

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Список авторов . . . . .	11
Предисловие к русскому изданию . . . . .	13
Предисловие редактора перевода . . . . .	14
Предисловие к английскому изданию . . . . .	20
<b>Глава 1. Квантовые изображения в непрерывных переменных. Луджи А. Луджиато, Алессандра Гатти, Энрико Брамбилла . . . . .</b>	<b>21</b>
1.1. Введение . . . . .	21
1.2. Концепции сжатия и перепутывания в случае непрерывных переменных и их связь . . . . .	22
1.2.1. Модель I (22). 1.2.2. Модель II (23).	
1.3. Взаимосвязь сжатия и перепутывания . . . . .	25
1.4. Пространственно многомодовое параметрическое преобразование: некоторые аспекты обработки квантовых изображений . . . . .	26
1.4.1. Пространственно многомодовое сжатие в сравнении с одномодовым: спонтанное параметрическое преобразование типа I (26). 1.4.2. Дуализм полей в ближней и дальней зонах в оптическом параметрическом усилителе типа I (28). 1.4.3. Измерение слабой амплитуды или фазы объектов ниже стандартного квантового предела (31). 1.4.4. Усиление изображения при параметрическом преобразовании типа I (32).	
Список литературы . . . . .	34
<b>Глава 2. Пространственное перепутывание при параметрическом преобразовании оптической частоты. Алессандра Гатти, Энрико Брамбилла, Оттавио Ждркевич, Луджи А. Луджиато . . . . .</b>	<b>36</b>
2.1. Введение . . . . .	36
2.2. Пространственные квантовые корреляции в ближней и дальней зонах при параметрическом синхронизме второго типа в режиме большого усиления . . . . .	36
2.2.1. Уравнение распространения для сигнальной и холостой волн и соотношение вход-выход (36). 2.2.2. Корреляции в ближней и дальней зонах в стационарном режиме и в приближении плоской волны накачки (41). 2.2.3. Корреляции в ближней и дальней зонах: результаты численных расчетов в общем случае (44). 2.2.4. Корреляции в дальней зоне (45). 2.2.5. Корреляции в ближней зоне (46).	
2.3. Измерение пространственных корреляций ниже уровня дробового шума при СПР в режиме большого усиления . . . . .	47
2.3.1. Изучение пространственных особенностей излучения СПР в дальней зоне с помощью CCD-камеры (49). 2.3.2. Экспериментальная установка для пространственно-коррелированных измерений (51). 2.3.3. Измерение квантовых пространственных корреляций: пространственный аналог антигруппировки фотонов во времени (53).	
2.4. Многофотонное и многомодовое поляризационное перепутывание в спонтанном параметрическом рассеянии . . . . .	58
Список литературы . . . . .	62

<b>Глава 3. Квантовые изображения в непрерывном режиме детектирования при использовании вырожденного оптического резонатора.</b> <i>Агнес Мэтр, Никола Трепс, Клод Фабр</i> . . . . .	65
3.1. Введение . . . . .	65
3.2. Свойства вырожденного оптического резонатора для классических изображений . . . . .	65
3.2.1. Введение (65). 3.2.2. Преобразование поля за один обход резонатора (66). 3.2.3. Передача изображения через оптический резонатор (68).	
3.3. Теория параметрического генератора света с вырожденным резонатором . . . . .	70
3.3.1. Классическое поведение (70). 3.3.2. Квантовые свойства (73).	
3.4. Экспериментальные результаты . . . . .	76
3.4.1. Классические эффекты: наблюдение оптических изображений (76). 3.4.2. Наблюдение квантовых корреляций в изображениях (77).	
3.5. Заключение . . . . .	81
Список литературы . . . . .	81
<b>Глава 4. Формирование квантовых изображений методом синтеза многомодового квантового света.</b> <i>Николя Трепс, Ганс Бахор, Пинг К. Лем, Клод Фабр</i> . . . . .	84
4.1. Введение . . . . .	84
4.2. Квантовый шум при регистрации матричным детектором . . . . .	85
4.3. Детектирование ниже уровня дробового шума . . . . .	87
4.4. Квантовая лазерная указка . . . . .	89
4.5. Оптическое считывание данных . . . . .	91
4.6. Оптимальный способ измерения сигнала . . . . .	93
4.7. Заключение . . . . .	94
Список литературы . . . . .	95
<b>Глава 5. Фантомные изображения.</b> <i>Алессандра Гатти, Энрико Брамбилла, Мортен Баке, Луджи А. Луджиато</i> . . . . .	96
5.1. Введение . . . . .	96
5.2. Общая теория ФИ с использованием перепутанных пучков света . . . . .	99
5.2.1. Некоторые конкретные схемы фантомных изображений (101).	
5.3. Корпускулярно-волновой аспект . . . . .	103
5.4. Пространственное усреднение при измерении фантомной дифракционной картины: увеличение пространственной полосы спектра и скорости восстановления . . . . .	105
5.5. Фантомные изображения при гомодинном детектировании . . . . .	106
5.6. Обсуждение: действительно ли квантовое перепутывание необходимо для наблюдения фантомных изображений? . . . . .	109
5.7. Фантомные изображения в разделенных квазитепловых пучках: теория [15–17] . . . . .	111
5.7.1. Аналогия между перепутанным и тепловым пучками при наблюдении фантомных изображений [15–17] (112). 5.7.2. О разрешении (114).	

5.7.3. Взаимосвязь с корреляционным методом Хэнбери Брауна–Твисса [37] (114).	
5.7.4. Корреляционные аспекты (115).	
5.7.5. Аспекты контрастности (117).	
5.7.6. Некоторые исторические замечания (118).	
5.7.7. Эмпирическое сравнение фантомных изображений в перепутанном и тепловом свете (119).	
5.8. Фантомные изображения с разделенными тепловыми пучками: эксперимент . . . . .	120
5.8.1. Фантомные изображения высокого разрешения [23] (121).	
5.8.2. Эксперименты по измерению фантомной дифракционной картины: дополнительность когерентности и корреляций [24] (125).	
Список литературы . . . . .	128
<b>Глава 6. Квантовые ограничения оптического сверхразрешения.</b> <i>Михаил Колобов</i> . . . . .	
6.1. Сверхразрешение в классической оптике . . . . .	131
6.2. Квантовая теория сверхразрешения . . . . .	133
6.2.1. Квантовая теория оптических изображений (133).	
6.2.2. Квантовая теория оптической фурье-микроскопии (138).	
6.3. Квантовые ограничения при восстановлении оптических объектов . . . . .	140
6.3.1. Восстановление классических не шумящих объектов (140).	
6.3.2. Восстановление объектов с квантовыми флуктуациями (145).	
6.3.3. Функция рассеяния точки для сверхразрешающей реконструкции объекта (147).	
6.4. Источники сжатого света для микроскопии со сверхразрешением. . . . .	150
Список литературы . . . . .	156
<b>Глава 7. Усиление оптического изображения без добавления шума.</b> <i>Михаил Колобов, Эрик Ланц.</i> . . . . .	
7.1. Введение. . . . .	158
7.2. Однопроходная схема параметрического усиления изображений . . . . .	160
7.3. Оптимальный фазовый синхронизм для параметрического усиления. . . . .	162
7.4. Квантовые флуктуации в усиленном изображении и условия усиления без добавления шума . . . . .	165
7.5. Экспериментальная демонстрация усиления изображений без временного шума . . . . .	172
7.6. Эксперимент по усилению изображений без пространственного шума. . . . .	175
Список литературы . . . . .	181
<b>Глава 8. Обработка оптических изображений при генерации второй гармоники.</b> <i>Пьер Скотто, Пере Колет, Андриан Жакобо, Макси Сан Мигель</i> . . . . .	
8.1. Введение. . . . .	183
8.2. Обработка изображений при генерации второй гармоники; классическое рассмотрение. . . . .	185

8.2.1. Преобразование изображения с повышением частоты (187).	
8.2.2. Повышение контрастности и распознавание контура (189).	
8.2.3. Фильтрация шума (190).	
8.3. Квантовая обработка изображений при генерации второй гармоники типа I	192
8.3.1. Динамика операторов поля (192).	
8.3.2. Квантовая обработка изображений (197).	
8.4. Квантовая обработка изображений при генерации второй гармоники II-типа	204
8.4.1. Уравнения распространения (205).	
8.4.2. Линейная у-поляризованная накачка: режим добавления частоты (208).	
8.4.3. Накачка, поляризованная линейно под углом $45^\circ$ : преобразование с повышением частоты и усиление без шума (210).	
Список литературы	215
<b>Глава 9. Поперечное распределение квантовых флуктуаций в пространственных солитонах при свободном распространении. Эрик Ланц, Николя Тренс, Клод Фабр.</b>	
9.1. Введение	217
9.2. Общий метод	218
9.2.1. Уравнения распространения для флуктуаций (218).	
9.2.2. Метод функции Грина (219).	
9.2.3. Корреляции между фототоками (220).	
9.3. Пространственные солитоны: средние значения	222
9.3.1. $\chi^{(3)}$ скалярный пространственный солитон (222).	
9.3.2. $\chi^{(3)}$ векторный пространственный солитон (222).	
9.3.3. $\chi^{(2)}$ пространственный солитон (223).	
9.4. Сжатие во всем пучке	224
9.4.1. $\chi^{(3)}$ скалярный пространственный солитон (224).	
9.4.2. $\chi^{(3)}$ векторный солитон: сжатие во всем пучке и корреляции между поляризациями (225).	
9.4.3. $\chi^{(2)}$ пространственный солитон (227).	
9.5. Локальные квантовые флуктуации	227
9.5.1. $\chi^{(3)}$ скалярный пространственный солитон (228).	
9.5.2. Сжатие по интенсивности при пространственной фильтрации (230).	
9.5.3. $\chi^{(3)}$ векторный солитон (231).	
9.6. Квантовые корреляции между квадратурными компонентами поля в разных точках	232
9.6.1. $\chi^{(3)}$ скалярный пространственный солитон (232).	
9.6.2. Векторные солитоны (232).	
9.6.3. $\chi^{(2)}$ пространственные солитоны (233).	
9.7. Заключение	234
Список литературы	234
<b>Глава 10. Квантовые флуктуации в резонаторных солитонах. Жан-Лука Оппо, Джон Джефферс.</b>	
10.1. Введение	237
10.2. Резонаторные солитоны в вырожденном параметрическом генераторе света	238

10.2.1. Пространственные уравнения и доменные стенки с осциллирующими хвостами (238). 10.2.2. Резонаторные солитоны, формируемые захваченными доменными стенками (239).	
10.3. Квантовые флуктуации в ВПГС. . . . .	242
10.3.1. Представление Вигнера (242). 10.3.2. Q-представление (243).	
10.4. Массивы резонаторных солитонов, индуцированные квантовыми флуктуациями. . . . .	243
10.5. Квантовые особенности резонаторных солитонов в ближней и дальней зонах. . . . .	246
10.5.1. Квантовые корреляции резонаторных солитонов в ближней зоне (246). 10.5.2. Квантовые корреляции резонаторных солитонов в дальней зоне (248).	
10.6. Выводы и благодарности. . . . .	250
Список литературы. . . . .	251
<b>Глава 11. Квантовая голографическая телепортация и плотное кодирование оптических изображений. И. В. Соколов. . . . .</b>	<b>253</b>
11.1. Введение. . . . .	253
11.2. Сжатие и перепутывание в непрерывных переменных для пространственно многомодовых световых полей. . . . .	254
11.2.1. Пространственные масштабы квантовых корреляций в сжатом свете (254). 11.2.2. Пространственно многомодовое перепутывание (256).	
11.3. Квантовая голографическая телепортация оптических изображений. . . . .	258
11.3.1. Основы квантовой телепортации (259). 11.3.2. Оптическая схема для квантовой телепортации изображений (260). 11.3.3. Квантовая статистика телепортированных полей (261). 11.3.4. Полная и редуцированная верность голографической телепортации (268). 11.3.5. Квантовая голографическая телепортация и голография (272).	
11.4. Квантовое плотное кодирование оптических изображений. . . . .	273
11.4.1. Основы квантового плотного кодирования (274). 11.4.2. Оптическая схема для квантового плотного кодирования изображений (275). 11.4.3. Взаимная информация Шеннона для изображений (278). 11.4.4. Пропускная способность канала (280).	
11.5. Выводы и перспективы. . . . .	284
Список литературы. . . . .	288
<b>Глава 12. Орбитальный угловой момент света. Стефан М. Барнет, Роберта Замбрини. . . . .</b>	<b>291</b>
12.1. Введение. . . . .	291
12.2. Угловой момент в электромагнетизме. . . . .	292
12.2.1. Спиновый и орбитальный угловые моменты (294). 12.2.2. Угловой момент в параксиальной оптике (295). 12.2.3. Механические эффекты (296).	
12.3. Пучки света, обладающие орбитальным угловым моментом. . . . .	297
12.3.1. Фазовые сингулярности и пространственные свойства (297). 12.3.2. Пучки Лагерра–Гаусса и Бесселя (298). 12.3.3. Генерация	

---

и преобразование (300). 12.3.4. Другие пространственные профили поля (301). 12.3.5. Дробный орбитальный угловой момент (302).	
12.4. Угловой момент в квантовой оптике. . . . .	303
12.4.1. Состояния со спиновым и орбитальным угловыми моментами (303).	
12.4.2. Измерение орбитального углового момента (304).	
12.5. Угол и угловой момент . . . . .	306
12.5.1. Соотношение неопределенности для угла и углового момента (306).	
12.5.2. Умные состояния и состояния с минимальным произведением неопределенностей (307). 12.5.3. Передача информации (310).	
12.5.4. Измерения вращений (312).	
12.6. Орбитальный угловой момент в квантовой нелинейной оптике . . . . .	313
12.6.1. Фазовый синхронизм (314). 12.6.2. Генерация второй гармоники пучков Лагерра–Гаусса (314). 12.6.3. Преобразование частоты вниз и перепутывание (316). 12.6.4. Нелинейности высокого порядка (318).	
12.7. Заключение. . . . .	320
Список литературы . . . . .	320
Предметный указатель . . . . .	325