

Spis treści

Podziękowania ix

Wstęp xi

1 Spin 1

Zegar Kwantowy 6

Pomiary w tym samym kierunku 7

Pomiary w różnych kierunkach 7

Pomiary 9

Przypadkowość 10

Fotony i polaryzacja 11

Wnioski 15

2 Algebra liniowa 17

Liczby zespolone kontra liczby rzeczywiste 18

Wektory 19

Diagramy wektorów 19

Długość wektorów 20

Mnożenie przez skalar 21

Dodawanie wektorów 21

Wektory ortogonalne 23

Mnożenie bra przez ket 23

Bra-ket i długość wektorów 24

Bra-ket i ortogonalność 24

Bazy ortonormalne 25

Wektory jako kombinacje liniowe wektorów bazowych 27

Uporządkowane bazy 29

Długość wektorów 30

Macierze 30

Obliczenia na macierzach 33

Macierze ortogonalne i unitarne	34
Narzędzia algebry liniowej	35

3 Spiny i kubity 37

Teoria prawdopodobieństwa	37
Matematyka spinu kwantowego	38
Równoważne wektory stanu	41
Baza powiązana z danym kierunkiem spinu	43
Obrót aparatury pomiarowej o 60°	45
Model matematyczny dla polaryzacji fotonu	46
Baza odpowiadająca danemu kierunkowi polaryzacji	47
Eksperymenty z filtrami polaryzacyjnymi	47
Kubity	49
Alicja, Bob i Ewa	50
Amplitudy prawdopodobieństwa i interferencja	53
Alicja, Bob i protokół BB84	54

4 Splątanie kwantowe 57

Kubity Alicji i Boba nie są splątane	58
Obliczenia dla kubitów niesplątanych	60
Obliczenia dla kubitów splątanych	61
Komunikacja superluminalna	63
Baza standardowa dla iloczynów tensorowych	65
Jak się splątuje kubity?	66
Splątanie kubitów z użyciem bramki CNOT	68
Splątane zegary kwantowe	69

5 Nierówność Bella 73

Splątane kubity w różnych bazach	75
Dowód, że $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ równa się $\frac{1}{\sqrt{2}} b_0\rangle \otimes b_0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} b_1\rangle \otimes b_1\rangle$	76
Einstein i realizm lokalny	78
Einstein i zmienne ukryte	79
Klasyczne wyjaśnienie splątania kwantowego	80
Nierówność Bella	82
Odpowiedź mechaniki kwantowej	82
Odpowiedź klasyczna	84
Pomiar	87
Protokół Ekerta i kwantowa dystrybucja kluczy	89

6 Logika klasyczna. Bramki. Obwody	91
Logika	92
Negacja	92
Koniunkcja	93
Alternatywa	93
Algebra boolowska	94
Równoważność logiczna	95
Operatory funkcjonalnie zupełne	97
Nand	99
Bramki logiczne	101
Bramka NOT	101
Bramka AND	102
Bramka OR	102
Bramka NAND	103
Obwody	103
NAND jako bramka uniwersalna	104
Bramki logiczne i obliczenia	105
Pamięć	107
Obliczenia odwracalne	107
Bramka negacji kontrolowanej	109
Bramka Toffoliego	111
Bramka Fredkina	113
Obliczenia prowadzone za pomocą kul bilardowych	115
7 Kwantowe bramki logiczne i obwody	121
Kubity	122
Bramka CNOT	122
Kwantowe bramki logiczne	124
Kwantowe bramki logiczne działające na jeden kubit	125
Bramki I i Z	125
Bramki X i Y	126
Bramka Hadamarda	126
Czy istnieją uniwersalne bramki kwantowe?	127
Twierdzenie o nieklonowaniu	128
Obliczenia kwantowe kontra klasyczne obliczenia	130
Obwód Bella	131
Kodowanie supergęste	133
Kwantowa teleportacja	136
Korekcja błędów	140
Kod powtarzany	141
Kwantowa korekcja odwrócenia bitów	142

8	Algorytmy kwantowe	147
	Klasy złożoności P i NP	148
	Czy algorytmy kwantowe są szybsze od klasycznych?	150
	Złożoność zapytań	151
	Algorytm Deutscha	152
	Iloczyn Kroneckera macierzy Hadamarda	156
	Algorytm Deutscha-Jozsy	159
	Algorytm Simona	164
	Bitowe dodawanie sekwencji modulo 2	164
	Sformułowanie problemu Simona	165
	Iloczyn skalarny i macierz Hadamarda	166
	Macierze Hadamarda a problem Simona	167
	Obwód kwantowy dla problemu Simona	169
	Klasyczna część algorytmu Simona	172
	Klasy złożoności obliczeniowej	174
	Algorytmy kwantowe	176
9	Znaczenie obliczeń kwantowych	179
	Algorytm Shora i kryptoanaliza	180
	Szyfrowanie RSA	180
	Algorytm Shora	182
	Algorytm Grovera i przeszukiwanie danych	184
	Algorytm Grovera	184
	Zastosowania algorytmu Grovera	186
	Chemia i symulacja	189
	Sprzęt	191
	Wyżarzanie kwantowe	193
	Supremacja kwantowa i wszechświaty równoległe	195
	Obliczenia	196
	Indeks	199