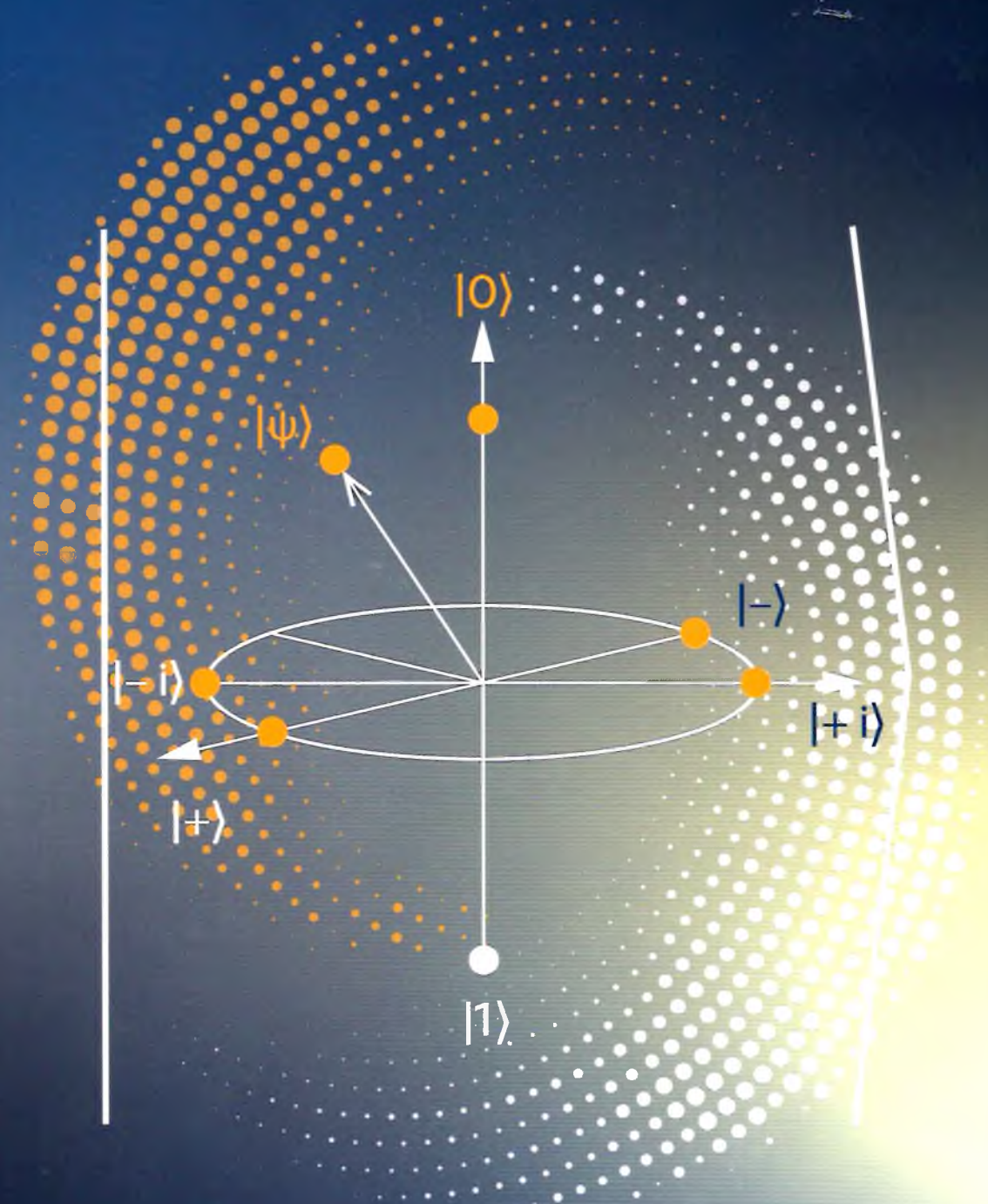




Ю.И. Богданов, Н.А. Богданова, В.Ф. Лукичёв

Введение в квантовые информационные технологии

2-е издание

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие профессора С.П. Кулика	13
--	----

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ

Введение.....	17
---------------	----

ГЛАВА 1.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... 31

1.1. Менделеев, рождение квантовой механики и оценка требований к квантовым компьютерам.....	31
1.2. Закон Мура и развитие информационных технологий	38
1.3. Блеск и нищета современной физики	40
1.4. Алгоритм Шора и некоторые другие квантовые алгоритмы	41
1.5. Кубит vs бит (логический анализ)	44
1.6. Представление состояния кубита на сфере Блоха	47
1.7. Квантовое измерение и квантовый скачок	49
1.8. Системы кубитов и квантовая запутанность.....	50
1.9. Общие требования, необходимые для реализации квантовых компьютеров	54
Выводы к главе 1	56

ГЛАВА 2.

ТРИ КИТА, НА КОТОРЫХ ДЕРЖИТСЯ МИР КВАНТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ..... 58

2.1. Объективная случайность	59
2.2. Принцип дополнительности.....	63
2.3. Квантовая запутанность, разложение Шмидта и формализм матрицы плотности.....	66
Выводы к главе 2	70

ГЛАВА 3.

ВЗАИМНО-ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КООРДИНАТНОЕ И ИМПУЛЬСНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ 71

3.1. Статистическая интерпретация прямого и обратного преобразований Фурье. Координатное и импульсное распределения	71
3.2. Принцип дополнительности Н. Бора по отношению к координатному и импульсному распределениям.....	73
3.3. Характеристическая функция. Вычисление среднего и моментов. Неполнота классической и полнота квантовой статистики.....	75
3.4. Операторы координаты и импульса в координатном и импульсном представлении. Фундаментальные коммутационные соотношения	78
3.5. Взаимно-дополнительные распределения в опыте Юнга	79
Выводы к главе 3	81
Приложение. Дельта-функция и её свойства.....	82

ГЛАВА 4.

ТОЧНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКЕ 84

4.1. Неравенство Коши – Буняковского для векторов состояния и его статистическая интерпретация	84
4.2. Неравенство Коши – Буняковского в приложении к случайным величинам.....	86
4.3. Соотношение неопределённостей Гейзенберга для координаты и импульса.....	87
4.4. Соотношение неопределённостей Шрёдингера – Робертсона.....	89

4.5. Многомерное соотношение неопределённостей	91
4.6. Информация Фишера	93
4.7. Неравенство Рао – Крамера	93
4.8. Многомерное неравенство Рао – Крамера и корневая оценка	96
Выводы к главе 4	98

ГЛАВА 5.

ПРИНЦИПЫ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ И

ШЕСТАЯ ПРОБЛЕМА ГИЛЬБЕРТА

5.1. Постулаты квантовой информатики	99
5.2. Шестая проблема Гильберта	106
5.3. Обсуждение	108
Выводы к главе 5	109

ГЛАВА 6.

КВАНТОВАЯ ИНФОРМАТИКА И КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

6.1. Корневой подход к исследованию механических систем	112
6.2. Иллюстрация квазиквантового метода моделирования	117
Выводы к главе 6	119

ГЛАВА 7.

ОСНОВНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ

ИНФОРМАТИКИ И ИХ СВОЙСТВА

7.1. Квантовые биты	121
7.2. Реализация произвольного состояния кубита посредством унитарного поворота	126
7.3. Система кубитов	127
7.4. Измерение кубитов	128
7.5. Простейшие квантовые логические элементы	129
7.6. Преобразование Уолша – Адамара	132
7.7. Теорема о невозможности клонирования неизвестного квантового состояния	132
7.8. Состояния Белла	134
7.9. Парадокс (эффект) Эйнштейна – Подольского – Розена	135
Выводы к главе 7	136

ГЛАВА 8.

НЕРАВЕНСТВО БЕЛЛА И МЕХАНИСТИЧЕСКИЙ РЕАЛИЗМ

8.1. О статистической природе неравенств Белла	137
8.2. Неравенство Белла как мнимый парадокс между статистикой и квантовой механикой	141
8.3. Восстановление гипотетического совместного распределения в задаче Белла: подход с использованием разложения по сингулярным значениям	143
8.4. Связь между квазивероятностями и формализмом матрицы плотности: томографическое описание квантовых состояний	149
8.5. Задача о существовании гипотетического совместного распределения для несовместимых наблюдаемых без использования неравенств. Модель Кошена – Шпеккера	153
8.6. Трёхкубитовые квантовые состояния Гринбергера – Хорна – Цайлингера	156
Выводы к главе 8	159

ГЛАВА 9.

НЕКОТОРЫЕ АЛГОРИТМЫ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ

9.1. Сверхплотное кодирование	161
-------------------------------------	-----

9.2.	Телепортация	163
9.3.	Квантовый параллелизм. Алгоритмы Дойча и Дойча – Джозсы	165
9.4.	Квантовое преобразование Фурье	171
9.5.	Нахождение периода функции	174
9.6.	Факторизация чисел.....	177
9.7.	Квантовая криптография	180
9.8.	Алгоритм Гровера	183
9.9.	Введение в квантовое исправление ошибок	186
	Выводы к главе 9	189

ГЛАВА 10.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КУБИТОВ	190
10.1. Кубит на спиновом магнитном резонансе	191
10.2. Поляризационный кубит	196
10.2.1. Спиральность электромагнитного поля.....	196
10.2.2. Когерентное состояние электромагнитного поля в резонаторе.....	198
10.2.3. Поляризационное преобразование, задаваемое оптической фазовой пластинкой	202
10.3. Квантовые компьютеры на основе ионов в ловушках.....	203
10.3.1. Ионы в ловушках.....	204
10.3.2. Взаимодействие иона в ловушке с электромагнитным полем	205
10.4. Сверхпроводниковый кубит	211
10.4.1. Эффект Джозефсона. Уравнения для джозефсоновского перехода.....	212
10.4.2. Джозефсоновский переход под токовым смещением (управлением). Уравнение маятника	213
10.4.3. Квантование квазимеханической системы	216
10.4.4. Фазовый кубит.....	217
10.4.5. Измерение фазового кубита.....	218
10.4.6. Взаимодействие кубитов	219
10.5. Кубиты на основе квантовых точек	220
10.5.1. Квантовые точки в резонаторе	220
10.5.2. Теория Флоке (квантовая точка в резонаторе на лазерных качелях)	223
10.5.3. Квантовые преобразования	225
10.6. Квантовый компьютер на NV-центрах в алмазе	227
Приложение. Описание поляризационных преобразований в квантовой физике и классической поляризационной оптике	228
Выводы к главе 10	230

ЧАСТЬ II.

АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

ГЛАВА 11.

КОРНЕВАЯ ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ	233
11.1. Метод максимального правдоподобия и информационная матрица Фишера.....	234
11.2. Корневой подход к оцениванию плотности. Пси-функция и уравнение правдоподобия.....	237
11.3. Статистические свойства корневых оценок.....	239
11.4. Некоторые наборы базисных состояний.....	241
11.5. Набор плотностей распределений, обобщающий гауссово распределение.....	244
11.6. Аппроксимация распределений с тяжёлыми хвостами. Волновая функция, приводящая к распределениям Пирсона IV типа и базисный набор на её основе.....	255
Выводы к главе 11	264

**ГЛАВА 12.**

УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД КВАНТОВОЙ ТОМОГРАФИИ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРОЦЕДУРЕ ОЧИЩЕНИЯ	267
12.1. Процедура очищения и алгоритм статистического восстановления квантовых состояний	268
12.2. Точность восстановления квантовых состояний	272
12.3. Примеры численного статистического моделирования	282
Выводы к главе 12	284

ГЛАВА 13.

КВАНТОВЫЕ ШУМЫ И КАЧЕСТВО КВАНТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ	285
13.1. Квантовые операции и квантовые шумы	287
13.2. Амплитудная и фазовая релаксация состояний кубитов	296
13.3. Математическое моделирование квантовых операций	302
13.4. Динамика запутанности в квантовых операциях	312
Выводы к главе 13	318

ГЛАВА 14.

ТОМОГРАФИЯ ОПТИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ	319
14.1. Основные принципы томографии оптических квантовых состояний	319
14.2. Базисный набор функций и примеры его использования	322
14.3. Реконструкция квантового состояния и информация, содержащаяся в квантовых измерениях	327
14.4. Критерий адекватности томографического эксперимента	329
Выводы к главе 14	330
<i>Приложение. Описание поляризационных преобразований в квантовой физике и классической поляризационной оптике</i>	<i>331</i>

ГЛАВА 15.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНО-ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КВАДРАТУРНЫХ КВАНТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	345
15.1. Измерение квадратурной наблюдаемой	346
15.2. Статистическое восстановление квантовых состояний	348
15.3. Примеры численных экспериментов	351
Выводы к главе 15	355
<i>Приложение. Дробное преобразование Фурье</i>	<i>355</i>

ГЛАВА 16.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ ФОТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПАУНД-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА И КВАДРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	359
16.1. Введение	359
16.2. Производящие функции, статистика фотонов и корреляции	361
16.3. Условные распределения, отвечающие вычитанию (отщеплению) фотонов	366
16.4. Квадратурные распределения	369
16.5. Делитель пучка: перевод одномерного распределения в двумерное распределение, корреляция каналов	375
16.6. Многоуровневая иерархия компаунд-распределений Пуассона	377
16.7. Сжатый вакуум: производящие и корреляционные функции	380
16.8. Некоторые дополнительные свойства производящих функций и распределений	381
Выводы к главе 16	383

ГЛАВА 17.**ТОМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ****КВАНТОВЫХ СИСТЕМ 384**

17.1. Описание метода 386

17.2. Примеры применения метода 390

Выводы к главе 17 396

Приложение. Диффузионный метод Монте-Карло моделирования
*квантовых систем 397***ГЛАВА 18.****ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ****МЕТОДАМИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ 401**18.1. Представление классических динамических систем на языке
квантовых статистических ансамблей 402

18.2. Описание на основе формализма Гамильтона – Якоби 405

18.3. Показатели Ляпунова для систем Лоренца и Рёсслера 410

Выводы к главе 18 413

ГЛАВА 19.**РАЗЛОЖЕНИЕ ШМИДТА И АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ****РАСПРЕДЕЛЕНИЙ 415**

19.1. SVD-разложение и моды Шмидта 415

19.2. Гауссовы корреляции. Коэффициент корреляции Шмидта 416

19.3. Термодинамическая интерпретация 418

19.4. Сравнение результатов аналитических и численных расчётов 420

19.5. Число Шмидта и коэффициент корреляции 421

Выводы к главе 19 424

Приложение 1. Физическая реализация запутанных состояний
*посредством двух связанных гармонических осцилляторов 424**Приложение 2. Вывод формулы для разложения Шмидта*
*в модели гауссовых корреляций 425**Приложение 3. Вывод формулы для энтропии запутанности*
*в модели гауссовых корреляций 426***ГЛАВА 20.****ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ****ЭКСПЕРИМЕНТОВ «КОТОРЫЙ ПУТЬ» С МИКРОЧАСТИЦАМИ 428**20.1. Расширение квантовой системы путём добавления новой
переменной. Запутанность с окружением как средство ограничения
квантовой суперпозиции 431

20.2. Моды Шмидта 434

20.3. Дифракция на экране с произвольным числом щелей 436

20.4. Информационные аспекты задачи дифракции 437

20.5. Моделирование потери когерентности посредством запутанности
со вспомогательной квантовой системой (анциллой) 43920.6. Видность интерференционной картины и когерентность
состояний окружения 442

20.7. Реализация запутывания между различными степенями свободы 443

20.7.1. Поляроиды в щелях 443

20.7.2. Использование частотно-координатного запутывания 444

20.7.3. Ридберговские атомы в резонаторах 444

Выводы к главе 20 451

ЛИТЕРАТУРА 452