

目次

第 0 章 抽象化された自然観への序説	1
0.1 粒子の干渉	1
0.2 本書の読み方—記号「♠」について	4
0.3 本書で用いる記号	5
第 1 章 古典物理学の破綻	7
1.1 原子の大きさと安定性	7
1.2 電子のスピンまたは光子の偏光の測定	8
1.3 ベルの不等式	9
第 2 章 基本的枠組み	11
2.1 古典論の基本的枠組み	11
2.2 量子論の基本的枠組み	12
2.3 自由度	15
2.4 閉じた系 / 開いた系	15
2.5 ♠ 純粋状態と混合状態	16
第 3 章 閉じた有限自由度系の純粋状態の量子論	19
3.1 基本的な考え方	19
3.1.1 公理あるいは要請	19
3.1.2 抽象的な量による記述	20
3.2 複素ヒルベルト空間	21
3.3 量子状態	24
3.4 演算子とその固有値・固有ベクトル	26
3.5 自己共役演算子と可観測量	28
3.6 自己共役演算子の固有値	31
3.7 正規直交完全系と波動関数 – 離散固有値の場合	33
3.8 ブラとケット	37
3.9 射影演算子	40
3.10 スペクトル分解と演算子の関数	42
3.11 ボルンの確率規則 – 離散固有値の場合	44
3.12 期待値	46

3.13	状態の重ね合わせと干渉効果	47
3.14	正規直交完全系と波動関数 – 連続固有値の場合	48
3.15	ボルの確率規則 – 連続固有値の場合	52
3.16	ゆらぎ	55
3.17	交換関係と不確定性原理	57
3.18	♠♠ いろいろな不確定性関係	60
3.19	同時固有ベクトル	61
3.20	交換する物理量の完全集合とヒルベルト空間の選択	62
3.21	閉じた量子系の時間発展 – シュレディンガー方程式	65
3.22	エネルギー固有状態	66
3.22.1	エネルギー固有状態の時間発展	66
3.22.2	一般の状態の時間発展	67
3.22.3	確率の保存	69
3.23	測定直後の状態 – 射影仮説	70
3.24	射影仮説について	71
3.24.1	状態の用意	72
3.24.2	理想測定とは何か?	72
3.24.3	♠ 非ユニタリー発展	73
3.24.4	♠♠ 連続スペクトルの場合	73
第 4 章	有限自由度系の正準量子化	75
4.1	♠ 古典解析力学	75
4.2	正準量子化	77
4.3	正準交換関係のシュレディンガー表現	79
4.4	♠♠ フォン・ノイマンの一意性定理	82
4.5	行列表示	84
4.6	♠♠ 正準量子化の曖昧さ	85
4.7	♠♠ 無限次元ヒルベルト空間の注意 – 強収束と弱収束	87
第 5 章	1次元空間を運動する粒子の量子論	91
5.1	1次元空間を運動する粒子のシュレディンガー方程式	91
5.2	シュレディンガーの波動関数に対する種々の条件	93
5.3	1次元自由粒子	95
5.4	ド・ブロイの関係式	97
5.5	連続固有値に属する固有関数のラベル付けの注意	99
5.6	1次元井戸型ポテンシャル – 無限に高い障壁	100
5.6.1	解き方	100
5.6.2	解	101

5.6.3	エネルギーの量子化	103
5.7	重ね合わせの例	105
5.8	不確定性原理による基底準位の見積もり	106
5.9	水素原子	107
5.10	1次元井戸型ポテンシャル—有限の高さの障壁	108
5.10.1	$0 \leq E < V_0$ の場合	109
5.10.2	$E \geq V_0$ の場合	110
5.11	波束	111
5.12	確率の流れ	113
5.13	トンネル効果	116
5.14	調和振動子	118
第 6 章	時間発展について	123
6.1	外場のかかった系の時間発展	123
6.2	時間発展演算子	124
6.2.1	一般論	124
6.2.2	ハミルトニアンが時間に依存しない場合	125
6.2.3	♠♠ ハミルトニアンが時間に依存する場合	126
6.3	ハイゼンベルク描像	127
6.3.1	シュレディンガー描像からハイゼンベルク描像への移行	128
6.3.2	ハイゼンベルクの運動方程式	128
6.3.3	保存則	129
6.4	♠ いわゆる「時間とエネルギーの不確定性関係」	130
第 7 章	場の量子化—場の量子論入門	133
7.1	♠♠ 場の古典解析力学	133
7.2	♠ 場の正準量子化入門	136
7.3	♠♠ 有限自由度系との違い	139
第 8 章	ベルの不等式	141
8.1	遠く離れた 2 地点での実験	141
8.2	離れた地点での実験データの間の相関	143
8.3	局所性と因果律	145
8.4	局所实在論による記述	145
8.5	ベルの不等式	147
8.6	♠♠ 交換する物理量の同時測定の量子論	148
8.7	♠ 量子論によるベルの不等式の破れ	150
8.8	ベルの不等式の意義	153

第 9 章 基本変数による記述のまとめ	155
9.1 ♠ 基本変数	155
9.2 ♠♠ 基本変数を用いた古典論の基本的仮定と枠組み	157
9.3 ♠♠ 基本変数を用いた量子論の基本的仮定と枠組み	158
物理学を志す人が本書の後に学ぶべき事	161
付録 A 複素数と複素ベクトル空間	163
A.1 複素数	163
A.2 複素ベクトル空間	165
付録 B 行列	167
付録 C 問題解答	169
索引	173