

Оглавление

Об авторе	16
Благодарности	17
О научных редакторах	18
Предисловие	20
Для кого я написал эту книгу	22
О чем пойдет речь в книге	23
Справочная информация	26
Условные обозначения, используемые в книге	26
От издательства	27
Глава 1. Почему именно квантовые вычисления	28
1.1. Загадочный квантовый бит	29
1.2. Я проснулся!	31
1.3. В чем особенность квантовых вычислений	34
1.4. Применение в сфере искусственного интеллекта	36
1.5. Применение в сфере финансовых услуг	43
1.6. Как насчет криптографии?	47
1.7. Итоги главы	50
Список источников	51

Часть I Основные принципы

Глава 2. Не старье, а классика	54
2.1. Что находится внутри компьютера	54
2.2. Степень двойки	62

2.3. Истина или ложь?	63
2.4. Логические схемы	66
2.5. Сложение, логически	69
2.6. Говоря алгоритмически	72
2.7. Рост, экспоненциальный и не только	73
2.8. Насколько это будет трудно?	75
2.8.1. Сортировка	75
2.8.2. Поиск	83
2.9. Итоги главы	86
Список источников	87
Глава 3. Больше чисел, чем вы можете себе представить	88
3.1. Натуральные числа	88
3.2. Неотрицательные числа	91
3.3. Целые числа	93
3.4. Рациональные числа	97
3.4.1. Обыкновенные дроби	97
3.4.2. И снова формализуем	102
3.5. Вещественные числа	105
3.5.1. Десятичные дроби	106
3.5.2. Иррациональные числа и пределы	109
3.5.3. Двоичные формы	112
3.5.4. Цепные дроби	115
3.6. Структура	120
3.6.1. Группы	120
3.6.2. Кольца	124
3.6.3. Поля	125
3.6.4. Еще большая абстракция	126
3.7. Модульная арифметика	127
3.8. Удвоение ставок	129
3.9. Комплексные числа, алгебраически	130
3.9.1. Арифметика	130
3.9.2. Сопряжение	132

3.9.3. Единичные элементы	133
3.9.4. Многочлены и корни	134
3.10. Итоги главы	138
Список источников	139
Глава 4. Плоскости, окружности и сферы. О боже!	141
4.1. Функции	141
4.2. Вещественная плоскость	145
4.2.1. Переход к двум размерностям	145
4.2.2. Расстояние и длина	146
4.2.3. Геометрические фигуры на вещественной плоскости	149
4.2.4. Экспоненты и логарифмы	154
4.3. Тригонометрия	157
4.3.1. Основополагающие функции	157
4.3.2. Обратные функции	160
4.3.3. Дополнительные тождества	163
4.4. От декартовых координат к полярным	163
4.5. Комплексная «плоскость»	164
4.6. Три размерности	168
4.7. Итоги главы	169
Список источников	169
Глава 5. Размерности	170
5.1. \mathbb{R}^2 и \mathbb{C}^1	171
5.2. Векторные пространства	176
5.3. Линейные отображения	179
5.3.1. Алгебраическая структура линейных преобразований	180
5.3.2. Пример линейных преобразований на \mathbb{R}^2	181
5.4. Матрицы	187
5.4.1. Обозначения и терминология	187
5.4.2. Матрицы и линейные отображения	191
5.5. Матричная алгебра	199
5.5.1. Арифметика матриц общего вида	200
5.5.2. Арифметика квадратных матриц	202

5.6. Прямое произведение	210
5.7. Длина и ее сохранение	211
5.7.1. Скалярные произведения	211
5.7.2. Внутренние произведения	212
5.7.3. Евклидова норма	214
5.7.4. Снова отражения	216
5.7.5. Унитарные преобразования	219
5.7.6. Системы линейных уравнений	222
5.8. Смена базиса	225
5.9. Собственные векторы и собственные значения	228
5.10. Прямые суммы	234
5.11. Гомоморфизмы	236
5.11.1. Гомоморфизм групп	237
5.11.2. Кольцевые и полевые гомоморфизмы	238
5.11.3. Векторно-пространственные гомоморфизмы	239
5.12. Итоги главы	241
Список источников	241
Глава 6. Что имеется в виду под вероятностью	242
6.1. Дискретность	242
6.2. Более формально	245
6.3. Опять неверно?	247
6.4. Вероятность и обнаружение ошибок	248
6.5. Случайность	250
6.6. Ожидание	252
6.7. Марков и Чебышев идут в казино	255
6.8. Итоги главы	259
Список источников	260

Часть II

Квантовые вычисления

Глава 7. Один кубит	262
7.1. Введение в квантовые биты	262

7.2. Обозначения бра и кет	266
7.3. Комплексная математика и физика одного-единственного кубита	271
7.3.1. Представление квантового состояния	272
7.3.2. Отображение унитарных матриц в стандартную форму	275
7.3.3. Матрица плотности	276
7.3.4. Квантовые наблюдаемые и ожидание	277
7.4. Нелинейная проекция	279
7.5. Сфера Блоха	286
7.6. Профессор Адамар, позвольте представить вам профессора Паули	291
7.6.1. Квантовый вентиль X	292
7.6.2. Квантовый вентиль Z	294
7.6.3. Квантовый вентиль Y	295
7.6.4. Квантовый вентиль ID	296
7.6.5. Квантовый вентиль H	297
7.6.6. Квантовый вентиль R_{ϕ}^z	298
7.6.7. Квантовый вентиль S	299
7.6.8. Квантовый вентиль S^{\dagger}	300
7.6.9. Квантовый вентиль T	301
7.6.10. Квантовый вентиль T^{\dagger}	301
7.6.11. Квантовые вентили R_{ϕ}^x и R_{ϕ}^y	302
7.6.12. Квантовый вентиль $\sqrt{\text{NOT}}$	302
7.6.13. Квантовая операция сброса в $ 0\rangle$	303
7.7. Вентили и унитарные матрицы	303
7.8. Итоги	304
Список источников	305
Глава 8. Два кубита, три	306
8.1. Тензорные произведения	306
8.2. Запутанность	312
8.2.1. Переход от одного кубита к двум	312
8.2.2. Общий случай	318
8.2.3. Снова матрица плотности	320

8.3. Многокубитные вентили	321
8.3.1. Квантовый вентиль $H^{\otimes n}$	321
8.3.2. Квантовый вентиль SWAP	325
8.3.3. Квантовый вентиль CNOT/CX	326
8.3.4. Квантовые вентили CY и CZ	329
8.3.5. Квантовый вентиль CR_{ϕ}^z	330
8.3.6. Квантовый вентиль CCNOT Тоффоли	330
8.3.7. Квантовый вентиль CSWAP Фредкина	331
8.4. Итоги главы	332
Список источников	332
Глава 9. Подключение схем	333
9.1. Так много вентиляей	333
9.2. От вентиляей к схемам	334
9.2.1. Конструирование схемы	334
9.2.2. Примечание о контролируемых вентиляях	338
9.3. Строительные блоки и универсальность	340
9.3.1. Вентиль Тоффоли	341
9.3.2. Строительство более сложных схем	344
9.3.3. Копирование кубита	345
9.3.4. Телепортация	347
9.4. Арифметика	350
9.5. Добро пожаловать в Дельфы	357
9.6. Амплитудное усиление	360
9.6.1. Знаковая инверсия	361
9.6.2. Инверсия вокруг среднего значения	363
9.7. Поиск	367
9.7.1. Поисковый алгоритм Гровера	367
9.7.2. Использование оракула	369
9.7.3. Понимание оракула	371
9.7.4. Проблема с данными	374
9.8. Алгоритм Дойча — Йожи	374
9.8.1. Еще немного математики Адамара	376
9.8.2. Еще одна оракульная схема	378

9.9. Алгоритм Саймона	383
9.9.1. Задача	383
9.9.2. Схема	385
9.9.3. Анализ результатов работы схемы	387
9.10. Итоги главы	391
Список источников	391
Глава 10. От схем к алгоритмам	393
10.1. Квантовое преобразование Фурье	393
10.1.1. Корни из единицы	394
10.1.2. Формула	398
10.1.3. Схема	402
10.2. Факторизация	404
10.2.1. Задача факторизации	405
10.2.2. Большие целые числа	406
10.2.3. Классическая факторизация: базовые методы	407
10.2.4. Классическая факторизация: продвинутые методы	413
10.3. Насколько это может быть трудно, опять же	415
10.4. Фазовое оценивание	419
10.5. Исчисление порядка и периода	425
10.5.1. Модульное возведение в степень	427
10.5.2. Схема	429
10.5.3. Часть с цепной дробью	431
10.6. Алгоритм Шора	433
10.7. Итоги главы	434
Список источников	434
Глава 11. Обретение физической формы	437
11.1. Он не является логическим	437
11.2. Что нужно для того, чтобы быть кубитом?	439
11.3. Свет и фотоны	441
11.3.1. Фотоны	441
11.3.2. Двухщелевой эксперимент	445
11.3.3. Поляризация	448

11.4. Декогеренция	451
11.4.1. T_1	451
11.4.2. T_2 и T_2^*	454
11.4.3. Чистые состояния против смешанных	458
11.5. Исправление ошибок	460
11.5.1. Исправление битовых инверсий	461
11.5.2. Исправление знаковой инверсии	463
11.5.3. Девятикубитный код Шора	463
11.5.4. Соображения по общей отказоустойчивости	465
11.6. Квантовый объем	466
11.7. Стек программного обеспечения и доступ к нему	470
11.8. Симуляция	472
11.8.1. Кубиты	472
11.8.2. Вентили	474
11.8.3. Измерение	475
11.8.4. Схемы	477
11.8.5. Кодирование симулятора	477
11.9. Кот	478
11.10. Итоги главы	481
Список источников	481
Глава 12. Вопросы о будущем	484
12.1. Экосистема и сообщество	484
12.2. Приложения и стратегия	486
12.3. Доступ	488
12.4. Программное обеспечение	489
12.5. Аппаратное обеспечение	491
12.6. Образование	492
12.7. Ресурсы	494
12.8. Итоги главы	495
Список источников	495
Послесловие	496

Приложения

Приложение А. Краткий справочник	498
А.1. Часто встречающиеся кеты	498
А.2. Квантовые вентили и операции	499
Приложение Б. Символы	502
Б.1. Греческие буквы	502
Б.2. Математические обозначения и операции	503
Приложение В. О некоммерческих лицензиях и правах на использование	505
В.1. Некоммерческая лицензия с указанием авторства Creative Commons Attribution 3.0 Unported (CC BY 3.0)	505
В.2. Некоммерческая лицензия с указанием авторства Creative Commons Attribution-NoDerivs 2.0 Generic (CC BY-ND 2.0)	506
В.3. Некоммерческая лицензия с указанием авторства Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0)	506
В.4. Лос-Аламосская национальная лаборатория	507
В.5. Товарные знаки	507