

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издательства	5
Литература	6
1. Введение	7
1.1. Какие величины нас интересуют?	7
1.2. Качественные результаты	8
2. Обзор применяемых математических методов	14
2.1. Связь квантовых и классических величин	14
2.2. Переменные, используемые в рассматриваемой задаче	16
2.3. Векторы смещения и диффузионные постоянные	18
2.4. Диссипативное уравнение движения для атомов и поля, не взаимодействующих между собой	19
2.5. Ланжевеновский подход к изучению марковских процессов	20
2.6. Модель мазера	22
2.7. Уравнение Фоккера — Планка для марковских процессов	24
2.8. Исключение переменных с помощью адиабатического приближения	25
2.9. Осциллятор Ван дер Поля	26
2.10. Спектр безразмерного уравнения для осциллятора Ван дер Поля в приближении волн вращающейся поляризации	27
2.11. Сравнение с результатами, полученными другими исследователями	30
3. Средние характеристики мазеров и лазеров	32
3.1. Взаимодействие между атомом и полем излучения	32
3.2. Модель мазера без источников шума	33
3.3. Условия стационарности	37
3.4. Устойчивость	42
3.5. Широкие атомные линии	48
3.6. Газовый лазер	48
3.7. Уравнение для скоростей	50
3.8. Пики фазы	50
3.9. Эффект Доплера в случае бегущих волн	54
3.10. Неоднородное уширение; стационарное состояние	56
3.11. Эффект Доплера в случае стоячих волн	62

4. Спектральные измерения и корреляции	74
4.1. Обычное определение шума	74
4.2. Классический фильтр	77
4.3. Обобщение на случай многих переменных	80
4.4. Квантовые измерения	81
4.5. Измерения корреляции интенсивности	83
4.6. Статистика фототока	85
5. Марковские процессы	85
5.1. Элементарный дробовой шум (процесс Пуассона)	86
5.2. Процесс генерации — рекомбинации	88
5.3. Определение и свойства марковских процессов	89
5.4. Уравнение движения для произвольной случайной переменной	91
5.5. Обобщенное уравнение Фоккера — Планка	95
5.6. Характеристическая функция	96
5.7. Связанные средние	98
5.8. Усреднение интегралов по траекториям	100
5.9. Линейное затухание и однородный шум	103
5.10. Обратное уравнение	105
6. Ланжевеновские процессы	106
6.1. Однородный шум с линейным затуханием	106
6.2. Общее рассмотрение дробового шума	109
6.3. Процесс Фоккера — Планка	113
6.4. Средние от произведений случайных переменных и источников шума для процессов Фоккера — Планка	117
6.5. Уравнение движения для произвольной функции случайных переменных для процессов Фоккера — Планка	120
6.6. Трансформационные свойства процессов Фоккера — Планка	121
7. Приближение волн вращающейся поляризации для осциллятора Ван дер Поля	124
7.1. Осциллятор с нелинейным сопротивлением	124
7.2. Коэффициенты диффузии	126
7.3. Каноническая форма осциллятора Ван дер Поля	128
7.4. Флуктуации фазы в осцилляторе с сопротивлением	129
7.5. Флуктуации амплитуды	135
7.6. Уравнение Фоккера — Планка	138
7.7. Собственные функции оператора Фоккера — Планка	139
8. Другие свойства процесса Фоккера — Планка	142
8.1. Детальное равновесие	142
8.2. Ортогональность	146
8.3. Полнота	148
8.4. Детальное равновесие, обратимость во времени и эрмитовость	149

9. Представление когерентных состояний	154
9.1. Когерентное состояние	154
9.2. Нормировка и неортогональность	154
9.3. Полнота [67]	156
9.4. Шпур оператора	157
9.5. Шпур нормально упорядоченного оператора	158
10. Уравнения для оператора плотности	160
10.1. Определение	160
10.2. Уравнение движения для матрицы плотности	161
11. Динамическое соответствие классического и квантового подходов	163
11.1. Усреднение зависящих от времени величин	163
11.2. Уравнение регрессии	165
11.3. Усреднение операторов, относящихся к двум различным моментам времени	169
11.4. Усреднение величин, относящихся к трем различным моментам времени	170
11.5. Усреднение величин, относящихся к многим различным моментам времени	172
11.6. Флуктуации при фотодетектировании	173
12. Квантовая теория поглощения	175
12.1. Уравнение для оператора плотности системы	175
12.2. Уравнение движения для произвольного оператора	179
12.3. Получение матрицы коэффициентов диффузии с помощью соотношения Эйнштейна	181
13. Затухающий гармонический осциллятор	183
13.1. Уравнения движения для средних величин	183
13.2. Источники шума	185
13.3. Применимость уравнений для операторов и перестановочных соотношений	187
14. Уравнения движения для атома	189
14.1. Уравнения движения для средних значений	189
14.2. Атомные коэффициенты диффузии	193
15. Связанные системы: независимые резервуары	195
16. Стохастическая модель лазера	198
17. Случай широкой атомной линии	205
17.1. Исключение оператора перехода σ с помощью адiabатического приближения	205
17.2. Векторы смещения и новые ланжевенковские силы	208

17.3. Коэффициент диффузии	210
17.4. Флуктуации числа фотонов	214
17.5. Уравнение Фоккера — Планка для диагональных элементов матрицы плотности	216
17.6. Сохранение перестановочных соотношений	218
17.7. Уравнение движения для произвольного оператора	221
17.8. Уравнение Фоккера — Планка для величин b , b^+ , N_1 , N_2	226
17.9. Уравнение для ρ в операторной форме	228
17.10. Матрица плотности в n -представлении	230
17.11. Флуктуации поля и населенностей: соответствующий «классический» случайный процесс	231
17.12. Флуктуации поля: исключение величин N_1 и N_2 с помощью адиабатического приближения	233
17.13. Ланжевеновское уравнение для поля при произвольных рабочих уровнях	235
17.14. Область вблизи порога	237
17.15. Безразмерная форма уравнения для осциллятора Ван дер Поля в приближении волн вращающейся поляризации	238
18. Флуктуации при фотодетектировании	241
18.1. Общие замечания	241
18.2. Предел малых времен	243
18.3. Флуктуации при фотодетектировании ниже порога возбуждения	249
18.4. Простая релаксационная модель	257
18.5. Приближение Райса — Мандела	261
Литература	264

ПРИЛОЖЕНИЯ

М. Лэкс, М. Цванцигер. Точная функция счета фотонов для лазера вблизи порога	268
Литература	275
Г. Хакен. Излучение лазера — новый пример фазового перехода	277
Литература	295