

УДК 519.588
ББК 22.314
X42

Хидари Дж. Д.
Х42 Квантовые вычисления: прикладной подход / пер. с англ. В. А. Яроцкого. –
М.: ДМК Пресс, 2021. – 370 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-890-6

В этой книге исследуются квантовые вычисления – развивающаяся платформа, которая фундаментально отличается от вычислений на современных цифровых платформах. И хотя полномасштабное использование квантовых компьютеров еще впереди, готовиться к этому будущему важно уже сейчас.

Книга состоит из трех частей. В первой показано, на чем основывается проектирование квантовых компьютеров и схем и какие проблемы могут быть решены с помощью квантовых вычислений. Вторая часть предназначена для читателей, которые хотят углубиться в программирование, обеспечивающее работу этих новых компьютеров: здесь приводятся и подробно разбираются примеры кода (в основном на языке Python), излагается концепция квантового превосходства. В третьей части рассмотрен набор инструментов, критически важных при осуществлении квантовых вычислений.

Издание адресовано программистам, преподавателям технических вузов, а также представителям компаний, заинтересованных во внедрении передовых технологий.

УДК 519.588
ББК 22.314

First published in English under the title *Quantum Computing: An Applied Approach* by Jack D. Hidary, edition: 1. This edition has been translated and published under licence from Springer Nature Switzerland AG. Springer Nature Switzerland AG takes no responsibility and shall not be made liable for the accuracy of the translation. Russian language edition copyright © 2021 by ДМК Пресс. All rights reserved.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-3-030-23921-3 (англ.)
ISBN 978-5-97060-890-6 (рус.)

© Springer Nature Switzerland AG, 2019
© Оформление, издание, перевод,
ДМК Пресс, 2021

Содержание

Памяти переводчика Василия Анатольевича Яроцкого	9
Предисловие	11
Благодарности.....	14
Навигация по этой книге	16
От издательства.....	18
 Часть I. ОСНОВЫ	 19
Глава 1. Суперпозиция, запутанность и обратимость	20
Глава 2. Краткая история квантовых вычислений	27
Глава 3. Кубиты, операторы и измерения.....	33
Диаграммы квантовых схем	37
3.1. Квантовые операторы.....	37
Унарные операторы.....	38
Бинарные операторы	42
Тернарные операторы.....	44
3.2. Сравнение с классическими вентилями	46
3.3. Универсальность квантовых операторов	47
3.4. Теоремы Готтесман–Книлла и Соловья–Китаева	47
3.5. Сфера Блоха	48
3.6. Постулат измерения.....	49
3.7. Вычисления на месте	51
 Глава 4. Сложность теории.....	 54
4.1. Задачи против алгоритмов.....	54
4.2. Сложность времени.....	55
4.3. Классы сложности	57
4.4. Квантовые вычисления и тезис Черча–Тьюринга	60
 Часть II. АППАРАТУРА И ПРИЛОЖЕНИЯ	 62
Глава 5. Построение квантового компьютера	63
5.1. Оценка квантового компьютера	64
5.2. Нейтральный атом	65
5.3. Ядерный магнитный резонанс	67
5.4. Центр NV в алмазе	68
5.5. Фотоника	68
Полупроводниковый квантовый транзистор	70
Топологический фотонный чип	70

5.6. Спиновые кубиты.....	71
5.7. Сверхпроводящие кубиты	73
5.8. Топологические квантовые вычисления.....	74
5.9. Захваченный ион	74
5.10. Резюме	76

Глава 6. Библиотеки разработки для квантового компьютерного программирования

6.1. Квантовые компьютеры и имитаторы	78
6.2. Библиотека Cirq.....	80
6.3. Библиотека Qiskit	82
6.4. Библиотека Forest.....	85
6.5. Библиотека QDK	87
6.6. Резюме по библиотекам разработки	90
Использование библиотек разработки	90
Другие библиотеки разработки	91
6.7. Дополнительные квантовые программы	91
Состояния Белла	91
Вентили с параметрами	93

Глава 7. Телепортация, сверхплотное кодирование и неравенство Белла

7.1. Квантовая телепортация.....	96
7.2. Сверхплотное кодирование	99
7.3. Код квантовой телепортации и сверхплотной связи.....	100
7.4. Тест неравенства Белла	103
7.5. Резюме.....	107

Глава 8. Канон: пошаговые руководства по коду

8.1. Алгоритм Дойча–Джозса (DJ).....	110
8.2. Алгоритм Бернштейна–Вазирани	117
Алгоритм Бернштейна–Вазирани.....	118
8.3. Задача Саймона.....	120
8.4. Квантовое преобразование Фурье	121
8.5. Алгоритм Шора	123
Криптография RSA.....	123
Период функции	125
Период функции как вход в алгоритм факторизации	126
8.6. Алгоритм поиска Гровера.....	138
8.7. Резюме.....	141

Глава 9. Методы квантовых вычислений

9.1. Вариационный квантовый собственный решатель.....	142
VQE с шумом	147
Более сложные анзацы	148
9.2. Квантовая химия.....	150
9.3. Алгоритм квантовой приближенной оптимизации (QAOA)	155
Пример реализации QAOA	158
9.4. Машинное обучение на квантовых процессорах	165

9.5. Квантовая оценка фазы	170
Реализация QPE	173
9.6. Решение линейных систем уравнений	176
Описание алгоритма HHL	178
Пример реализации алгоритма HHL	180
9.7. Квантовый генератор случайных чисел	187
9.8. Квантовые блуждания	189
Реализация квантового блуждания	191
9.9. Резюме	197

Глава 10. Приложения и квантовое превосходство

10.1. Приложения	198
Квантовое моделирование и химия	198
Выборка из вероятностных распределений	199
Ускорение линейной алгебры с помощью квантовых компьютеров	199
Оптимизация	199
Тензорные сети	199
10.2. Квантовое превосходство	199
Случайная выборка схемы	200
Другие задачи демонстрации квантового превосходства	205
Квантовое преимущество	205
10.3. Будущие направления	205
Квантовая коррекция ошибок	205
Занимаемся физикой с помощью квантовых компьютеров	206
10.4. Заключение	207

Часть III. ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Глава 11. Математические инструменты

для квантовых вычислений I

11.1. Введение и самопроверка	209
11.2. Линейная алгебра	211
Векторы и обозначения	211
Основные векторные операции	212
Норма вектора	216
Скалярное произведение	219
11.3. Комплексные числа и внутреннее произведение	222
Комплексные числа	222
Внутреннее произведение как усовершенствование скалярного произведения	224
Представление комплексного числа в полярных координатах	229
11.4. Первый взгляд на матрицы	236
Основные матричные операции	236
Матрица идентичности	243
Транспонирование, сопряжение и отслеживание	245
Возведение матриц в степень	252
11.5. Внешнее произведение и тензорное произведение	253
Внешнее произведение как способ построения матриц	253
Тензорное произведение	255
11.6. Теория множеств	258
Основы теории множеств	258

Декартово произведение	261
Отношения и функции	261
Важные свойства функций	267
11.7. Определение линейного преобразования	271
11.8. Как построить векторное пространство с нуля	273
Группы	274
Поля	280
Определение векторного пространства	285
Подпространства	288
11.9. Интервал, линейная независимость, основы и размерность	290
Интервал	290
Линейная независимость	292
Базис и размерность	294
Ортонормированный базис	297
Определение ортонормированного базиса	298

Глава 12. Математический инструментарий

для квантовых вычислений II	299
12.1. Линейные преобразования как матрицы	299
12.2. Матрицы как операторы	304
Введение в определитель	305
Геометрия определителя	308
Инверсии матрицы	310
12.3. Собственные векторы и собственные значения	317
Изменение базиса	319
12.4. Дальнейшее исследование внутренних произведений	322
Дельта-функция Кронекера как внутреннее произведение	325
12.5. Эрмитовы операторы	325
Почему мы не можем измерять комплексными числами	326
Эрмитовы операторы имеют действительные собственные значения	327
12.6. Унитарные операторы	329
12.7. Прямая сумма и тензорное произведение	330
Прямая сумма	330
Тензорное произведение	333
12.8. Гильбертово пространство	336
Метрики, последовательности Коши и полнота	336
Аксиоматическое определение внутреннего продукта	340
Определение гильбертова пространства	341
12.9. Кубит как гильбертово пространство	342

Глава 13. Математические инструменты

для квантовых вычислений III	346
13.1. Булевы функции	346
13.2. Логарифмы и экспоненты	347
13.3. Формула Эйлера	349

Глава 14. Таблицы квантовых операторов и основных схем352

Библиография	355
---------------------------	------------