

## 目次

## まえがき

第 I 章 量子力学の物理的基礎 .....	1
1. 実験的背景 .....	1
1, 1. 古典物理学の破綻 .....	2
1, 2. 主要な実験と考え方の概括 .....	3
2. 前期量子論 .....	4
2, 1. Bohr-Sommerfeld の量子化の規則 .....	4
2, 2. 実用上の難点 .....	5
2, 3. 考え方の上での難点 .....	5
2, 4. 量子力学の考え方 .....	7
3. 不確定性と相補性 .....	7
3, 1. 不確定性原理 .....	8
3, 2. 相補性原理 .....	9
3, 3. 実験についての制限 .....	10
4. 測定についての吟味 .....	10
4, 1. 位置測定の実験 .....	10
4, 2. 運動量決定の実験 .....	12
4, 3. 回析実験の分析 .....	13
4, 4. 回析実験の吟味 .....	14
5. 空間及び時間についての波束 .....	15
5, 1. 空間についての波束 .....	16
5, 2. 時間についての波束 .....	17
5, 3. 理論の波動形式 .....	18
問 題 .....	19
第 II 章 Schrödinger の波動方程式 .....	21
6. 波動方程式をつくること .....	21
6, 1. 伝播する調和振動波 .....	22
6, 2. 波動方程式の必要性 .....	22
6, 3. 一次元の波動方程式 .....	23
6, 4. 三次元への拡張 .....	24
6, 5. 外力を含む場合 .....	25

7. 波動函数の解釈 .....	26
7, 1. 統計的解釈 .....	26
7, 2. $\psi$ の規格化 .....	27
7, 3. 確率の流れの密度 .....	29
7, 4. 期 待 値 .....	30
7, 5. Ehrenfest の定理 .....	31
8. エネルギーの固有函数 .....	33
8, 1. 波動方程式の分離 .....	33
8, 2. 分離常数 $E$ の意味 .....	34
8, 3. 遠方における境界条件 .....	34
8, 4. 連 続 条 件 .....	35
8, 5. 無限大のポテンシャルエネルギーに対する条件 .....	35
8, 6. 一次元でのエネルギー固有値 .....	37
8, 7. 離散的なエネルギー準位 .....	39
8, 8. 連続的なエネルギー固有値 .....	40
8, 9. 三次元での離散的固有値と連続的固有値 .....	40
9. 一次元の井戸型ポテンシャル .....	41
9, 1. 完全剛体の壁 .....	42
9, 2. 有限な階段ポテンシャル .....	43
9, 3. エネルギー準位 .....	44
9, 4. 偶 奇 性 .....	46
9, 5. 簡単化された解き方 .....	47
問 題 .....	48
第Ⅲ章 固有函数と固有値 .....	49
10. 波動函数の解釈に関する要請とエネルギー固有函数 .....	49
10, 1. 演算子としての力学変数 .....	49
10, 2. 固有函数による展開 .....	50
10, 3. 全エネルギーの演算子 .....	51
10, 4. 箱を用いた規格化 .....	51
10, 5. エネルギー固有函数の規格直交性 .....	52
10, 6. エネルギー固有値の実数性 .....	54
10, 7. エネルギー固有函数による展開 .....	54
10, 8. 完 備 性 .....	55
10, 9. 確率函数と期待値 .....	56

目次	11
10, 10. Schrödinger 方程式の一般解	57
11. 運動量の固有函数	58
11, 1. 固有函数の形	58
11, 2. 箱を用いた規格化	58
11, 3. Dirac の $\delta$ 函数	59
11, 4. $\delta$ 函数の表し方	60
11, 5. $\delta$ 函数を用いた規格化	61
11, 6. $\delta$ 函数の性質	61
11, 7. 完備性	62
11, 8. 運動量固有函数による展開	63
11, 9. 確率函数と期待値	63
12. 自由な波束の一次元運動	64
12, 1. 不確定性の積の最小値	65
12, 2. 最小波束の形	66
12, 3. 運動量固有函数による展開係数	67
12, 4. 最小波束の時間による変化	68
12, 5. 古典論的極限	69
問題	70
第IV章 離散的な固有値：エネルギー準位	72
13. 線型調和振動子	72
13, 1. 解の漸近的な振舞い	72
13, 2. エネルギー準位	73
13, 3. 零点エネルギー	75
13, 4. 偶奇性	75
13, 5. Hermite の多項式	75
13, 6. 調和振動子の波動函数	76
13, 7. 古典論との対応	78
13, 8. 振動する波束	80
14. 三次元の球対称なポテンシャル	82
14, 1. 波動方程式の分離	83
14, 2. Legendre の多項式	84
14, 3. 球面調和函数	85
14, 4. 偶奇性	87
14, 5. 角運動量	87

15. 三次元の井戸型ポテンシャル .....	89
15, 1. 角運動量 0 の場合の解 .....	90
15, 2. 任意の $l$ に対する内部の解 .....	91
15, 3. 任意の $l$ に対する外部の解 .....	93
15, 4. エネルギー準位 .....	94
16. 水 素 原 子 .....	95
16, 1. 換 算 質 量 .....	95
16, 2. 漸 近 形 .....	96
16, 3. エネルギー準位 .....	97
16, 4. Laguerre の多項式 .....	99
16, 5. 水素原子の波動函数 .....	100
16, 6. 縮 退 .....	101
16, 7. 拋物線座標での分離 .....	102
16, 8. エネルギー準位 .....	103
16, 9. 波 動 函 数 .....	105
問 題 .....	105
第 V 章 連続固有値：衝突の理論 .....	108
17. 一次元の箱型ポテンシャルの障壁 .....	108
17, 1. 波動函数の漸近的な振舞い .....	109
17, 2. 規 格 化 .....	109
17, 3. 散乱係数 .....	110
18. 三次元での衝突 .....	112
18, 1. 散乱の断面積 .....	113
18, 2. 実験室系と重心系での散乱角の関係 .....	114
18, 3. 実験室系と重心系での散乱断面積の関係 .....	116
18, 4. 散乱角の $\gamma$ による変化 .....	117
18, 5. 波動函数の漸近形 .....	118
18, 6. 波動函数の規格化 .....	119
19. 球対称ポテンシャルによる散乱 .....	120
19, 1. 漸 近 形 .....	120
19, 2. 散乱の微分断面積 .....	122
19, 3. 散乱の全断面積 .....	123
19, 4. 位相のずれ .....	124
19, 5. $\delta_l$ の計算 .....	125

目次	13
19, 6. $\delta_l$ と $V(r)$ の符号の関係	126
19, 7. Ramsauer-Townsend 効果	128
19, 8. 完全剛体球による散乱	129
19, 9. 井戸型ポテンシャルによる散乱	131
19, 10. 共鳴散乱	132
19, 11. 低エネルギーでの角分布	134
20. クーロン場による散乱	135
20, 1. 抛物線座標	135
20, 2. 合流型超幾何関数	136
20, 3. 散乱断面積と規格化	137
20, 4. 球座標での解	138
20, 5. 変形クーロン場	140
20, 6. 純粹のクーロン場に対する古典論的極限	141
問題	142
第VI章 量子力学の行列形式	144
21. 行列代数	144
21, 1. 行列の加法と乗法	145
21, 2. 零行列, 単位行列及び常数列	146
21, 3. 行列の跡, 行列式及び逆行列	146
21, 4. エルミット行列とユニタリー行列	147
21, 5. 行列の変換と対角化	147
21, 6. 無限次数の行列	149
22. 量子力学にあらわれる行列	150
22, 1. ユニタリーな変換行列	151
22, 2. ハミルトニアン行列	151
22, 3. エルミット行列としての力学変数	152
22, 4. ユニタリー行列としての波動関数	153
22, 5. $\mathbf{r}$ 表示	153
22, 6. 便利な一つの恒等式	154
23. 行列形式での運動方程式	155
23, 1. 行列の変化の時間的な割合	155
23, 2. 古典論のラグランジアンと Hamilton の運動方程式	156
23, 3. Poisson 括弧と交換関係の括弧記号	157
23, 4. 古典的な系の量子化	159

23, 5.	電磁場内の粒子の運動	159
23, 6.	交換関係の値を求めること	160
23, 7.	荷電粒子の速度と加速度	160
23, 8.	Lorentz の力	161
23, 9.	運動の恒量	162
23, 10.	偶奇性の演算子	163
23, 11.	エネルギー表示	163
23, 12.	ヴィリアルの定理	164
23, 13.	Dirac のブラ及びケット記法	165
24.	角 運 動 量	165
24, 1.	角運動量の定義	165
24, 2.	無限小回転を用いた定義	166
24, 3.	表示のえらび方	167
24, 4.	行列要素間の関係	168
24, 5.	$M_z$ の固有値	169
24, 6.	$\mathbf{M}^2$ の固有値; $L$ 行列	170
24, 7.	球面調和函数との関係	171
24, 8.	スピン角運動量	171
24, 9.	角運動量の合成	172
24, 10.	$(\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2)^2$ の固有値	173
	問 題	174
	第Ⅶ章 定常的な問題のための近似法	176
25.	定常的な摂動論	176
25, 1.	縮退のない場合	176
25, 2.	一次の摂動	177
25, 3.	二次の摂動	178
25, 4.	$\psi$ の規格化	179
25, 5.	振動子の摂動	180
25, 6.	縮退のある場合	180
25, 7.	一次の縮退を除くこと	181
25, 8.	二次の縮退を除くこと	182
25, 9.	水素の一次 Stark 効果	184
25, 10.	エネルギー準位の摂動	184
25, 11.	永久電気双極子のあらわれ方	186

26. Born 近似 .....	186
26, 1. 摂動近似 .....	187
26, 2. Green の関数 .....	188
26, 3. 自由粒子の Green 関数 .....	189
26, 4. 積分の計算 .....	189
26, 5. 散乱断面積 .....	191
26, 6. 部分波の摂動論的取扱 .....	192
26, 7. 位相のずれ .....	193
26, 8. 井戸型ポテンシャルによる散乱 .....	195
26, 9. Born 近似の有効限界 .....	196
26, 10. 遮蔽されたクーロン場による散乱 .....	197
27. 変分法 .....	198
27, 1. エネルギーの期待値 .....	199
27, 2. 励起状態への応用 .....	200
27, 3. ヘリウム基底状態 .....	201
27, 4. 電子間の相互作用のエネルギー .....	202
27, 5. パラメーター $Z$ の変分 .....	203
27, 6. van der Waals の相互作用 .....	204
27, 7. 摂動論による計算 .....	205
27, 8. 変分法による計算 .....	206
27, 9. 衝突問題に対する積分方程式 .....	207
27, 10. 位相のずれに対する変分原理 .....	209
27, 11. 角運動量 0 の場合 .....	211
28. WKB 近似 .....	212
28, 1. 古典論への極限 .....	213
28, 2. 近似解 .....	214
28, 3. 解の漸近的な性質 .....	215
28, 4. 転回点の近傍での解 .....	216
28, 5. 一次の転回点 .....	217
28, 6. 転回点での接続 .....	218
28, 7. 漸近的な接続公式 .....	219
28, 8. ポテンシャルの穴のエネルギー準位 .....	220
28, 9. 量子化の規則 .....	221
28, 10. 特定の境界条件 .....	222
問題 .....	223

第Ⅸ章 時間に関係する問題のための近似法 .....	226
29. 時間に関係する摂動論 .....	226
29, 1. 無摂動系の固有函数への展開 .....	226
29, 2. 一次の摂動 .....	228
29, 3. 物理的な解釈 .....	229
29, 4. 遷移確率 .....	230
29, 5. 散乱断面積 .....	231
29, 6. 調和振動による摂動 .....	232
29, 7. 二次の摂動 .....	232
29, 8. 一次の遷移の効果 .....	234
29, 9. 中間状態 .....	236
30. 非弾性衝突 .....	237
30, 1. 断面積の表式 .....	237
30, 2. 行列要素の計算 .....	238
30, 3. 微分及び全断面積 .....	239
30, 4. 霧箱中の飛跡の生成 .....	241
30, 5. 問題の定式化 .....	242
30, 6. $\mathbf{k}$ についての和の計算 .....	243
30, 7. 二次の行列要素 .....	243
30, 8. 断面積についての吟味 .....	244
31. 断熱近似と瞬間近似 .....	245
31, 1. 瞬間的なエネルギー固有函数への展開 .....	245
31, 2. 位相のえらび方 .....	247
31, 3. 断熱近似 .....	247
31, 4. 摂動論との関係 .....	248
31, 5. $H$ の不連続な変化 .....	249
31, 6. 瞬間近似 .....	249
31, 7. 瞬間的な攪乱 .....	250
31, 8. 振動子の攪乱 .....	251
問 題 .....	252