

1
**Электромагнитные
 волны**

Предисловие	9
§ 1. Оптический диапазон электромагнитных волн	12
Длины волн видимого диапазона. Частоты волн видимого диапазона. Оптический и другие диапазоны электромагнитных волн. Почему мы видим именно в видимом диапазоне? Почему микроволновая область непригодна для зрения? Ночное видение	
§ 2. Свойства электромагнитных волн	17
Электромагнитная природа света. Волновое уравнение. Плоские волны. Сферические волны. Плоские гармонические волны. Волновой вектор. Представление плоской волны в комплексной форме. Представление сферической волны в комплексной форме. Плоская электромагнитная волна. Инвариантность плоской волны. Инвариантность фазы. Четырехмерный волновой вектор. Формулы преобразования частоты и направления распространения плоской волны. Эффект Доплера	
§ 3. Плотность потока энергии и импульса электромагнитных волн. Давление света	26
Плотность потока энергии. Распределение плотности потока по сечению пучка. Гауссов пучок. Плотность импульса электромагнитной волны. Давление света. Действие светового давления на малые частицы. Лазерный термометр. Преобразование амплитуды и нормали плоской электромагнитной волны. Энергия пучка плоских волн. Импульс пучка плоских волн	
§ 4. Суперпозиция электромагнитных волн	33
Суперпозиция векторов поля волны. Суперпозиция бегущих плоских монохроматических электромагнитных волн. Бисения. Стоячие волны. Преобразование энергии в стоячей электромагнитной волне. Экспериментальное доказательство электромагнитной природы света	
§ 5. Поляризация электромагнитных волн	37
Поляризация. Линейная поляризация. Суперпозиция линейно поляризованных волн. Эллиптическая и круговая поляризации. Изменение вектора напряженности в пространстве при эллиптической и круговой поляризациях. Вырожденный случай эллиптической поляризации. Число независимых поляризаций. Линейно поляризованная волна как суперпозиция волн с круговой поляризацией	
§ 6. Усреднения	40
Операция усреднения. Усреднение гармонических функций. Усреднение квадратов гармонических функций. Линейность операции усреднения. Вычисления с комплексными скалярными величинами. Вычисления с комплексными векторными величинами	
§ 7. Фотометрические понятия и величины	44
Энергетические и фотометрические величины. Энергетические величины. Энергетическая сила излучения. Энергетическая яркость. Энергетическая светимость. Энергетическая освещенность. Фотометрические величины. Световой поток. Яркость. Светимость. Освещенность. Световая экспозиция. Соотношения между энергетическими и световыми характеристиками излучения	
Задачи	54
§ 8. Спектральный состав функций	56
Ряд Фурье в действительной форме. Ряд Фурье в комплексной форме. Интеграл Фурье в действительной форме. Интеграл Фурье в комплексной форме. Спектр амплитуд и спектр фаз. Нахождение спектра амплитуд и фаз из ряда Фурье в комплексной форме. Непрерывный спектр. Спектр прямоугольных импульсов. Спектр пилообразных импульсов. Спектр изолированного прямоугольного импульса. Спектр экспоненциально убывающей функции. Соотношение между продолжительностью импульса и шириной спектра. Смещение начала отсчета времени. Смещение спектра по частотам. Отрицательные частоты. Теорема Парсеваля. Теорема Планшереля	

2
**Немонохроматическое
 и хаотическое
 излучение**

§ 9. Естественная ширина линии излучения	63
Классическая модель излучателя. Спектральный состав излучения. Лоренцева форма и ширина линии излучения. Время излучения. Форма линии поглощения. Квантовая интерпретация формы линии излучения. Квазимонохроматическая волна	
§ 10. Уширение спектральных линий	69
Причины уширения. Однородное и неоднородное уширения. Естественная ширина линии излучения как однородное уширение. Ударное уширение. Доплеровское уширение. Форма составной линии излучения	
§ 11. Модулированные волны	73
Модуляция. Модуляция амплитуды. Модуляция частоты и фазы. Спектр колебания с гармонической модуляцией частоты	
§ 12. Волновые пакеты	75
Волновой пакет, образованный двумя волнами. Групповая скорость. Суперпозиция колебаний с эквидистантными частотами. Квазиплоская волна	
§ 13. Хаотический свет	78
Суперпозиция волн со случайными фазами. Время разрешения. Усреднение по периоду колебаний. Влияние увеличения промежутка времени на результат усреднения. Время когерентности. Длина когерентности. Гауссов свет. Флуктуации плотности потока энергии хаотического света. Поляризация.	
§ 14. Фурье-анализ случайных процессов	82
Спектр мощности. Автокорреляционная функция. Теорема Винера—Хинчина. Интервал корреляции. Связь интервала корреляции с нормированным спектром мощности	
Задачи	86
§ 15. Распространение света в диэлектриках	88
Монохроматические волны. Дисперсия. Нормальная дисперсия. Аномальная дисперсия. Рассеяние света. Распространение волнового пакета. Замещение световой волны в среде. Дисперсия света в межзвездном пространстве. Окраска тел	
§ 16. Отражение и преломление света на границе между диэлектриками. Формулы Френеля	95
Граничные условия. Постоянство частоты волны при отражении и преломлении. Плоскость падающего, отраженного и преломленного лучей. Соотношения между углами падения, отражения и преломления. Разложение плоской волны на две с взаимно перпендикулярными линейными поляризациями. Вектор E перпендикулярен плоскости падения. Формулы Френеля для перпендикулярных составляющих векторов поля. Вектор E лежит в плоскости падения. Формулы Френеля для параллельных составляющих векторов поля. Явление Брюстера. Соотношения между фазами волн при отражении или преломлении. Степень поляризации	
§ 17. Полное отражение света	104
Формулы для углов $\theta_{\text{пл}} > \theta_{\text{пред}}$. Волна во второй среде. Глубина проникновения. Фазовая скорость. Отраженная волна	
§ 18. Энергетические соотношения при преломлении и отражении света	107
Плотности потоков энергии. Коэффициент отражения. Коэффициент пропускания. Закон сохранения энергии. Поляризация света при отражении и преломлении	
§ 19. Распространение света в проводящих средах	109
Комплексная диэлектрическая проницаемость. Глубина проникновения. Физическая причина поглощения. Фазовая скорость и длина волны. Соотношения между фазами колебаний векторов поля. Соотношения между амплитудами векторов поля. Среда с малой электропроводимостью. Среда с большой электропроводимостью	
§ 20. Отражение света от поверхности проводника	113
Граничные условия. Соотношения между амплитудами волн. Коэффициент отражения. Связь между отражательной и поглощательной способностями	
Задачи	115

§ 21. Приближение геометрической оптики	118
Уравнение эйконала. Луч света. Область применимости лучевого приближения. Принцип Ферма. Вывод закона преломления из принципа Ферма. Распространение луча в среде с переменным показателем преломления.	
§ 22. Линзы, зеркала и оптические системы	123
Параксиальное приближение. Преломление на сферической поверхности. Матричные обозначения. Распространение луча в линзе. Преломление луча на второй сферической поверхности. Преломление луча линзой. Распространение луча через оптическую систему. Отражение от сферических поверхностей	
§ 23. Оптическое изображение	127
Матрица оптической системы. Преобразование луча от плоскости предмета к плоскости изображения. Кардинальные элементы оптической системы. Физический смысл постоянных Гаусса. Построение изображений. Уравнение линзы. Тонкие линзы. Система тонких линз. Использование ЭВМ	
§ 24. Аберрации оптических систем	134
Источники аберраций. Точные матрицы преобразований. Сферическая аберрация. Кома. Аберрации, обусловленные внеосевыми наклонными лучами. Хроматическая аберрация. Иммерсионный объектив. Условие Аббе	
§ 25. Оптические приборы	140
Диафрагмирование. Основные понятия, связанные с диафрагмированием. Глаз как оптическая система. Фотоаппарат. Лула. Микроскоп. Зрительная труба. Проекционные устройства	
Задачи	145

§ 26. Двухлучевая интерференция, осуществляемая делением амплитуды	148
Определение интерференции. Интенсивность при суперпозиции двух монохроматических волн. Способы получения когерентных волн в оптике. Интерференция монохроматических волн, распространяющихся строго вдоль оси интерферометра Майкельсона. Интерференция монохроматических волн, распространяющихся под углом к оси интерферометра. Причина размывания полос интерференции. Интерференция немонохроматического света. Принцип Фурье-спектроскопии. Видимость при гауссовой форме линии. Видимость при лоренцевой форме линии. Интерферометр Майкельсона с линейными полосами. Интерференционная картина от белого света. Интерферометр Маха—Цендера. Интерферометр Тваймана—Грина. Интерферометр Жамена	
§ 27. Двухлучевая интерференция, осуществляемая делением волнового фронта	162
Принцип Гюйгенса. Схема Юнга. Интерференция при белом свете. Источник конечного размера. Источник с однородным распределением интенсивности излучения. Временная и пространственная когерентности. Угол и ширина когерентности. Звездный интерферометр. Измерение диаметров звезд. Измерение расстояния между компонентами двойной звезды. Бипризма Френеля. Билинза Бийе. Зеркало Ллойда. Бизеркало Френеля. Закон сохранения энергии в явлениях интерференции	
§ 28. Многолучевая интерференция, осуществляемая делением амплитуды	171
Интерферометр Фабри—Перо. Распределение интенсивности в интерференционной картине. Интерференционные кольца. Разрешающая способность. Факторы, ограничивающие разрешающую способность. Дисперсионная область. Сканирующий интерферометр Фабри—Перо. Интерференционные фильтры. Пластинка Люммера—Герке. Эшелон Майкельсона	
§ 29. Интерференция в тонких пленках	180
Оптическая длина пути. Отражение от параллельных поверхностей. Линии равного наклона. Роль размера источника. Роль толщины пленки и монохроматичности излучения. Линии равной толщины. Кольца Ньютона. Учет многократных отражений. Слой с нулевой отражательной способностью. Слой с высокой отражательной способностью.	

	Матричный метод расчета многослойных пленок. Многослойные диэлектрические зеркала. Полупрозрачные материалы	
	§ 30. Частичная когерентность и частичная поляризация	190
	Частичная когерентность. Функция взаимной когерентности. Комплексная степень когерентности. Степень когерентности. Опыт Брауна и Твисса. Частичная поляризация. Матрица когерентности квазимонохроматической плоской волны. Комплексная степень когерентности взаимно перпендикулярных проекций напряженности электрического поля волны. Естественный (неполяризованный) свет. Полностью поляризованный свет. Степень поляризации световой волны. Выражение степени поляризации через экстремальные значения интенсивности. Представления естественного света. Соотношение между степенью поляризации и степенью когерентности. Теорема Ван-Циттерта—Цернике	
	Задачи	204
6	§ 31. Метод зон Френеля	208
Дифракция	Принцип Гюйгенса—Френеля. Зоны Френеля. Графическое вычисление амплитуды. Пятно Пуассона. Дифракция на прямолинейном крае полубесконечного экрана. Зонная пластинка как линза. Трудности метода зон Френеля	
	§ 32. Приближение Кирхгофа	213
	Формула Грина. Теорема Гельмгольца—Кирхгофа. Условие излучения. Приближение Кирхгофа. Оптическое приближение. Формула дифракции Френеля—Кирхгофа. Теорема взаимности Гельмгольца. Вторичные источники. Приближение Френеля	
	§ 33. Дифракция Фраунгофера	219
	Область дифракции Фраунгофера. Дифракция на прямоугольном отверстии. Дифракция на щели. Дифракция на круглом отверстии. Дифракционная решетка. Дифракция белого света на решетке. Дисперсионная область. Разрешающая способность. Отражательные дифракционные решетки. Дифракция на щели с непрерывным изменением фазы волны. Фазовые решетки. Амплитудно-фазовые решетки. Наклонное падение лучей на решетку. Дифракция на непрерывных периодических и неперидических структурах. Дифракция на ультразвуковых волнах. Сравнение характеристик спектральных аппаратов	
	§ 34. Дифракция Френеля	232
	Область дифракции Френеля. Дифракция на прямоугольном отверстии. Интегралы Френеля. Спираль Корню	
	Задачи	234
	§ 35. Линза как элемент, осуществляющий преобразование Фурье	236
	Фазовое преобразование, осуществляемое тонкой линзой. Расчет функции толщины. Виды линз. Линза как элемент, осуществляющий преобразование Фурье	
	§ 36. Дифракционное образование изображений линзой	239
	Фурье-преобразование амплитуд между фокальными плоскостями линзы. Формирование изображения линзой. Предел разрешающей способности оптических приборов. Метод темного поля. Метод фазового контраста	
	§ 37. Пространственная фильтрация изображений	247
	Существо пространственной фильтрации изображений. Пространственная фильтрация изображений дифракционной решетки. Эксперимент Аббе—Портера	
	§ 38. Голография	249
	Синхронное детектирование. Голограмма плоской волны. Восстановление изображения. Голограмма точечного объекта. Голограмма произвольного объекта. Требования к фотопластинкам и времени экспозиции. Объемное воспроизведение предмета. Толстослойные голограммы (метод Денисюка). Условие Вульфа—Брэгга. Получение голограммы и восстановление плоской волны. Получение голограммы и восстановление сферической волны. Получение голограммы и восстановление изображения произвольного объекта. Цветное объемное изображение. Особенности голограмм как носителей информации. Применения голографии	

7
Основные
понятия
Фурье-оптики

8
Распространение
света
в анизотропных средах

§ 39. Описание анизотропных сред	262
Источники анизотропии. Описание анизотропной диэлектрической среды. Тензор диэлектрической проницаемости	
§ 40. Распространение плоской электромагнитной волны в анизотропной среде	264
Плоская электромагнитная волна в анизотропной среде. Зависимость фазовой скорости от направлений распространения волны и колебаний вектора D . Уравнение Френеля. Типы возможных волн	
§ 41. Ход лучей в анизотропной среде	267
Зависимость лучевой скорости от направления. Эллипсоид лучевых скоростей. Анализ хода лучей с помощью эллипсоида лучевых скоростей. Оптическая ось. Двуосные и одноосные кристаллы. Эллипсоид волновых нормалей. Лучевая поверхность	
§ 42. Двойное лучепреломление	272
Обыкновенный и необыкновенный лучи. Сущность двойного лучепреломления. Построение Гюйгенса. Оптическая ось перпендикулярна поверхности кристалла. Оптическая ось параллельна поверхности кристалла. Оптическая ось под углом к поверхности кристалла. Закон Малюса. Поляризация при двойном лучепреломлении. Полярироид. Поляризационные и двоякопреломляющие призмы. Призма Николя. Двоякопреломляющие призмы. Полихроизм	
§ 43. Интерференция поляризованных волн	276
Интерференция волн при взаимно перпендикулярных направлениях линейной поляризации. Пластика в четверть волны. Пластика в полволны. Пластика в целую волну. Анализ линейно поляризованного света. Анализ эллиптически поляризованного света. Анализ циркулярно поляризованного света. Компенсаторы. Цвета кристаллических пластинок. Явления в сходящихся лучах	
§ 44. Вращение плоскости поляризации	281
Вращение плоскости поляризации в кристаллических телах. Вращение плоскости поляризации в аморфных веществах. Феноменологическая теория вращения плоскости поляризации. Оптическая изомерия. Вращение плоскости поляризации в магнитном поле	
§ 45. Искусственная анизотропия	285
Анизотропия при деформации. Анизотропия, создаваемая в веществе электрическим полем. Анизотропия, создаваемая в веществе магнитным полем. Эффект Поккельса	
Задачи	288

9
Рассеяние
света

§ 46. Природа процессов рассеяния	290
Природа рассеяния. Типы рассеяния. Многократное рассеяние	
§ 47. Рэлеевское рассеяние и рассеяние Ми	291
Модель элементарного рассеивателя. Рэлеевское рассеяние. Закон Рэлея. Угловое распределение и поляризация света при рэлеевском рассеянии. Ослабление интенсивности света. Рассеяние Ми. Распределение интенсивности по углам и поляризация излучения в рассеянии Ми. Проявления рассеяния Ми	
§ 48. Рассеяние Мандельштама—Бриллюэна	297
Компоненты Мандельштама—Бриллюэна. Несмещенная компонента. Явление Мандельштама—Бриллюэна в твердых телах	
§ 49. Комбинационное рассеяние	298
Классическая интерпретация. Экспериментальные факты. Квантовая интерпретация. Применения комбинационного рассеяния	

10
Генерация
света

§ 50. Излучение абсолютно черного тела	302
Плотность излучения. Равновесная плотность излучения. Первый закон Кирхгофа. Поглощательная способность и энергетическая светимость. Второй закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Концентрация мод колебаний. Формула Рэлея—Джинса. Формула Вина. Формула Планка. Закон Стефана—Больцмана. Закон смещения Вина. Элементарная квантовая теория. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна	

§ 51. Оптические усилители	309
Прохождение света через среду. Закон Бургера. Условия усиления. Воздействие светового потока на заселенность уровней. Условия насыщения. Создание инверсной заселенности	
§ 52. Лазеры	312
Принципиальная схема лазера. Порог генерации. Условия стационарной генерации. Добротность. Непрерывные и импульсные лазеры. Повышение мощности излучения. Метод модулированной добротности	
§ 53. Лазерное излучение	315
Моды излучения. Резонатор с прямоугольными плоскими зеркалами. Аксиальные (продольные) моды. Ширина линий излучения. Боковые моды. Цилиндрический резонатор со сферическими зеркалами. Синхронизация мод. Продолжительность импульса. Осуществление синхронизации мод. Лазерные спеклы	
§ 54. Характеристики некоторых лазеров	321
Разнообразие лазеров. Рубиновый лазер. Гелий-неоновый лазер. СО ₂ -лазер с замкнутым объемом. Проточный СО ₂ -лазер. Т-лазер. Газодинамические лазеры. Лазеры на красителях	
Задачи	326
§ 55. Нелинейная поляризованность	328
Линейная поляризованность. Нелинейная поляризованность. Квадратичная нелинейность. Нелинейная восприимчивость. Комбинационные частоты	
§ 56. Генерация гармоник	330
Волна линейной поляризованности. Волны нелинейной поляризованности. Условие пространственного синхронизма. Длина когерентности. Осуществление пространственного синхронизма. Векторное условие пространственного синхронизма. Генерация суммарных и разностных частот. Спонтанный распад фотона. Параметрическое усиление света. Параметрические генераторы света	
§ 57. Самовоздействие света в нелинейной среде	338
Нелинейная поправка к показателю преломления. Самофокусировка и дефокусировка пучка. Длина самофокусировки. Пороговая мощность. Основные причины возникновения нелинейности показателя преломления. Инерционность	
Приложение. Единицы СИ, используемые в книге	342