

УДК 519.588
ББК 22.314
К15

Кайзер С., Гранад К.
К15 Изучаем квантовые вычисления на Python и Q# / пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 430 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-935-4

Технологический прорыв, связанный с распространением квантовых компьютеров, уже не за горами. В этой книге технологии будущего обсуждаются с практической стороны: комплект инструментов от компании Microsoft и язык Q# предоставляют вам возможность поупражняться в квантовых вычислениях.

В части I вы создадите симулятор квантового устройства на языке Python, в части II научитесь применять новые навыки написания квантовых приложений с помощью языка Q# и Комплекта инструментов для квантовой разработки, а в части III – имплементировать алгоритм, который умножает целые числа экспоненциально быстрее, чем самый лучший из известных стандартных алгоритмов.

Издание предназначено для разработчиков программного обеспечения. Предварительного опыта работы с квантовыми вычислениями, а также знания математики или физики на продвинутом уровне не требуется.

УДК 519.588
ББК 22.314

Original English language edition published by Manning Publications USA, USA. Russian-language edition copyright © 2021 by DMK Press. 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 978-1-6172-9613-0 (англ.)
ISBN 978-5-97060-935-4 (рус.)

© Manning Publications, 2021
© Перевод, оформление, издание, ДМК Пресс, 2021

Содержание

Вводное слово.....	12
Предисловие.....	14
Признательности.....	16
О книге.....	18
Об авторах.....	23
Об иллюстрации на обложке.....	24

Часть I ПРИСТУПАЕМ К РАБОТЕ С КВАНТОМ..... 25

1 Введение в квантовые вычисления	26
1.1 Почему квантовые вычисления имеют значение?	27
1.2 Что такое квантовый компьютер?.....	29
1.3 Как мы будем использовать квантовые компьютеры?	32
1.3.1 Что квантовые компьютеры могут делать?.....	34
1.3.2 Чего квантовые компьютеры не могут делать?	36
1.4 Что такое программа?	38
1.4.1 Что такое квантовая программа?	40
Резюме	40

2 Кубиты: строительные блоки.....	42
2.1 Зачем нужны случайные числа?	43
2.2 Что такое классические биты?	47
2.2.1 Что можно делать с классическими битами?	49
2.2.2 Абстракции – наши друзья	52
2.3 Кубиты: состояния и операции.....	54
2.3.1 Состояние кубита	54
2.3.2 Игра в операции	57
2.3.3 Измерение кубитов	61

2.3.4	Обобщение измерения: независимость от базиса	66
2.3.5	Симулирование кубитов в исходном коде	69
2.4	Программирование рабочего QRNG-генератора	75
	Резюме	82

3	Обмен секретами с помощью квантового распределения ключей	83
3.1	В любви и шифровании все средства хороши	83
3.1.1	Квантовые операции NOT	87
3.1.2	Обмен классических битов с кубитами	91
3.2	Сказка о двух базисах	93
3.3	Квантовое распределение ключей: BB84	97
3.4	Использование секретного ключа для отправки секретных сообщений	102
	Резюме	105

4	Нелокальные игры: работа с несколькими кубитами	107
4.1	Нелокальные игры	107
4.1.1	Что такое нелокальные игры?	108
4.1.2	Тестирование квантовой физики: игра CHSH	108
4.1.3	Классическая стратегия	112
4.2	Работа с многокубитовыми состояниями	113
4.2.1	Реестры	114
4.2.2	Почему трудно симулировать квантовые компьютеры?	116
4.2.3	Тензорные произведения для подготовки состояний	118
4.2.4	Тензорные произведения для кубитовых операций на реестрах	120
	Резюме	124

5	Нелокальные игры: имплементирование многокубитового симулятора	125
5.1	Квантовые объекты в QuTiP	126
5.1.1	Модернизация симулятора	132
5.1.2	Измерение: как измерить несколько кубитов?	136
5.2	Игра CHSH: квантовая стратегия	140
	Резюме	145

6	Телепортация и запутанность: перемещение квантовых данных с места на место	146
6.1	Перемещение квантовых данных	147
6.1.1	Обменные операции в симуляторе	150
6.1.2	Какие еще существуют двухкубитовые вентили?	154

6.2	Все одиночные (однокубитовые) повороты.....	157
6.2.1	Привязка поворотов к координатам: операции Паули	159
6.3	Телепортация	167
	Резюме	170
	Часть I: заключение	171

Часть II ПРОГРАММИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ АЛГОРИТМОВ НА Q#..... 172

7 *Перевес в другую пользу: введение в язык программирования Q#*..... 173

7.1	Введение в Комплект инструментов для квантовой разработки	174
7.2	Функции и операции в Q#.....	178
7.2.1	Игры с квантовыми генераторами случайных чисел на Q#.....	178
7.3	Передача операций в качестве аргументов	185
7.4	Игра Морганы на Q#	191
	Резюме	194

8 *Что такое квантовый алгоритм*..... 195

8.1	Классические и квантовые алгоритмы	196
8.2	Алгоритм Дойча–Йожи: умеренные улучшения для проведения поиска.....	199
8.2.1	Владычица (квантового) озера	199
8.3	Оракулы: представление классических функций в квантовых алгоритмах.....	205
8.3.1	Преобразования Мерлина	206
8.3.2	Обобщение наших результатов	210
8.4	Симулирование алгоритма Дойча–Йожи на Q#.....	216
8.5	Размышления о квантово-алгоритмических техниках.....	220
8.5.1	Ботинки и носки: применение и откат квантовых операций.....	220
8.5.2	Использование инструкций Адамара для переворачивания управления и цели.....	224
8.6	Фазовая отдача: ключ к нашему успеху.....	226
	Резюме	231

9 *Квантовая телеметрия: это не просто фаза*..... 232

9.1	Фазовое оценивание: использование полезных свойств кубитов для измерения	233
9.1.1	Часть и частичное применение.....	233
9.2	Пользовательские типы	238

9.3	Беги, змейка, беги: выполнение Q# из Python	246
9.4	Собственные состояния и локальные фазы	252
9.5	Контролируемое применение: превращение глобальных фаз в локальные фазы	257
9.5.1	Управление любой операцией	261
9.6	Имплементирование лучшей стратегии Ланселота для игры с оцениванием фазы	264
	Резюме	267
	Часть II: заключение	268

Часть III ПРИКЛАДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ..... 269

10 *Решение химических задач с помощью квантовых компьютеров*..... 270

10.1	Реальные химические приложения для квантовых вычислений	270
10.2	Много путей ведут к квантовой механике	273
10.3	Использование гамильтониан для описания эволюции квантовых систем во времени	276
10.4	Поворачивание вокруг произвольных осей с помощью операций Паули	282
10.5	Внесение изменений, которые мы хотим видеть в системе	291
10.6	Претерпевающая (очень малые) изменения	293
10.7	Окончательная сборка	296
	Резюме	303

11 *Поиск с помощью квантовых компьютеров* 304

11.1	Поиск по неструктурированным данным	305
11.2	Отражение вокруг состояний	312
11.2.1	Отражение вокруг состояния «все единицы»	313
11.2.2	Отражение вокруг произвольного состояния	315
11.3	Имплементирование поискового алгоритма Гровера	321
11.4	Оценивание ресурсов	330
	Резюме	336

12 *Арифметика с помощью квантовых компьютеров*..... 337

12.1	Включение квантовых вычислений в обеспечение безопасности	338
------	--	-----

12.2	Подключение модульной математики к факторизации	343
12.2.1	Пример факторизации с использованием алгоритма Шора	347
12.3	Классическая алгебра и факторизация	348
12.4	Квантовая арифметика	353
12.4.1	Сложение с помощью кубитов	354
12.4.2	Умножение с кубитами в суперпозиции	355
12.4.3	Модульное умножение в алгоритме Шора	359
12.5	Окончательная сборка	363
	Резюме	368
	Заключение	369
	Приложение А. Инсталлирование требуемого программно-информационного обеспечения	372
	Приложение В. Глоссарий и краткий справочник	381
	Приложение С. Памятка по линейной алгебре	394
	Приложение D. Разведывательный анализ алгоритма Дойча–Йожи на примере	409
	Предметный указатель	422