

Spis treści

Przedmowa	XI
Część I. Teoria	1
1 Funkcja falowa	3
1.1 Równanie Schrödingera	3
1.2 Interpretacja statystyczna	4
1.3 Prawdopodobieństwo	8
1.3.1 Zmienne dyskretne	8
1.3.2 Zmienne ciągłe	12
1.4 Normalizacja	15
1.5 Pęd	17
1.6 Zasada nieoznaczoności	20
Dodatkowe zadania do rozdziału 1	22
2 Niezależne od czasu równanie Schrödingera	27
2.1 Stany ustalone	27
2.2 Nieskończona kwadratowa studnia kwantowa	33
2.3 Oscylator harmoniczny	42
2.3.1 Metoda algebraiczna	44
2.3.2 Metoda analityczna	51
2.4 Częstka swobodna	59
2.5 Studnia potencjału w kształcie funkcji delta	66
2.5.1 Stany związane i stany rozproszeniowe	66
2.5.2 Studnia potencjału w kształcie funkcji delta Diraca	68
2.6 Skończona kwadratowa studnia potencjału	75
Dodatkowe zadania do rozdziału 2	82
3 Formalizm	97
3.1 Przestrzeń Hilberta	97
3.2 Obserwable	100
3.2.1 Operatory hermitowskie	100
3.2.2 Stany zdeterminowane	102
3.3 Funkcje własne operatora hermitowskiego	104
3.3.1 Widma dyskretne	104
3.3.2 Widmo ciągłe	106
3.4 Uogólniona interpretacja statystyczna	109

3.5	Zasada nieoznaczoności	112
3.5.1	Dowód ogólnej zasady nieoznaczoności	112
3.5.2	Pakiet falowy minimalizujący zasadę nieoznaczoności	115
3.5.3	Zasada nieoznaczoności energii-czasu	116
3.6	Wektory i operatory	121
3.6.1	Bazy w przestrzeni Hilberta	121
3.6.2	Notacja Diraca	125
3.6.3	Zmiana bazy w notacji Diraca	129
	Dodatkowe zadania do rozdziału 3	131
4	Mechanika kwantowa w trzech wymiarach	139
4.1	Równanie Schrödingera	139
4.1.1	Współrzędne sferyczne	141
4.1.2	Równanie kątowe	142
4.1.3	Równanie radialne	147
4.2	Atom wodoru	151
4.2.1	Radialna funkcja falowa	152
4.2.2	Widmo wodoru	164
4.3	Moment pędu	166
4.3.1	Wartości własne	166
4.3.2	Funkcje własne	172
4.4	Spin	175
4.4.1	Spin $1/2$	177
4.4.2	Elektron w polu magnetycznym	182
4.4.3	Dodawanie momentów pędu	186
4.5	Oddziaływania elektromagnetyczne	191
4.5.1	Minimalne sprzężenie	191
4.5.2	Efekt Aharonova–Bohma	193
	Dodatkowe zadania do rozdziału 4	197
5	Identyczne cząstki	209
5.1	Systemy dwucząstkowe	209
5.1.1	Bozony i fermiony	212
5.1.2	Siły wymiany	214
5.1.3	Spin	217
5.1.4	Uogólniona zasada symetryzacji	218
5.2	Atomy	221
5.2.1	Hel	222
5.2.2	Układ okresowy	225
5.3	Ciała stałe	228
5.3.1	Gaz elektronów swobodnych	229
5.3.2	Struktura pasmowa	233
	Dodatkowe zadania do rozdziału 5	239
6	Symetrie i prawa zachowania	245
6.1	Wstęp	245
6.1.1	Transformacja w przestrzeni	246
6.2	Operator translacji	248
6.2.1	Jak działa operator translacji	249
6.2.2	Symetria translacyjna	252

6.3	Prawa zachowania	256
6.4	Parzystość	257
6.4.1	Parzystość w jednym wymiarze	257
6.4.2	Parzystość w trzech wymiarach	259
6.4.3	Reguły wyboru parzystości	261
6.5	Symetria obrotowa	262
6.5.1	Obrót wokół osi z	262
6.5.2	Obroty w trzech wymiarach	264
6.6	Degeneracja	267
6.7	Reguły wyboru obrotów	270
6.7.1	Reguły wyboru dla operatorów skalarnych	270
6.7.2	Zasady wyboru dla operatorów wektorowych	273
6.8	Translacja w czasie	278
6.8.1	Obraz Heisenberga	279
6.8.2	Niezmiennosc translacji w czasie	282
	Dodatkowe zadania do rozdziału 6	284
Część II. Zastosowania		293
7	Rachunek zaburzeń zależnych od czasu	295
7.1	Rachunek zaburzeń bez degeneracji	295
7.1.1	Ogólne sformułowanie	295
7.1.2	Rachunek pierwszego rzędu	297
7.1.3	Energie drugiego rzędu	301
7.2	Rachunek zaburzeń z degeneracją	303
7.2.1	Podwójna degeneracja	303
7.2.2	„Dobre” stany	309
7.2.3	Degeneracja wyższego rzędu	311
7.3	Struktura subtelna wodoru	313
7.3.1	Korekta relatywistyczna	314
7.3.2	Sprężenie spinowo-orbitalne	317
7.4	Efekt Zeemana	322
7.4.1	Efekt Zeemana w słabym polu	323
7.4.2	Efekt Zeemana w silnym polu	326
7.4.3	Efekt Zeemana w średnim polu	327
7.5	Rozszczepienie nadsubtelne dla wodoru	329
	Dodatkowe zadania do rozdziału 7	332
8	Zasada wariacyjna	347
8.1	Teoria	347
8.2	Stan podstawowy helu	353
8.3	Jon wodoru cząsteczkowego	357
8.4	Cząsteczka wodoru	362
	Dodatkowe zadania do rozdziału 8	368
9	Przybliżenie WKB	377
9.1	Obszar „klasyczny”	378
9.2	Zjawisko tunelowania	382
9.3	Warunki zszycia	387
	Dodatkowe zadania do rozdziału 9	395

10	Rozpraszanie	401
10.1	Wstęp	401
10.1.1	Klasyczna teoria rozpraszania	401
10.1.2	Kwantowa teoria rozpraszania	404
10.2	Analiza fal składowych	406
10.2.1	Formalizm	406
10.2.2	Strategia	409
10.3	Przesunięcia fazowe	411
10.4	Przybliżenie Borna	414
10.4.1	Całkowa postać równania Schrödingera	414
10.4.2	Pierwsze przybliżenie Borna	418
10.4.3	Szeregi Borna	422
	Dodatkowe zadania do rozdziału 10	423
11	Dynamika kwantowa	429
11.1	Układy dwustanowe	430
11.1.1	Układ zaburzony	431
11.1.2	Rachunek zaburzeń zależny od czasu	433
11.1.3	Zaburzenia sinusoidalne	436
11.2	Emisja i absorpcja promieniowania	439
11.2.1	Fale elektromagnetyczne	439
11.2.2	Pochłanianie, emisja wymuszona i emisja spontaniczna	440
11.2.3	Zaburzenia niekoherentne	442
11.3	Emisja spontaniczna	445
11.3.1	Współczynniki A i B Einsteina	445
11.3.2	Czas życia stanu wzbudzonego	447
11.3.3	Reguły wyboru	449
11.4	Złota reguła Fermiego	451
11.5	Przybliżenie adiabatyczne	456
11.5.1	Proces adiabatyczny	456
11.5.2	Twierdzenie adiabatyczne	458
	Dodatkowe zadania do rozdziału 11	463
12	Posłowie	477
12.1	Paradoks EPR	478
12.2	Twierdzenie Bella	480
12.3	Stany mieszane i macierz gęstości	486
12.3.1	Stany czyste	486
12.3.2	Stany mieszane	488
12.3.3	Podsystemy	490
12.4	Twierdzenie o nieklonowaniu	491
12.5	Kot Schrödingera	493
	Dodatek Algebra liniowa	497
A.1	Wektory	497
A.2	Iloczyn wewnętrzny	500
A.3	Macierze	501
A.4	Zmiana bazy	507
A.5	Wektory własne i wartości własne	509
A.6	Transformacje hermitowskie	516