerical Modeling, and Applications. New York-Bazel, Marcel Dekker, 2004.
9. С.А.Козлов, В.В.Самарцев. Основы фемтосекундной оптики. М., Физматлит, 2009.

Статистическая оптика

Авторы программы: профессор П.В.КОРОЛЕНКО
ст.науч.сотр Ю.В.РЫЖИКОВА
1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Введение. Статистические явления в оптике.
2. Общие сведения о случайных процессах и полях. Распределения случайных величин, моменты и характеристические функции случайного процесса различных порядков. Корреляционные функции. Спектральное представление. Теорема Винера-Хинчина и ее область применения.
3. Статистическое описание процессов испускания света атомами. Соотношения между длиной цуга и шириной спектра излучения. Сложение колебаний в волнах, приходящих от одного или нескольких источников. Аналитический сигнал.
4. Временная и пространственная когерентности. Интерферометры Майкельсона и Юнга. Функции собственной и взаимной когерентности. Комплексная степень когерентности света.
5. Распространение взаимной когерентности. Теорема Ван Циттерта - Цернике. Дифракция некогерентной волны на отверстии. Звездный интерферометр Майкельсона. Некогерентные протяженные источники когерентного излучения.
6. Когерентность в плоскости изображения протяженного источника. Влияние временной когерентности на явления дифракции. Дифракционные изображения щели и круглого отверстия.
7. Частично-когерентные поля. Коэффициент когерентности пучка. Влияние частичной когерентности на системы, формирующие изображение.
8. Статистика частично-поляризованного излучения. Векторные случайные поля. Поляризационная матрица, связь её элементов с параметрами Стокса.
9. Статистика фотоотчетов. Статистика интенсивностей и статистика фотоотчетов в случайном световом поле. Функция распределения фотоотчетов. Формула Манделя. Получение распределения интенсивности из распределения фотоотчетов. Статистика фотоотчетов в случае теплового и квазитеплового излучения. Влияние времени регистрации, фотоотсчеты в поле лазерного излучения.
10. Временная статистика излучения одномодовых и многомодовых лазеров. Источники шумов, их спектры. Корреляционные функции.
11. Пространственная когерентность излучения лазера. Модель статистически независимых мод. Зависимость радиуса корреляции от числа мод. Предельная пространственная когерентность излучения одномодового лазера.

Литература

1. П.В.Короленко, М.С.Маганова. Основы статистических методов в оптике. Учебное пособие. М., "Университетская книга", 2010.
2. Дж.Гудмен. Статистическая оптика. М., "Мир", 1988.
3. С.А.Ахманов, Ю.Е.Дьяков, А.С.Чиркин. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах. М., Физматлит, 2010.
4. Л.М.Сороко. Основы голографии и когерентной оптики. М., "Наука", 1971.
5. О.М.Вохник, А.М.Зотов, П.В.Короленко, Ю.В.Рыжикова. Моделирование и обработка стохастических сигналов и структур. Учебное пособие. М., МГУ, 2013.
6. В.Г.Волостников. Современная оптика гауссовых пучков. // Успехи физических наук, т. 182, №4, с. 442 – 450, 2012.

Физические процессы в лазерных системах

Авторы программы: профессор А.И.ФЕДОСЕЕВ
1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Процессы, лежащие в основе создания инверсии в среде и лазерной генерации.

Основные способы получения инверсной населенности. Характеристики усиливающих сред. Модель одномодового лазера бегущей волны. Модельное описание активной среды в кинетическом приближении.

Энергообмен в процессах формирования инверсии.

Ширина и форма линии усиления. Характеристики линии и спектр свободной генерации. Селективный резонатор

Механизмы и закономерности насыщения усиления. Способы описания насыщения. Параметр насыщения.

Модели взаимодействия активной среды и резонатора. Типовые резонаторы лазеров. Критерий устойчивости резонатора. Проблема расходимости пучка.

Энергосъем в широкоапертурных лазерах. Неустойчивые резонаторы различных типов. Лазерные системы генератор-усилитель

2. Режимы генерации.

Одномодовый и одночастотный режимы генерации – реализация и характеристики.

Режим модуляции добротности резонатора. Условия формирования гигантского импульса. Практическое осуществление.

Эффективность импульсно-периодической генерации.

Режим синхронизации мод - способы получения и характеристики. Акустооптический модулятор в твердотельном лазере.

Автоколебательные режимы генерации.

3. Примеры важнейших процессов в твердотельных и жидкостных лазерах.

Лазер на иттрий-алюминиевом гранате с неодимом. Эффективность удвоения частоты генерации.

Управление частотой генерации полупроводникового лазера. Лазер на квантовых точках.

Однонаправленная и двунаправленная генерация в твердотельном кольцевом лазере. Оптическая невзаимность.

Синхронизация связанных лазеров.

Многоканальная генерация в эрбиевом волоконном лазере. Кросс-насыщение и устойчивость стационарного режима.

Особенности режимов работы и перестройки частоты генерации в лазерах на красителях. Проблема самопоглощения излучения.

4. Примеры важнейших процессов в газовых лазерах с электрическим возбуждением и диссоциацией.

Главная особенность газовых активных сред – энергообмен при столкновениях.

Релаксация возбужденных состояний, конкуренция переходов, самоограничение процесса генерации в лазерах на нейтральных атомах (гелий-неоновый, на парах меди)

Лазеры на ионах Ar^+ , Kr^+ , He-Cd^+ : двухступенчатое возбуждение метастабильных состояний, многообразие лазерных переходов, катафорез.

Инверсия при фотодиссоциации. Диссоциация при переходе в основное молекулярное состояние в лазерах на галогенидах благородных газов (KrF , XeCl).

5. Важнейшие процессы в молекулярных лазерах с электрическим возбуждением.

Энергообмен в активной среде, содержащей несколько сортов молекул. Особенности колебательной и вращательной кинетики. Иерархия характерных времен. Модельное описание активной среды CO_2 лазера

Мощные молекулярные лазеры: повышение давления и использование потока активной среды. Газодинамический лазер.

Процессы, формирующие квазистационарные распределения. Частичная инверсия в лазере на окиси углерода. Каскадные переходы.

6. Процессы автоколебаний мощности, возникающие в лазерах с потоком активной среды.

Физические механизмы возникновения автоколебаний в лазерах с неустойчивым резонатором и лазерных системах типа генератор-усилитель.

Модели активной среды и оптической резонаторной системы. Релаксационная частота системы и ее роль в автоколебаниях.

Анализ лазерной системы на устойчивость. Инкременты и частоты мод возмущений. Возникновение неустойчивости как результат взаимодействия мод. Насыщенные автомодуляционные режимы.

7. Процессы физической и химической кинетики в непрерывных химических лазерах.

Использование газового потока в процессе создания активной среды в непрерывных химических лазерах на молекулах HF , DF и HCl . Цепные химические реакции.

Особенности химического кислород-йодного лазера. Химический генератор синглетного кислорода. Диссоциация молекул йода при столкновениях. Модели кислород-йодного лазера.

Конструкции химических лазеров, как мобильных лазерных установок.

Литература.

1. Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер. Мир физики и техники. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М., Техносфера, 2008.

2. О. Звелто. Принципы лазеров. Издание четвертое. М., "Лань", 2008.

2. А. С. Курков, О. Е. Наний. Эрбиевые волоконно-оптические усилители. // Lightwave Russian Edition, 2003, №1, с. 14-19.

3. Л. С. Корниенко, О. Е. Наний. Физика лазеров. М., Издательство Московского университета, 1995.

4. Г. А. Месяц, В. В. Осипов, В. Ф. Тарасенко. Импульсные газовые лазеры. М., "Наука", 1991.

5. В. С. Алейников, В. И. Масычев. Лазеры на окиси углерода. М., "Радио и связь", 1990.

6. В. Н. Карнюшин, Р. И. Солоухин. Макроскопические и молекулярные процессы в газовых лазерах. М., Атомиздат, 1981.

7.Б.Ф.Гордиец, А.И.Осипов, Л.А.Шелепин. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М., "Наука", 1980.

8.Ю.А.Ананьев. Оптические резонаторы и проблемы расходимости лазерного излучения. М., "Наука", 1979.

9. Химические лазеры. Под ред. Н. Г. Басова, М., "Наука", 1982.

Дополнительная литература

1.В.И.Донин, Д.В.Яковин, А.В.Грибанов Самоорганизация режима Q-switch с одновременной синхронизацией мод в диодно-накачиваемом Nd:YAG лазере. // Письма в ЖЭТФ, 2015, т.101, № 12, стр.881-884.

2.Б.Ф.Гордиец, В.Я.Панченко Газовые лазеры с солнечным возбуждением. // Успехи физических наук, 1986, т.149, № 3, с. 551-574.

3.В.С.Зуев, В.А.Катулин. Научные основы мощных фотодиссоционных лазеров // Квантовая электроника, 1997, т. 24, № 12, с. 1105-1113.

4.В.В.Аполлонов, В.В.Кийко, В.И.Кислов, А.Г.Суздальцев, А.Б.Егоров. Высокочастотный импульсно-периодический режим излучения в мощных широкоапертурных лазерах. // Квантовая электроника, 2003, т.33, №9, с.753-757.

5.А.Р.Napartovich, А.К.Kurnosov, S.L.Shnyrev, А.А.Ionin, Yu.M.Klimachev, А.А.Kotkov, L.V.Seleznev, D.V.Sinitsyn. CO laser: advances in theory and experiment. //Proceedings of SPIE, 2005, v. 5777, p. 408-413.

Оптика полупроводников и светодиоды

Автор программы: доцент А.Н.ТУРКИН

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Введение. История создания светодиодов.
2. Полупроводники, р-п переход. Излучательная и безызлучательная рекомбинация в полупроводниках. Модели излучательной рекомбинации.
3. Электролюминесценция. Полупроводниковые источники света. Светодиод. Принцип работы светодиода. Полупроводниковый лазерный диод. Особенности и преимущества полупроводниковых источников излучения.
4. Электрические свойства светодиодов. Вольтамперные характеристики светодиодов. Энергия излучения. Распределение носителей в р-п переходах. Напряжение на диоде.
5. Оптические свойства светодиодов. Внутренний и внешний квантовый выход излучения, коэффициент полезного действия (КПД). Спектр излучения. Угол вывода излучения. Пространственное распределение излучения светодиодов, кривая силы света (КСС).
6. Конструкция светодиодов. Отражатели. Линзы: первичная и вторичная оптика. Сверхъяркие светодиоды. Мощные светодиоды. Корпуса светодиодов малой и большой мощности.
7. Температурная зависимость интенсивности излучения. Светодиоды, работающие на повышенных плотностях токов. Тепловое моделирование, создание теплоотводов. Активное и пассивное охлаждение светодиодов.
8. Восприятие света человеческим глазом. Основы фотометрии. Основные понятия и величины. Радиометрические величины. Фотометрические величины. Соотношения между фотометрическими и радиометрическими единицами.
9. Основы колориметрии. Восприятие цветов. Функции согласования цвета и цветовая диаграмма. Координаты цветности. Соотношение между цветностью и цветом. Спектр излучения абсолютно черного тела. Цветовая температура. Смешение цветов. Цветопередача. Индекс цветопередачи источников света.
10. Полупроводниковые светодиоды. Полупроводниковые материалы для создания светодиодных кристаллов. Полупроводниковые светодиоды разных цветов свечения. Возможности получения цветного изображения. Полноцветный светодиод. Полноцветный экран.
11. Возможности получения белого цвета свечения. Белый светодиод. Особенности конструкции белого светодиода. Цветовая температура белого светодиода. Светодиоды разных оттенков белого цвета свечения.
12. Особенности управления светодиодом. Управление током. Источники стабилизированного тока для светодиодов – драйверы.
13. Оптические устройства на основе полупроводниковых светодиодов, особенности конструкции, основные параметры и возможности.

Литература

1. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. М., "Наука", 1977.

2. Ф.Е.Шуберт. Светодиоды. М., Физматлит, 2008.
3. Э.Берг, П.Дин. Светодиоды. М., "Мир", 1979.
4. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. М., "Мир", 1984.
5. А.Э.Юнович. Оптические явления в полупроводниках. Часть 1. М., Издательство МГУ, 1988.
6. А.Э.Юнович. Оптические явления в полупроводниках. Часть 2. М., Издательство МГУ, 1991.
7. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией Ю.Б.Айзенберга, М., "Знак", 2012.
8. Л.П.Варфоломеев. Элементарная светотехника. М., "Знак", 2008.
9. Светодиодное освещение. Справочник. Philips Solid State Lighting Solutions Inc., 2010.
10. О.Е.Наний, А.Н.Туркин. Оптические методы в информатике. М., Университетская книга, 2010.
11. А.Э.Юнович. Светодиоды как основа освещения будущего // Светотехника, №3, 2003.
12. А.Н.Туркин, И.С.Матешев, С.Н.Маркова, Ю.П.Тимонин, К.С.Федоренко. Светодиоды – источники света будущего. Глава 4 в монографии «Высокоэффективные технологии как неотъемлемая часть развития современного общества» (Антонов В.Н., Львович И.Я., Чопоров О.Н. и др.), стр. 86-105, 2015, Одесса, Куприенко СВ, 2015.

Когерентная оптика

Автор программы: профессор П.В.КОРОЛЕНКО

2-й курс, 3-й семестр, 36 часов

1.Общетеоретические положения.

1.1.Когерентность. Степень когерентности светового пучка. Методы измерения пространственной и временной когерентности. Источники когерентного излучения.

1.2.Базисные положения волновой оптики. Основные уравнения скалярной и векторной теории дифракции. Фурье-оптика. Эффект Талбота. Элементы ближнепольной оптики.

1.3.Геометрооптическое приближение. Лучи и фронты. Принцип Ферма. Лучевые трубки. Каустики. Точка стационарной фазы. Условия применимости геометрической оптики. Гамильтонова оптика.

2.Формирование и распространение волновых пучков

2.1.Моды свободного пространства и моды оптических резонаторов. Резонаторы, применяемые для селекции мод. Кольцевые резонаторы. Модульные системы.

2.2.Волноводное распространение излучения. Квадратичные среды. Оптические волокна. Полые волноводы.

2.3.Распространение когерентного излучения в среде со случайными неоднородностями. Борновское приближение и приближение Рытова. Характеристики излучения в случайной среде.

2.4.Формирование спекл-полей при взаимодействии света с диффузными объектами. Физическая природа спеклов и их размеры. Спекл-фотография и спекл-интерферометрия.

2.5.Оптический хаос. Нелинейный лучевой резонанс. Фрактальные лучевые структуры.

2.6.Элементы сингулярной оптики. Оптические вихри в случайно-неоднородных средах. Генерация винтовых полей в лазерах. Оптические пинцеты.

3.Запись и обработка оптической информации.

3.1.Общая характеристика оптических систем. Переходная и передаточная функции.

3.2.Однолинзовая система. Линзы как элементы, выполняющие преобразование Фурье. Формирование изображения.

3.3.Получение изображений в сложных системах. Дифракционно-ограниченные системы. Теории Аббе и Рэлея. Учет aberrаций.

3.4. Голографическая запись информации. Голограммы Фурье. Кинеграммы.

3.5.Оптическая фильтрация и распознавание образов. Применение системы 4-F. Голографический метод синтезирования пространственных фильтров.

4.Методы компьютерной оптики.

4.1.Цифровая голография. Процедура изготовления синтезированной голограммы. Киноформ.

4.2.Фазовая проблема в оптике. Извлечение фазовой информации из данных об интенсивности. Расчет характеристик фокусаторов и корректоров излучения. Дифракционные оптические элементы.

4.3. Цифровая обработка полей в оптических системах. Виды обработки оптических полей. Диагностика структуры лазерных пучков.

Литература

1. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., "Наука", 1970.
2. А. Зоммерфельд. Оптика. Издательство иностранной литературы, 1953.
3. Дж. Гудмен. Введение в фурье-оптику. М., "Мир", 1970.
4. Ф.А. Королев. Теоретическая оптика. М., "Высшая школа", 1968.
5. А.Н. Матвеев. Оптика. М., "Высшая школа", 1986.
6. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах. М.: Физматлит, 2010.
7. Д. Маркузе. Оптические волноводы. М., "Мир", 1974.
8. С. Солимено, Б. Крозиньяни, П. Ди Порто. Дифракция и волноводное распространение излучения. М., "Мир", 1989.
9. М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. М., "Наука", 1979.
10. Ю.А. Кравцов, Ю.И. Орлов. Геометрическая оптика неоднородных сред. М., "Наука", 1980.
11. П.В. Короленко. Оптика когерентного излучения. М., Издательство Московского университета, 1989.
12. T.Y. Fan. Laser Beam Combining for High-Power, High-Radiance Sources. // IEEE J. of selected topics in quantum electronics, 2005, v.11, № 3, p. 567-577.

Волоконная и интегральная оптика

Авторы программы: науч.сотр. В.Г.Воронин,
профессор О.Е.Наний
2-й курс, 3-й семестр; 36 часов

1. Волоконная и интегральная оптика в науке и технике.

2. Волоконные световоды. Основные типы световодов. Лучевая трактовка распространения света в двухслойных и градиентных световодах.

Волновое уравнение волоконного световода. Аналогия с уравнением Шредингера в квантовой механике.

Особенности распространения света в планарных и круглых световодах. Числовая апертура, характеристическое уравнение. Частоты отсечки. Постоянные распространения и распределения полей мод.

Поляризационные свойства световодов. Псевдомоды с линейной поляризацией.

Дисперсия фазовой и групповой скоростей в световодах. Межмодовая, материальная, волноводная и поляризационно-модовая дисперсия и их влияние на распространение сигналов в волоконно-оптическом тракте. Нормальная и аномальная дисперсия.

Особенности распространения спектрально-неограниченных и спектрально-ограниченных импульсов в световодах. Аналогия между дисперсионным увеличением длительности импульсов и дифракционным расширением пучков в свободном пространстве. Методы компенсации дисперсии.

3. Ввод и вывод излучения из световодов. Торцевое и боковое возбуждение световода когерентным светом. Ответвители. Особенности ответвителей для материалов с отрицательным показателем преломления. Ввод излучения от некогерентных источников.

4. Особенности нелинейно-оптических явлений в световодах. Оптический эффект Керра. Фазовая самомодуляция и фазовая кросс-модуляция, нелинейное двулучепреломление. Совместное действие дисперсии и нелинейности. Нелинейное уравнение Шредингера. Солитон. Четырехволновое смешение. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Манделштама-Бриллюэна (ВРМБ).

Применение нелинейных эффектов для компрессии (укорочения) оптических импульсов (аналогия с фокусирующим действием линзы), генерации новых частот, модуляции импульсов на основе нелинейного двулучепреломления, разработки оптических усилителей на основе ВКР и вынужденного четырехволнового смешения. Использование ВРМБ для создания распределенных датчиков изменения температуры и деформации.

5. Микроструктурированные волокна на основе эффекта полного внутреннего отражения и на отражательных брэгговских структурах.

Особенности микроструктурированных волокон по сравнению с традиционными световодами: частотный профиль дисперсии с двумя длинами волн нулевой дисперсии, одномодовый режим в световодах с большой площадью поперечного сечения сердцевин, реализация полых световодов, световодов с

высокой концентрацией электромагнитного излучения и, как следствие, получение высокой нелинейности.

Применение полых световодов для направленной передачи сверхмощных оптических импульсов, изучения нелинейных эффектов в газах и жидкостях.

Импульсы с широким спектром (суперконтинуум) и их применение.

6. Интегрально-оптические элементы, преобразующие пространственную и временную структуру световых потоков: мультиплексоры и демультимплексоры, направленные ответвители, брэгговские решетки, интегрально-оптические модуляторы.

Основы технологии изготовления интегрально-оптических схем.

Использование интегрально-оптических схем в системах обработки информации и в лазерной технике.

Литература

1. М. Янг. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. М., "Мир", 2005.
2. G. Agrawal. Nonlinear Fiber Optics. Fourth Edition, London, Elsevier, 2007.
3. А. М. Желтиков. Микроструктурированные световоды в оптических технологиях. М., Физматлит, 2009.
4. В. Г. Воронин, О. Е. Наний. Основы нелинейной волоконной оптики. М., Университетская книга, 2011.
5. В. Н. Листвин, В. Н. Трещиков. DWDM системы. М., Издательский дом НАУКА, 2015.
5. А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. Оптические волокна для линий связи. М., ЛЕСАРпт, 2003.
6. М. А. Гладышевский, О. Е. Наний, Д. Д. Щербаткин. Волоконная оптика. М., ВиКО, 2002.
7. М. Адамс. Введение в теорию оптических волноводов. М., "Мир", 1984.
8. Х.-Г. Унгер. Планарные и волоконно-оптические волноводы. М., "Мир", 1980.
9. В. Г. Воронин, О. Е. Наний, Н. А. Поликтова. Перспективы практического применения волоконно-оптических параметрических усилителей. Lightwave Russian Edition, № 1, стр. 51-56, 2007.
10. Р. Хансперджер. Интегральная оптика. М. "Мир", 1985.
11. О. Е. Наний, В. А. Волков, В. Г. Воронин. Исследование распространения импульсов в волоконных световодах. М., КДУ, 2011.
12. А. С. Семенов, В. А. Смирнов, А. В. Шмалько. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М., "Радио и связь", 1990.
13. В. Г. Воронин, О. Е. Наний, А. Н. Туркин и др. Интегральные потери в элементах волоконно-оптических линий связи. М., Макс Пресс, 2012.
14. И. Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. М., "Наука", 1993.
15. DeCusatis C. Handbook of Fiber Optic Data Communication. Academic Press. 2002.

Фундаментальные и прикладные проблемы физической оптики

Авторы программы: профессор П.В.КОРОЛЕНКО

профессор О.Е.НАНИЙ

2-й курс, 4-й семестр 36 часов

Введение.

Место оптики в системе современного физического знания. Оптика и спектроскопия в процессах конвергенции наук. Роль оптических технологий в создании природоподобных систем. “Тихая революция” в физике. Значение междисциплинарных представлений.

1.Сингулярные элементы в структуре световых полей.

Каустики и винтовые дислокации волнового фронта. Физический механизм формирования каустик и дислокаций. Описание каустик в рамках теории катастроф. Проблема компенсации процессов образования каустических и дислокационных образований в световых пучках. Применение фазовых дислокаций и винтовых полей в оптических системах и устройствах.

2.Проблема улучшения качества лазерного излучения.

Физические факторы, влияющие на амплитудно-фазовый профиль и расходимость лазерных пучков. Резонаторные методы улучшения характеристик лазерного излучения. Методы адаптивной оптики. Использование явления обращения волнового фронта. Значение качества лазерных пучков в решении проблемы “лазерного термояда”.

3.Детерминированный хаос в оптических системах.

Природа детерминированного хаоса. Методы описания хаотических процессов. Хаос в оптических волноводах. Проблемы изучения хаотической лазерной генерации. Использование детерминированного хаоса в системах передачи информации.

4.Фракталы и золотое сечение в оптике.

Общая характеристика фрактальных процессов и структур. Эвристические проблемы изучения феномена Золотого сечения в природе, искусстве и науке. Реализация Золотого сечения через фрактальные структуры. Открытие квазикристаллов. Фрактальность оптических характеристик одномерных квазикристаллических структур – квазипериодических решеток и многослойных систем. Новые типы многослойных покрытий.

5.Проблемы разработки и совершенствования фотонных кристаллов.

Основы концепции фотонных кристаллов. Метаматериалы. Проблема создания фотонных кристаллов для видимой области. Обновление элементной базы оптических устройств на основе фотонных кристаллов. Фотонные кристаллы с отрицательным показателем преломления. Построение изображений с помощью элементов с отрицательным показателем преломления. Сверхразрешение.

6.Современные проблемы оптической связи.

Принцип работы и структура волоконно-оптических систем связи. Оптические передатчики и их характеристики. Оптические приемники и их чувствительность. Принципы увеличения скорости передачи информации: временное и спектральное мультиплексирование. Искажения оптических сигналов и их компенсация. Солитонные линии связи и их ограниченность. Электронная

компенсация дисперсии и динамическая оптическая компенсация. Многоуровневые форматы модуляции. Структура современных ЭВМ и концепция оптической шины. Особенности оптических систем связи для сверхмалых расстояний. Оптические соединения на основе волокна и диэлектрических волноводов на печатных платах. Связь через свободное пространство. Электронная коммутация – узкое горло современных сетей связи. Реконфигурируемые оптические сети. Оптическая регенерация световых сигналов. Оптическая обработка сигналов. Оптическая маршрутизация. Оптическая пакетная коммутация.

7.Высоко-нелинейные волокна.

Методы измерения нелинейного параметра. Высоко-нелинейные кварцевые волокна. Перетянутые волокна с воздушной оболочкой. Микроструктурированные волокна. Методы изготовления микроструктурированных волокон. Фотонно-кристаллические волокна. Не кварцевые волокна. Применение высоко-нелинейных волокон.

8.Оптика сверхкоротких импульсов.

Методы получения сверхкоротких импульсов (СКИ). Распространение сверхкоротких импульсов. Внутримпульсное комбинационное рассеяние. Комбинационный самосдвиг частоты. Генерация суперконтинуума. Когерентные свойства суперконтинуума Методы измерения СКИ. Оптические синтезаторы частоты. Методы измерения оптических частот со сверхвысокой точностью.

Литература

1.М.В.Ковальчук. Наука и жизнь: моя конвергенция. Том 1. Автобиографические наброски. Научно-популярные и концептуальные статьи. М., ИКЦ Академкнига, 2011.

2.П.В.Короленко. Оптика когерентного излучения. М., Издательство Московского университета, 1989.

3.П.В.Короленко, Н.В.Грушина. Золотое сечение и самоподобные структуры в оптике. Учебное пособие. М., Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 2009.

4.О.Е.Наний, А.Н.Туркин. Оптические методы в информатике. М., Издательство "Университетская книга", 2010.

5.В.Г.Воронин, О.Е.Наний. Основы нелинейной волоконной оптики. М., Издательство МГУ, 2004.

Фотоника

Автор программы: профессор О.Е.НАНИЙ
2-й курс, 3-й семестр; 36 часов

История фотоники. Оптическая телекоммуникационная революция и фотоника. Интегральная фотоника, нанофотоника. Интеграция электроники и фотоники – решение проблемы межсоединений. Технологии изготовления фотонных интегральных схем.

Фотонные устройства в системах передачи информации. Реконфигурируемые оптические сети. Полностью оптические сети, оптическая коммутация, реконфигурируемые мультиплексоры ввода-вывода (ROADM). Оптическая обработка информации, оптические регенераторы. Оптическое временное мультиплексирование, суперканалы и спектральный инжиниринг. Оптическая пакетная коммутация и коммутация всплесков данных.

Планарные волноводы, структура мод. Одномодовые планарные волноводы. Распространение света в планарных волноводах. Типы планарных волноводов. Брэгговские волноводы.

Канальные волноводы. Слотовые волноводы. Плазмонные волноводы. Планарные фотонные кристаллы.

Связанные волноводы и устройства на их основе. Решетки связанных волноводов.

Фотонные компоненты: мультиплексоры и демультимплексоры, направленные ответвители, брэгговские решетки. Невзаимные устройства. Ввод/вывод излучения в интегральные фотонные устройства. Фотонные модуляторы. Интегрированные оптические передатчики. Волноводные лазеры. Кремниевые лазеры. Оптические приемники.

Нелинейные явления в фотонных устройства. PPLN волноводы. Оптическое управление оптическими сигналами. Оптические линии задержки.

Оптические датчики. Физические механизмы, используемые для измерения. Фотонные гироскопы. Датчики электрического поля. Био-сенсоры.

Материалы для интегральной фотоники. Кремниевая фотоника.

Литература

1. G.Lifante. Integrated photonics: fundamentals. Wiley, Chichester, 2003.
2. S.O.Kasap. Optoelectronics and photonics: principles and practices, 2nd ed. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, 2013.
3. Н.В.Никоноров, С.М.Шандаров. Волноводная фотоника. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
4. М.Янг. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. М., "Мир", 2005.
5. Фотоника. Словарь терминов. Издательство РАН, 2004.

II.3. Программы специальных курсов по выбору

Прикладная компьютерная оптика

Автор программы: ст.науч.сотр. А.М.ЗОТОВ

1-й курс, 1-й семестр; 36 часов

1.Общее представление о волоконных датчиках. Распределенные и точечные датчики. Классификация датчиков по принципу действия: интерферометрический, поляризационный, на основе волоконных решеток, на основе рассеяния, в том числе нелинейного, на основе взаимодействия с внешними объектами, детектирование потерь.

2.Моды волокна. Одномодовые и многомодовые волокна. Выражения для распределения амплитуды в волокне. Градиентные волокна и обычные волокна. Окна прозрачности. Волокно с обратной дисперсией.

3.Влияние различных типов деформаций на распространение мод с различной поляризацией в волокне. Понятие тензора фотоэластичности. Объемное сжатие волокна. Перпендикулярное сжатие волокна. Изгиб и скручивание волокна.

4.Основные типы вспомогательных оптоволоконных элементов. Разветвители, каплеры. 2×2 , 3×3 , $N \times N$. Способы изготовления каплеров. Матричный формализм для амплитуды каплеров. Атенюаторы. Поляризаторы. Циркуляторы. Фарадеевский вращатель. Акустооптические модуляторы. Волоконные интерферометры Майкельсона, Саньяка, принцип действия и практическое использование. Волоконные гироскопы. Принципы восстановления фазы с помощью интерферометра.

5.Волоконные датчики на решетках Брэгга. Способы получения решеток Брэгга. Основные типы решеток. Применение решеток. Чирпирование с помощью решеток Брэгга.

6.Волоконные гидрофоны. Схема и принцип работы. Использование матрицы гидрофонов на одном волокне.

7.Волоконные датчики на принципе интерферометров Фабри-Перо. Способы получения и обработки интерферометрических данных. Спектральное и временное разделение информации.

8.Когерентные рефлектометры. Типы рассеяния в волокне. Рэлеевское рассеяние. Рамановское рассеяние. Бриллюэновское рассеяние. Классификация рефлектометрических систем, спектральное и временное разделение сигнала. Фазочувствительный рефлектометр. Зонные рефлектометры на многомодовом волокне. Особенности регистрации и принципы обработки сигнала.

9.Краткий обзор метода конечных элементов. Типы задач решаемых методом конечных элементов. Обзор программ работающих по методу конечных элементов. Задание и изменение типа решаемого дифференциального уравнения. Типы граничных условий. Задание объемных свойств материалов. Способы представления результата вычислений.

10.Ограничение и возможности программ моделирования оптических систем на основе метода ретрейсинга лучей. Краткий обзор основных программ ретрейсинга. Совместимость с внешними САД программами. Основные свойства источников, формат входных данных. Объемные и поверхностные свойства объектов ретрейсинга. Типы приемников и формат выходных данных.

Литература

1. В.Д.Паранин, С.А.Матюнин. Элементы и устройства интегральной оптоэлектроники. Курс лекций. Электронное учебное пособие. Самара, 2012.
2. Zujie Fang, Ken Chin, Ronghui Qu, Haiwen Cai, Kai Chang (Series Editor) Fundamentals of Optical Fiber Sensors, 2012.
3. В.А.Шевцов, М.Е.Белкин. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи. М., "Радио и связь", 1992.
4. Ю.Р.Носов. Оптоэлектроника. М., "Радио и связь", 1989.
5. Т.Окоси, К.Окамото, М.Оцу, Х.Нисихара, К.Кюма, К.Хататэ. Волоконно-оптические датчики. Ленинград, Энергоатомиздат, 1991.
6. К.Е.Румянцев. Волоконно-оптическая сенсорика. Таганрог, Издательство ТРГТУ. 1996.
7. В.Г.Шарварко. Волоконно-оптические линии связи. Таганрог, Издательство ТРГТУ, 2006.
8. Progress in Electromagnetic Research. PIER 10. p217-279. Coupled mode theory for optical waveguide.

Лазерная спектроскопия

Автор программы: профессор А.И.ФЕДОСЕЕВ

1-й курс, 1-й семестр; 36 часов

1. Введение. Преимущества использования лазеров в спектроскопии. "Идеальный" лазер для спектроскопии.

2. Перестройка частоты в пределах контура усиления.

Селекция поперечных мод. Гауссовы пучки. Селекция продольных мод. Интерферометры как внутрирезонаторные селекторы. Специфика применения дифракционной решетки в резонаторе и в спектрометре. Принципы стабилизации частоты лазерной генерации.

3. Возможности перестройки контуров усиления.

Область генерации и перестройка частоты полупроводниковых лазеров. Лазеры на основе комбинационного рассеяния с переворотом спина. Перестройка частоты в газовых лазерах ИК диапазона. Лазеры на центрах окраски. Принципы работы лазеров на красителях. Получение новых частот путем нелинейного оптического смешения.

4. Методы и схемы линейной лазерной спектроскопии.

Классификация линейных методов. Абсорбционная спектроскопия. Метод внутрирезонаторного поглощения, предельная чувствительность метода. Спектроскопия возбуждения. Лазерные спектрометры с внешним аналитическим резонатором. Оптоакустическая спектроскопия. Оптогальваническая спектроскопия. Спектроскопия лазерного магнитного резонанса. Штарковская спектроскопия. Спекл-диагностика жидкостей и газов. Спекл-интерферометрия.

5. Нелинейная лазерная спектроскопия.

Спектроскопия насыщения, стабилизация частоты генерации лазеров. Лазерная внутридоплеровская спектроскопия. Поляризационная спектроскопия. Спектроскопия гетеродинамирования. Спектроскопия с временным разрешением. Принципы многофотонной спектроскопии. Лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния. Спектроскопия комбинационного антистоксова рассеяния.

Литература

1. О.Звелто. Принципы лазеров. М., "Мир", 1984.
2. Лазерная аналитическая спектроскопия. Под ред. В.С.Летохова. М., "Наука", 1986.
3. В.Демтредер. Лазерная спектроскопия. М., "Наука", 1985.
4. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., "Наука", 1975.
5. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., "Наука", 1989.
6. N.Lang, J.Röpcke, S.Wege, A.Steinach. In situ diagnostic of etch plasmas for process control using quantum cascade laser absorption spectroscopy // Eur. Phys. J. Appl. Phys., 2009, v.49, p. 13110.
7. П.В.Короленко, В.В.Лагунов, И.В.Николаев, В.Н.Очкин, С.Н.Цхай, А.Н.Яцкевич. Оптимизация параметров внешнего резонатора лазерного спектрометра слабого поглощения // Квантовая электроника, 2015, т.46, №3, стр. 255-258.

Молекулярная люминесценция

Автор программы: профессор А.М.САЛЕЦКИЙ
1-й курс, 1-й семестр; 36 часов

1. Люминесценция и её основные закономерности. Взаимодействие света с веществом. Энергетические уровни молекул. Виды люминесценции и их классификация. Электронные переходы и их интенсивность. Спектры поглощения, возбуждения и флуоресценции. Спектральные закономерности молекулярной люминесценции. Квазилинейчатые спектры поглощения и люминесценции. Выход люминесценции. Антистоксовая люминесценция. Флуоресценция из высших возбужденных состояний.

2. Поляризованная люминесценция. Поляризация люминесценции и ее свойства. Осцилляторная модель поляризованной люминесценции изотропных сред. Дихроизм поглощения и поляризация люминесценции ориентированных молекулярных систем.

3. Законы затухания люминесценции. Длительность люминесценции. Кинетика затухания анизотропии излучения. Мгновенные спектры люминесценции. Длительные процессы свечения. Условие возникновения фосфоресценции. Замедленная флуоресценция. Поляризация длительного свечения органических молекул.

4. Влияние внутримолекулярных и межмолекулярных взаимодействий на оптические свойства люминесцирующих молекул. Влияние растворителя на электронные спектры органических веществ. Неоднородное уширение спектров в растворах органических молекул. Динамическое и статическое тушения люминесценции. Влияние молекулярной ассоциации на оптические свойства люминесцирующих растворов. Температурное тушение флуоресценции. Перенос энергии электронного возбуждения. Концентрационная деполяризация и концентрационное тушение люминесценции

5. Аппаратура для исследования стационарной люминесценции. Основные элементы установок для измерения люминесцентных характеристики. Немонохроматические источники возбуждения люминесценции. Светофильтры и монохроматоры. Приемники излучения. Оптическая многоканальная регистрация спектров люминесценция.

6. Практические аспекты люминесцентных измерений. Калибровка и коррекция люминесцентных измерений. Выбор условий проведения люминесцентных измерений. Методы измерения выхода люминесценции. Методы определения степени поляризации люминесценции. Автоматизация люминесцентных измерений.

7. Измерения времени затухания флуоресценции. Методы измерения времени затухания флуоресценции в наносекундном диапазоне. Методы измерения времени затухания флуоресценции с пикосекундным разрешением.

8. Измерения длительных процессов свечения. Фосфоресцентная спектроскопия. Метод импульсного фотолиза.

9. Методы флуоресцентного анализа многокомпонентных систем. Метод селективной модуляции. Метод синхронного сканирования. Сканирующая

люминесцентная спектроскопия. Фазочувствительный метод регистрации люминесценции.

10. Флуоресцентная микроскопия. Повышение пространственного разрешения флуоресцентной микроскопии. Лазерная сканирующая флуоресцентная микроскопия молекулярных и биологических структур. Ближнепольная оптическая микроскопия. Исследование фотофизических процессов с нанометровым разрешением.

11. Плазмон контролируемая флуоресценция. «Плазмонная» диаграмма Яблонского. Сравнение свободной и плазмонно связанной флуоресценции. Типы плазмонно контролируемой флуоресценции. Плазмонно связанные флуоресцентные зонды.

12. Флуоресценция молекул, адсорбированными в фотонных кристаллах. Ближнепольное взаимодействие диэлектрических фотонных кристаллов с флуорофорами. Сенсоры на основе структур: одномерный фотонный кристалл – флуорофор.

Литература

1. Л.В.Левшин, А.М.Салецкий. Люминесценция и ее измерения (Молекулярная люминесценция) - учебное пособие. М., Издательство Московского университета, 1989.

2. Л.В.Левшин, А.М.Салецкий. Оптические методы исследования молекулярных систем. Часть I. Молекулярная спектроскопия. М., Издательство Московского университета, 1994.

3. J.R.Lakowicz. Principles of Fluorescence Spectroscopy, 3d ed. Berlin., Springer, 2006.

4. M.Bauch, K.Toma, M.Toma, Q.Zhang, J.Dostalek. Plasmon-Enhanced Fluorescence Biosensors: a Review. Plasmonics, v. 9, pp.781–799, 2014

5. Bernard Valeur. Molecular Fluorescence: Principles and Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001.

6. Metal-Enhanced Fluorescence. Editor(s): Chris D. Geddes. John Wiley & Sons, Inc., 2010.

7. Hin Kok Mang. Fluorescence and Lasing in Dye-doped 1D Graded Photonic Crystals. Basics, Concepts and Experimental Methods. 2010.

8. Fabio Della Sala, Stefania D'Agostino. Handbook of Molecular Plasmonics. Pan Stanford, 2013.

Спектроскопия атомов и атомные столкновения

Автор программы: профессор В.С.СЕНАШЕНКО

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Атомные столкновения как метод изучения структуры атомов и ионов. Возможности столкновительной спектроскопии. Поглощение электромагнитного излучения атомными системами. Абсорбционная фотоэлектронная спектроскопия.

2. Систематика атомных спектров в приближении центрального поля. Описание непрерывных спектров атомов и ионов. Построение волновых функций многоэлектронных атомных систем. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока, его упрощенные модификации. Многоконфигурационное приближение. Другие подходы к проблеме электронных корреляций. Учет магнитных взаимодействий в приближении промежуточной связи.

3. Фотопоглощение атомов и ионов в видимом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне длин волн. Переходы между дискретными уровнями. Силы осцилляторов. Переходы и непрерывный спектр. Спектральное распределение сил осцилляторов. Правила сумм. Экспериментальные методы исследования спектров фотопоглощения и фотоионизации атомов. Явление автоионизации. Контуры спектральных линий, уширенные автоионизацией. Другие проявления электронных корреляций в наблюдаемых спектрах. Нерезонансное и резонансное фотопоглощение. Угловые и энергетические распределения фотоэлектронов. Методы расчета основных характеристик фотоионизационных процессов. Фотоионизация водородоподобных атомов и ионов. Особенности фотоионизации сложных атомных систем. Влияние межэлектронных корреляций на спектральные характеристики фотоионизации атомов. Фотопроцессы с участием электронов внутренних оболочек атомов. Явление диэлектронной рекомбинации. Сателлитная структура спектров излучения многозарядных ионов. Многоступенчатая фотоионизация атомных систем лазерным излучением. Стохастический механизм фотоионизации и квантовые эффекты. Фазовая, частотная и амплитудно-фазовая модуляция лазерного излучения. Влияние стохастичности лазерного излучения на индуцирование нелинейных резонансов в непрерывном спектре фотопоглощения.

4. Смешанные спектры атома гелия и атомов щелочноземельных элементов. Состояния двухэлектронного возбуждения валентных оболочек. Смещенные термы щелочных атомов. Состояния одноэлектронного возбуждения внутренних оболочек атомов. Типы автоионизационных состояний атомов инертных газов. Спектроскопические характеристики автоионизационных состояний. Короткоживущие и метастабильные автоионизационные состояния, их радиационный и безрадиационный распад, энергия возбуждения и времена жизни. Правила отбора для автоионизационных переходов. Оже-спектроскопия и её приложения.

5. Столкновения электронов с атомами и ионами. Резонансное и нерезонансное взаимодействие электронов с атомными системами: упругое рассеяние, возбуждение, ионизация. Спектры неупругих потерь рассеянных электронов. Спектры выбитых электронов. Спектроскопические возможности квазиупругого выбивания электронов как метода изучения структуры атомных и молекулярных

систем. Возбуждение автоионизационных состояний электронным ударом. Амплитуда и сечения ионизаций атомов с учетом автоионизационных переходов. Формирование автоионизационных резонансов, асимметрия резонансных профилей и определение выхода автоионизационных электронов. Влияние интерференции на форму энергетических спектров рассеяния и выбитых электронов в области возбуждения автоионизационных резонансов.

6. Электронная спектроскопия ионизационных столкновений протонов с атомами. Угловые и энергетические распределения электронов при ионизации атомов многозарядными ионами. Механизмы формирования состояний непрерывного спектра в столкновениях атомов с положительно заряженными частицами. Влияние взаимодействия заряженных частиц на характеристики автоионизационных резонансов: уширение и сдвиг резонансных линий. Применение методов электронной спектроскопии для исследования других физических явлений и решения различных спектроскопических задач.

Литература

1. У. Фано, Дж. Купер. Спектральное распределение сил осцилляторов в атомах. М., "Наука", 1972.
2. Г. Ф. Друкарев. Столкновение электронов с атомами и молекулами. М., "Наука", 1975.
3. М. И. Козлов. Спектры поглощения паров металлов в вакуумном ультрафиолете. М., "Наука", 1981.
4. Э. С. Парилис. Эффект Оже. Ташкент, Фан, 1969.
5. У. И. Сафронова, В. С. Сенашенко. Теория спектров многозарядных ионов. М., Энергоатомиздат, 1984.
6. В. Г. Неудачин, Ю. В. Попов, Ю. Ф. Смирнов. // Успехи физических наук, т. 69, №10, 1999.
7. В. С. Сенашенко, Г. А. Симонов. Автоионизационные состояния трехэлектронных атомных систем. Сб. "Столкновения быстрых ионов в веществе" М., УНЦДО, 2002.
8. Ю. И. Геллер, А. К. Попов. Лазерное индуцирование нелинейных резонансов в сплошных спектрах. Новосибирск, "Наука", 1981.
9. П. В. Елютин. Проблема квантового хаоса. // Успехи физических наук, т. 155, №3, 1988.

Вторичные процессы в диэлектрических кристаллах

Автор программы: д.ф.-м.н. А.Н.ВАСИЛЬЕВ

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Вторичные процессы в диэлектрических кристаллах. Общая картина. Феноменологические факторы, влияющие на формирование квантового выхода вторичных процессов.

2. Спектр возбуждений в диэлектриках. Многочастичные возбуждения. Функции распределения.

3. Миграция заряженных возбуждений. Рассеяние электронов и дырок на фонах. Охлаждение горячих возбуждений за счет испускания оптических фононов. Кинетическое уравнение в приближении дрейфа по энергии. Пространственная диффузия зонных возбуждений. Пространственная диффузия локализованных возбуждений.

4. Захват электронов. Захват на заряженные дефекты путем испускания акустических фононов. Захват с учетом оптических фононов.

5. Миграция нейтральных электронных возбуждений. Элементарный акт диполь-дипольного переноса. Кинетические уравнения для системы доноров и акцепторов. Кинетика диполь-дипольного переноса.

6. Реабсорбция люминесценции.

7. Модель однородного возбуждения кристалла. Возбуждение дефектов в при наличии ловушек. Кинетика первого порядка. Кинетика второго порядка. Инфракрасная стимуляция. Межзонное возбуждение.

8. Термостимулированная люминесценция.

9. Приповерхностное тушение люминесценции. Диффузионный механизм поверхностного тушения. Тушение люминесценции из-за диффузии к поверхности. Тушение люминесценции из-за радиационного переноса на поверхность. Неоднородное распределение примесей. Раздельная диффузия электронов и дырок. Зависимость квантового выхода от коэффициента поглощения в нелинейном случае без диффузии.

10. Рекомбинация скоррелированных возбуждений. Пространственное разделение горячих электронов и дырок. Кинетическое уравнение на стадии рекомбинации. Экситонный и рекомбинационный каналы люминесценции. Рекомбинация скоррелированных частиц в присутствии ловушек.

11. Размножение электронных возбуждений. Случай параболического закона дисперсии энергии электронов и дырок. Общая картина размножения электронных возбуждений. Кинетическое уравнение для случая сильно неупругого рассеяния возбуждений. Размножение электронных возбуждений в кристаллах с узкой валентной зоной. Размножение электронных возбуждений с учетом дисперсии энергии дырки. Ударная ионизация и возбуждение дефектов.

12. Кросслюминесценция. Общие свойства остожно-валентных переходов. Кинетическое уравнение для остовных дырок. Аппроксимация кинетического уравнения вблизи порога Оже-процессов. Температурная зависимость кросслюминесценции. Температурное ускорение кросслюминесценции. Роль примесей в эффекте кросслюминесценции.

13. Неравновесное поглощение и горячая люминесценция.

14. Фотоэмиссия электронов из твердых тел. Трехступенчатая модель фотоэмиссии. Средняя длина свободного пробега высокоэнергетичных электронов.

15. Возбуждение вторичных процессов ионизирующим излучением. Взаимодействие твердых тел с ионизирующим излучением. Размеры возбужденной области. Система уравнений для возбужденной области. Кинетика рекомбинации первоначально скоррелированных возбуждений. Основные характеристики сцинтилляторов.

16. Рассеяние света твердыми телами.

Литература

1. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть 2. Вторичные процессы. М., Издательство Московского университета, 2010.

2. В.В.Антонов-Романовский. Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфоров. М., "Наука", 1966.

3. Э.Д.Алукер, Д.Ю.Лусис, С.А.Чернов. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочно-галоидных кристаллов. Рига, "Зинатне", 1979.

4. В.М.Агранович, М.Д.Галанин. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., "Наука", 1978.

5. М.А.Эланго. Элементарные неупругие радиационно-индуцированные процессы. М., "Наука", 1988.

6. В.Ф.Гантмахер, И.Б.Левинсон. Рассеяние носителей заряда в металлах и полупроводниках. М., "Наука", 1984.

7. Ю.Л.Климонтович. Кинетическая теория электромагнитных процессов. М., "Наука", 1980.

8. Ч.Б.Лущик, А.Ч.Лущик. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М., "Наука", 1989.

9. Ю.Р.Закис, Л.Н.Канторович, Е.А.Котомин, В.Н.Кузовков, И.А.Тале, А.И.Шлюгер. Модели процессов в широкозонных твердых телах с дефектами. Рига, "Зинатне", 1991.

10. A.N.Vasil'ev. From Luminescence Non-Linearity to Scintillation Non-Proportionality // IEEE Transactions on Nuclear Science, 2008, v. 55, № 3, part 2, p. 1054-1061.

11. A.N. Vasil'ev and A.V. Gektin. Multiscale Approach to Estimation of Scintillation Characteristics // IEEE Transactions on Nuclear Science, 2014, v. 61, p. 235-245.

Синхротронное излучение в биологии и медицине.

Автор программы: ст.науч.сотр. А.А.ВАЗИНА

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Исследование *in vitro* задач структурной биологии.

1.1. Методический аспект использования синхротронного излучения в исследовании биополимеров; разработка технических устройств, связанных со спецификой методов и особенностями исследуемых объектов.

1.2. Рентгеноструктурный анализ кристаллических белков, вирусов, нуклеиновых кислот, рибосом.

1.3. Решение фазовой проблемы на основе использования метода аномального рассеяния синхротронного излучения на атомах металлов.

1.4. Малоугловое диффузное рассеяние в растворах биополимеров.

1.5. Микродифракционные исследования локальной структуры клетки методом микропучковой техники на основе френелевской оптики.

1.6. Исследования с высоким временным разрешением «дифракционное кино» биологических структур в процессе реализации физиологической функции, исследование структурной динамики мышцы в процессе сокращения.

1.7. Принципы наноструктурной организации гигантских мультидоменных белков; иммуноглобулинового суперсемейства, роль внешнего поля сил на структурную трансформацию.

1.8. Исследование наноструктурной и молекулярной организаций природных и инженерных конструкций шелка.

1.9. Рентгенспектральное исследование локальной структуры металл-связывающих центров белков методом EXAFS-спектроскопии.

2. Исследование *in vivo* задач, связанных со структурной биологией тканей.

2.1. Рентгенодифракционные исследования биологических тканей в норме и при патологии, включая онкотрансформированные ткани.

2.2. Нанопорядоченность фибриллярных структур тканей волос человека и шерсти животных как неинвазивный маркер физиологического статуса организма.

2.3. Наноструктурная упорядоченность протеогликановых систем слизи, тканей различных групп живых организмов и бактериальных пленок

2.4. Рентгендифракционное изучение слизей различных разделов желудочно-кишечного тракта.

2.5. Влияние электромагнитных колебаний высокочастотной электрохирургической сварки на молекулярную и наноструктурную организацию биологических тканей.

2.6. Флуоресцентный элементный анализ биологических тканей с целью экологического мониторинга и медицинской диагностики

2.6. Фазоконтрастная радиография с использованием пространственно когерентной дифракции синхротронного излучения на периодических решетках биологических тканей, мышечных, эпителиальных и других.

Литература

1. Б.К. Вайнштейн. Дифракция рентгеновских лучей на цепных молекулах. М., Издательство Академии наук СССР, 1963.

2. А.А.Вазина. Синхротронное излучение как инструмент рентгенографического исследования короткоживущих состояний структуры биологических объектов. В сб. "Новые физические методы в биологических исследованиях", М., "Наука", 1987, с.96-115.

3. В.В.Болдырев, Н.З.Ляхов, Б.П.Толочко, А.А.Вазина и др. Дифрактометрия с использованием синхротронного излучения. Новосибирск, "Наука", 1989.

4. А.А.Вазина. Синхротронное излучение – новый инструмент рентгеноструктурного анализа биополимеров. В кн. "Физические методы изучения молекулярных и надмолекулярных структур" Материалы школы ЛШАФ, с.26-57, 1979.

5. А.А.Вазина. Использование синхротронного излучения для рентгенографического исследования биополимеров // Молекулярная биология, т.8, Физические методы в молекулярной биологии. Итоги науки и техники. 1976, Москва с.242-307.

6. А.А.Вазина, В.С.Герасимов, Л.А. Железная, Г.М.Франк и др. // Биофизика, т. 20, № 5, с. 801-806, 1975.

7. А.А.Вазина // Nuclear Instruments and Methods A, v. 261, pp. 200-208, 1987.

8. А.А.Вазина // Журнал Всесоюзн.Хим.Об-ва, т. 28, вып. 2, с. 84-89, 1983.

9. А.Вазина, N.Lanina, D.Alexeev et al. // Journal of Structural Biology, v. 155, pp. 251-262, 2006.

10. А.И.Анчаров, А.А.Вазина, В.И.Кондратьев и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 9, с. 44-48, 2005.

11. А.А.Вазина. Молекулярные и наноструктурные особенности биологических тканей в различных функциональных состояниях // Известия РАН. Серия физическая, т.77, № 2, с. 104-109, 2013.

12. А.А. Вазина. Чем структура "живого" отличается от структуры "неживого"// Известия РАН. Серия физическая, т. 79, №1, с.93-101, 2015.

Люминесценция редкоземельных ионов

Автор программы: доцент И.А.КАМЕНСКИХ

1-й курс, 2-й семестр; 34 часа

1. Введение. Редкоземельные ионы в качестве оптически активных центров.

2. Спектроскопия свободных редкоземельных ионов. Группа лантаноидов в периодической системе элементов. Специфика заполнения, архитектуры и оптических свойств $4f$ оболочки. Принцип Паули и антисимметрия волновых функций для эквивалентных электронов. Связь Рассел-Саундерса. Обозначения термов, правило Хунда. Кулоновское и спин-орбитальное расщепление уровней редкоземельных ионов. Общие принципы сложения угловых моментов. Понятие о коэффициентах Клебша-Гордана и Рака. Генеалогические коэффициенты.

3. Люминесценция твердых тел с редкоземельными ионами. Штарковское расщепление уровней в кристаллах и стеклах в случае слабого кристаллического поля. Приближение кубического поля. Основные элементы локальной симметрии кристаллов. Принципы микрокомпенсации заряда и объема. Однородное и неоднородное уширение линий. Одно- и многоцентровые системы с редкоземельными ионами.

4. Вероятности оптических электро- и магнитодипольных переходов. Частичное снятие запрета на $4f-4f$ переходы в кристаллах. Приближение Джадда-Офельта для расчетов сил линий и осцилляторов. Связь коэффициентов поглощения с вероятностями оптических переходов, их измерения.

5. Многофононные переходы в редкоземельных ионах. Приближение "энергетической щели" и современные подходы к расчету вероятностей безызлучательных переходов.

6. Квантовый выход и коэффициенты ветвления люминесценции. Современные методики измерения энергетических, спектральных и инерционных свойств люминесценции редкоземельных ионов.

7. Трех-, четырех-, каскадные и другие схемы лазеров с редкоземельными ионами. Спектроскопия и инерционность их вынужденного излучения.

8. Различные механизмы взаимодействия редкоземельных ионов: резонансное, обменное, рекомбинационное и др. Миграция и перенос энергии электронных возбуждений. Формула Ферстера-Декстера-Галанина для диполь-дипольного переноса, её обобщения. Кинетика послесвечения и выход люминесценции при переносе энергии. Уравнения детального баланса и их обобщения. Микропараметры переноса. Предельные случаи слабого и сильного некогерентного взаимодействия, сверхмиграция.

9. Особые виды переноса: кроссрелаксационное и нелинейное взаимодействие. Суммирование и размножение электронных возбуждений редкоземельных ионов. Различные механизмы антистоксова преобразования ИК излучения в видимый свет. Миграционные и другие схемы лазеров с переносом энергии редкоземельными ионами. Фотонная лавина, возможности безинверсионного усиления оптического излучения.

10.Современные проблемы изучения и применения редкоземельных ионов в качестве зондов упорядоченности различных систем сверхпроводников, биологически активных молекул и др.

Литература

- 1.Н.А.Кулагин, Д.Т.Свиридов. Методы расчета электронных структур свободных и примесных ионов. М., "Наука",1986.
- 2.Е.М.Лифшиц, Л.Д.Ландау. Квантовая механика. М., "Наука", 1965.
- 3.И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М., ГИФМЛ, 1963.
- 4.Д.Т.Свиридов, Р.К.Свиридов, Ф.Ф.Смирнов. Оптические спектры переходных металлов в кристаллах. М., "Наука", 1976.
- 5.В.М.Агранович, М.Д.Галанин. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., "Наука", 1978.
- 6.В.В.Антонов-Романовский. Кинетика фотолюминесценции кристаллофосфоров. М., "Наука", 1966.
- 7.А.А.Каминский, Б.М.Антипенко. Многоуровневые функциональные схемы кристаллических лазеров. М., "Наука", 1989.
- 8.Ю.П.Чукова. Антистоксова люминесценция и новые возможности её применения. М., "Советское радио", 1980.

Диагностика наносистем с использованием синхротронного излучения

Автор программы: доцент И.С.ЗАНАВЕСКИНА
1-й курс, 2-й семестр, 34 часа

С программой курса можно ознакомиться на сайте кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем по адресу <http://optics.phys.msu.ru/>

Методы анализа стохастических сигналов

Автор программы: ст.науч.сотр. Ю.В.РЫЖИКОВА
2-й курс, 3-й семестр, 36 часов

1. Аппарат традиционного статистического анализа.

Случайные величины. Функция и плотность распределения вероятностей. Моменты случайных величин. Совместные распределения случайных величин. Случайные фазоры и их суммы. Оконный спектральный анализ. Моделирование случайного процесса конечной длительности. Элементы математической статистики. Выборки. Выборочная дисперсия. Доверительный интервал.

Случайные процессы. Эргодические процессы. Корреляционная и структурная функции. Энергетический спектр случайного процесса.

2. Фрактальный анализ и мультифрактальная параметризация случайных сигналов.

Случайные фракталы. Фрактальная размерность. Описание сигналов на основе модели обобщенного броуновского движения. Параметр Херста. Связь фрактальности со спектральными и корреляционными функциями. Особенности фрактального анализа двумерных структур.

Понятие мультифрактала. Обобщенные фрактальные размерности. Функция мультифрактального спектра. Процедура мультифрактальной параметризации случайных процессов и структур.

Самоорганизация. Примеры самоорганизации нанокластерных систем. Кластерная фрактальная размерность. Основные методы исследования оптических свойств фрактальных кластерных структур.

3. Применение вейвлет-преобразований.

Разложение сигналов и изображений по вейвлетам. Картина вейвлет-коэффициентов. Свойства и возможности вейвлет-преобразований. Анализ признаков фрактальности на основе вейвлет-преобразований.

4. Методы нелинейной динамики.

Общая характеристика детерминированного хаоса. Фрактальные свойства и размерности странных аттракторов. Сечения Пуанкаре. Показатели Ляпунова. Идентификация детерминированного хаоса. Предсказуемость хаотических процессов.

5. Применение стохастических методов анализа в оптико-физических исследованиях.

Литература

1. Дж.Купер. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. М., "Мир", 1989.

2. Р.М.Кроновер. Фракталы и хаос в динамических системах. М., Постмаркет, 2000.

3. С.В.Божокин, Д.А.Паршин. Фракталы и мультифракталы. Москва-Ижевск, "РХД", 2001.

4. В.П.Дьяконов. Вейвлеты. От теории к практике. М., Солон-Р, 2002.

5. П. Берже, И. Помо, К. Видаль. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе к турбулентности. М., Меркурий - ПРЕСС, 2000.

6. Е. Федер. Фракталы. М.: Ленанд, 2014.

7. J.R. Nicolás-Carlock, J.L. Carrillo-Estrada & V. Dossetti. Fractality *à la carte*: a general particle aggregation model // Scientific reports, 2016, v.6, p.19505; doi: 10.1038/srep19505.

8. В.В. Гридчина, П.В. Короленко, Ю.В. Рыжикова. Скейлинг в оптических характеристиках нанокластерных образований // Известия РАН. Серия физическая. 2015, т.79, №12, стр. 1691-1694.

Физические основы оптической связи

Автор программы: профессор О.Е.НАНИЙ
2-й курс, 4-й семестр; 36 часов

Многообразие оптических систем связи (от соединений внутри чипов до глобальных сетей связи и космических систем связи). Структура линии связи. Мультиплексирование. Оптические сети связи, оптическая коммутация. Прямое детектирование и когерентный прием. Характеристики среды распространения: затухание, дисперсия, нелинейные искажения. Дальность действия оптических систем связи. Регенераторы и оптические усилители.

Понятие информации, единицы измерения информации. Цифровой информационный канал. Пропускная способность информационного канала при оптимальном кодировании – формула Шеннона, отношение сигнал-шум (SNR), SNR на бит. Оптический сигнал, оптическое отношение сигнал-шум (OSNR). Спектральная эффективность. Энергетическая эффективность.

Оптические цифровые системы связи. Оптические цифровые сигналы. Форматы модуляции. Бинарная амплитудная модуляция. Дифференциальная фазовая модуляция с прямым детектированием. Модуляция поляризации. Когерентные системы связи. Квадратурная модуляция. Многоуровневая модуляция.

Коэффициент ошибок BER (Beat Error Ratio). Требуемое OSNR и SNR. Увеличение требуемого OSNR в линиях связи (штрафы из-за искажений сигнала). Коррекция ошибок (FEC), эффективность корректирующих кодов. Коды с мягким принятием решений.

Источники шума в оптических системах связи. Шумы приемника. Квантовый шум. Оптический усилитель, шум усиленного спонтанного излучения. Линии связи с оптическими усилителями, накопление шумов. Нелинейные шумы и нелинейные искажения. Распределенные оптические усилители на вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР-усилители, рамановские усилители). Линии связи с регенераторами, оптическая регенерация и нелинейная фильтрация.

Спектральная эффективность, рабочая полоса и пропускная способность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Методы повышения пропускной способности и дальности передачи информации. Временное и спектральное уплотнение. Оптическое временное мультиплексирование и оптическая пакетная коммутация. Поляризационное и пространственное мультиплексирование.

Оптические передатчики амплитудных форматов. Прямая модуляция. Внешняя амплитудная модуляция. Электроабсорбционные модуляторы и модуляторы Маха-Цендера. Глубина модуляции. Разновидности амплитудных форматов.

Передатчики для фазовых форматов модуляции. Квадратурные модуляторы Маха-Цендера. Когерентные системы связи и требования к передатчикам для когерентных систем связи.

Цифровые приемники амплитудных форматов. Структура и принцип работы. Фотодиоды. Чувствительность приемников с лавинными усилителями. Приемники с оптическими предусилителями. Приемники бинарного дифференциального фазового формата модуляции.

Приемники когерентных систем связи. Принцип работы гетеродинных и гомодинных систем связи. Цифровая обработка сигналов в приемниках когерентных систем связи.

Искажения сигнала в волоконных линиях связи. Затухание. Хроматическая дисперсия (ХД). Материальная и волноводная дисперсия. Влияние хроматической дисперсии на работу систем связи с разной скоростью передачи символов. Методы компенсации. Брэгговские решетки для компенсации ХД. Использование обращения волнового фронта для компенсации дисперсии. Электронная компенсация дисперсии в когерентных и некогерентных системах связи. Поляризационная модовая дисперсия (ПМД) в оптическом волокне. Статистический характер ПМД. Методы компенсации ПМД. Электронная компенсация ПМД в когерентных системах связи.

Нелинейные явления в оптических линиях связи. Нелинейное уравнение Шредингера. Оценка влияния нелинейных эффектов – штраф по OSNR. Фазовая самомодуляция, фазовая кросс-модуляция, четырехволновое взаимодействие. Солитонные ВОЛС. ВКР-взаимодействие каналов в DWDM системах связи, перекося спектра. Порог вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в оптических волокнах и методы его увеличения. Нелинейные эффекты в когерентных системах связи без компенсации дисперсии. Нелинейный интерференционный шум.

Литература

1. Optical Fiber Telecommunications. Edited by I.P. Kaminov et al. Academic press. Volume VI, 2013; Volume V, 2008; Volume IV, 2002.
2. А.С.Курков, О.Е.Наний. Эрбиевые волоконно-оптические усилители. // Lightwave Russian Edition, 2003, №1, стр.14-19.
3. В.Г.Воронин, О.Е.Наний. Основы нелинейной волоконной оптики. М., Издательство Московского университета, 2011.
4. В.Н. Листвин, В.Н.Трещиков. DWDM системы. М., Издательский дом "Наука", 2015
5. О.Е.Наний, А.Н.Туркин. Оптические методы в информатике, М., Университетская книга, 2010.
6. О.Е.Наний. Когерентные системы связи. Lightwave Russian Edition, 2008, №4, стр.23-27.
7. О.Е.Наний. Оптические передатчики с перестраиваемой длиной волны излучения для DWDM-сетей связи. Часть 1 // Lightwave Russian Edition, 2006, № 1, стр. 51–56; Часть 2 // Lightwave Russian Edition, 2006, № 3, стр.53-56.

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом

Автор программы: д.ф.-м.н. А.Н.ВАСИЛЬЕВ

2-й курс, 3-й семестр; 36 часов

1. Общие представления об ионизирующем излучении. Виды ионизирующего излучения и характерные особенности его взаимодействия с веществом. Исследование и применение ионизирующих излучений в физике высоких энергий, медицине, промышленности, для различных видов активной и пассивной диагностики, в системах безопасности.

2. Поля, создаваемые быстрой движущейся частицей в среде. Потенциал Льенара-Вихарда. Диэлектрическая проницаемость с учетом пространственной и временной дисперсии. Плазмонное приближение для диэлектрической проницаемости. Дисперсия плазмонов. Проявление межзонных переходов в диэлектрической проницаемости. Проявление фононов в диэлектрической проницаемости. Сила, действующая на движущийся заряд со стороны среды. Потери энергии в веществе и связь с диэлектрической проницаемостью. Релятивистская формулировка проблемы. Ионизационные и излучательные потери. Продольные и поперечные фотоны и их роль в передаче энергии среде. Черенковское излучение. Тормозное излучение. Эффект Комптона. Рождение пар. Взаимодействие нейтронов различной энергии с веществом.

3. Сцинтилляторы. Требования к сцинтилляционным кристаллам со стороны различных применений. Выход сцинтилляторов, энергетическое разрешение, временные характеристики сцинтилляций. Послесвечение и длинные компоненты свечения. Радиационная стойкость сцинтилляторов.

4. Другие типы детекторов ионизирующего излучения. Токовые детекторы со сверхвысоким энергетическим разрешением (сверхчистый германий). Запоминающие фосфоры. Дозиметры. Датирование исторических событий – термостимулированная и оптически стимулированная люминесценция.

5. Сцинтилляторы для поиска темной материи и двойного безнейтринного бета-распада. Криогенные сцинтилляционные детекторы.

6. Непропорциональность выхода сцинтилляторов. Связь непропорциональности с энергетическим разрешением. Различные типы непропорциональности и общие причины этого эффекта.

7. Иерархия процессов при взаимодействии с ионизирующим излучением по времени и энергии. Стадии релаксации энергии: каскадное размножение электронных возбуждений, термализация возбуждений, взаимодействие и захват, излучательные и безызлучательные процессы, дефектообразование. Отличие схем релаксации в кристаллах с редкоземельными ионами и в кристаллах с возможностью остоно-валентных переходов. Пространственно-временная структура треков.

8. Процессы, связанные с высокоэнергетической стадией релаксации энергии. Рентгеновская фосфоресценция, остоно-валентные переходы, внутризонная люминесценция, процессы, связанные с многозарядной ионизацией, процессы в кластерах электронных возбуждений.

9. Пространственные масштабы процессов релаксации энергии. Длина термализации и ее зависимость от особенностей фононного спектра. Особенности

релаксации в бинарных ионных кристаллах и кристаллах с оксианионом. кристаллах. Зарядовая неоднородность в треках и роль электрических полей, возникающих при разделении зарядов. Процессы в твердых растворах и аморфных системах. Инженерия сцинтилляционных материалов.

10. Экспериментальные методы определения параметров процессов в областях с высокой плотностью возбуждений. Применение фемтосекундных лазеров и лазеров на свободных электронах для исследования этих процессов. Применение синхротронного излучения для исследования сцинтилляторов.

11. Процессы в треках тяжелых ионов. Фазовые переходы и модификация структуры вещества в области треков.

12. Взаимодействие ионизирующего излучения с наночастицами и наноструктурированными объектами.

13. Калориметры и детекторы для физики высоких энергий и исследования космических лучей. Разработка новых типов сцинтилляторов со сверхбыстрой регистрацией для физики высоких энергий и позитрон-эмиссионной томографии.

Литература

1. А.Н.Васильев, В.В.Михайлин. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть 2. Вторичные процессы. М., Издательство Московского университета, 2010.

2. Э.Д.Алукер, Д.Ю.Лусис, С.А.Чернов. Электронные возбуждения и радиолуминесценция щелочно-галогидных кристаллов. Рига, "Зинатне", 1979.

3. М.А.Эланго. Элементарные неупругие радиационно-индуцированные процессы. М., "Наука", 1988.

4. Н.П.Калашников, В.С.Ремизович, М.И.Рязанов. Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах. М., Атомиздат, 1980.

5. P.Lecoq, A.Annenkov, A.Gektin, M.Korzhik, C.Pedrini. Inorganic Scintillators for Detector Systems. Physical Principles and Crystal Engineering. Springer, 2006.

6. P.A.Rodnyi. Physical Processes in Inorganic Scintillators. CRC Press, 1997.

7. W.W.Moses, G.A.Bizarri, R.T.Williams, S.A.Payne, A.N.Vasil'ev, J.Singh, Q.Li, J. Q.Grim and W-S. Choong. The Origins of Scintillator Non-Proportionality // IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 59, pp. 2038-2044, 2012.

8. A.N.Vasil'ev. From Luminescence Non-Linearity to Scintillation Non-Proportionality // IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 55, pp. 1054-1061, 2008.

Оптические приборы в каналах синхротронного излучения

Автор программы: ст.науч.сотр. В.Н.КОЛОБАНОВ
2-й курс, 3-й семестр; 36 часов.

1. Источники света. Синхротронное излучение (СИ): спектральное распределение; диаграмма направленности; поляризация; временная структура. Типы источников СИ: поворотный магнит, шифтер, виглер, ондулятор и их особенности.

Лазер на свободных электронах. Спектральная яркость, эмитенс источников СИ и их эволюция в поколениях источников СИ.

2. Оптические материалы. Пропускающие и отражающие оптические элементы. Сферические и асферические зеркала и дифракционные решетки. Голографические дифракционные решетки. Методы компенсации дефокусировки и астигматизма спектральных приборов. Приборы с плоским полем.

3. Спектральные приборы нормального и скользящего падения. Оптика вакуумной ультрафиолетовой и мягкой рентгеновской области спектра.

4. Расчет оптической схемы канала синхротронного излучения. Согласование оптики канала синхротронного излучения и спектрального прибора. Специальные схемы спектральных приборов для работы в каналах синхротронного излучения.

5. Вакуумные требования каналов синхротронного излучения.

6. Методы оптических, люминесцентных и фотоэлектронных исследований с использованием синхротронного излучения. Измерение времен затухания люминесценции. Использование метода временных ворот для исследования люминесценции и отражения. Исследование анизотропных свойств кристаллов с помощью поляризованного синхротронного излучения.

7. Регистрация излучения вакуумного ультрафиолета и люминесценции. Фотоэлектронные приборы открытого и закрытого типа. Метод счета фотонов.

Литература

1. Синхротронное излучение, свойства и применения. Под ред. К.Кунца. М., "Мир", 1981.

2. В.В.Лебедева. Техника оптической спектроскопии. М., Издательство Московского университета, 1977.

3. А.Н.Зайдель, Е.Я.Шрейдер. Вакуумная спектроскопия и ее применение. М., "Наука", 1976.

4. И.В.Пейсахсон. Оптика спектральных приборов. Ленинград, "Машиностроение", 1970.

5. Л.Н.Розанов. Вакуумная техника. М., "Высшая школа", 1990.

6. В.В.Михайлин. Синхротронное излучение в спектроскопии. М., Издательство Московского университета, 2007.

Дополнительная литература

1. Г.Н.Кулипанов, А.Н.Скринский // Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы. УФН, 1977, т.122, № 3, стр. 369 – 417.

2. E.L.Goldberg, M.A.Phedorin, M.A.Grachev et al. // Application of synchrotron X-ray fluorescent analysis to studies of the records of paleoclimates of Eurasia stored in the sediments of Lake Baikal and Lake Teletskoe. Nukl. Instr. Fnd Meth., 2001, A 470, p.388.

3. Г.Н.Кулипанов // Изобретение В.Л.Гинзбургом ондуляторов и их роль в современных источниках синхротронного излучения и лазерах на свободных электронах. УФН, 2007, т.177, стр. 384.

Силовая оптика

Автор программы: доцент С.Ю.СТРЕМОУХОВ
2-й курс, 4-й семестр; 36 часов

1. Основные положения классической электродинамики. Уравнения Максвелла. Свойства электромагнитных волн. Оптические постоянные вещества. Дисперсионные соотношения.

2. Оптические характеристики проводящих сред. Распространение электромагнитного излучения в проводящих средах. Скин-эффект.

3. Оптические процессы в полупроводниках. Образование электрон-дырочных пар. Передача энергии в полупроводниках. Лазерное возбуждение и каналы релаксации энергии в полупроводниках.

4. Нелинейные процессы, происходящие в среде при воздействии с интенсивными электромагнитными полями. Материальное уравнение нелинейной среды. Нелинейная поляризация среды.

5. Механизмы рассеяния света, распространения света в нелинейных средах.

6. Механизмы изменения поглощения в идеальных диэлектриках, взаимодействующих с интенсивным электромагнитным полем.

7. Поверхностные электромагнитные волны.

8. Мощные лазерные комплексы. Требования к их оптическим элементам.

Литература

1. М.Н.Либенсон, Е.Б.Яковлев, Г.Д.Шандыбина. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Конспект лекций под ред. В.П. Вейко. Часть I. Санкт–Петербург, СПбГУ ИТМО, 2008.

2. В.А.Шмаков. Силовая оптика. М., "Наука", 2004.

3. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М., Физматлит, 2004

4. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., "Наука", 1989.

Оптические основы современного приборостроения

Автор программы: ст.науч.сотр. Н.Л.СЕМЕНОВА,
2-й курс, 4-й семестр; 36 часов

1. Введение. Оптика - наука XXI века. Что такое оптико-электронное приборостроение и возможности современных оптико-электронных приборов

2. Этапы развития оптических теорий и оптического приборостроения

3. Основные законы и понятия геометрической оптики. Основные положения идеальной оптической системы и оптики параксиальных лучей.

4. Классификация оптических систем и их основные характеристики.

Расчет основных типов оптических систем: лупы, микроскопа, телескопических, проекционных, фотоэлектрических и голографических приборов. Основные компоненты оптических систем.

5. Техника спектроскопии.

Спектрографы и монохроматоры. Основные характеристики спектрографов. Эталоны. Интерферометры. Интерференционные фильтры. Многослойные диэлектрические покрытия.

6. Спектроскопические приборы. Спектрометры, классификация, принципы работы.

Рентгено-флуоресцентный спектрометр

Атомно-эмиссионный спектрометр

ИК – спектрометр

Масс-спектрометр

Атомно-абсорбционный спектрометр

Фурье-спектрометр

Рамановский спектрометр.

7. Оптические методы исследования наноматериалов.

Спектроскопия комбинационного рассеяния.

Фотолюминесцентная спектроскопия

8. Микроскопические методы исследования наноматериалов

Методы сканирующей электронной микроскопии. Туннельная электронная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Ближнепольная оптическая спектроскопия.

9. Основы оптоэлектроники.

Прием и преобразование сигналов в оптических и оптикоэлектронных приборах.

Электрон и фотон, как материальные носители информации. Методы приема оптического излучения. Принципы фотоэлектронного преобразования. Оптическая обработка информации.

Литература

1. В.В. Лебедева. Экспериментальная оптика. М., Издательство Московского университета, 1994.

2. Ю.Г. Якушенков. Основы оптико-электронного приборостроения. М., "Советское радио", 1977.

3. Г.С. Ландсберг. Оптика. М., Физматлит., 2003.

4. Р.Ф.Фейнман, Р.Б.Лейтон, М.Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Вып.3. Излучение. Волны. Кванты. М., Едиториал УРСС, 2004.
5. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. М., "Наука", 1970.
6. Н.П.Заказнов, С.И.Кирюшин, В.И.Кузичев. Теория оптических систем. М., "Машиностроение", 1992.
7. А.Н.Зайдель, Г.В.Островская, Ю.И.Островский. Техника и практика спектроскопии. М., "Наука", 1972 год.
8. И.М.Нагибина, В.К.Прокофьев. Спектральные приборы и техника спектроскопии. М., "Машиностроение", 1967.
9. В.А.Асеев., В.М.Золоторев, Н.В.Никоноров. Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники. Санкт-Петербург, СПб ГУ ИТМО, 2015.
10. М.М.Сущинский. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. М., "Наука", 1969.
11. Ю.А.Пентин, Б.Н.Тарасевич. Новые методы спектроскопии в химии. М., "Знание", 1975.
12. Л.В.Вилков, Ю.А.Пентин. Структурные методы и оптическая спектроскопия. М., "Высшая школа", 1987.
13. В.Л.Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М., Техносфера, 2005 г.
14. А.А.Суслов, С.А.Чижик. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) // Материалы. Технологии. Инструменты, т.2, №3, с.78-89, 1997.
15. Ф.Куйт. Вакуумное туннелирование: новая методика в микроскопии. Физика за рубежом. Серия А. М., "Мир", с.93-111, 1988.
16. О.М.Михайлов, М.М.Сычёв. Основы оптоэлектроники и оборудования светотехнических производств. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2013.
17. Н.Л.Заказнов. Теория оптических систем. М., "Машиностроение", 1994.
18. Ю.Р.Носов. Оптоэлектроника. М., "Радио и связь", 1989.
19. Э.Розеншер, Б.Винтер. Оптоэлектроника. М., Техносфера, 2004.