

第 1 巻 目 次

序 文
訳者まえがき

第 1 部 量子力学の形式とその解釈

第 1 章 量子論の起こり

§ 1. 序 説	3
I. 古典時代の終り	
§ 2. 古典理論物理学	4
§ 3. 微視的現象についての知識の進歩と物理学における量子の出現	6
II. 光の量子すなわち光子	
§ 4. 光電効果	9
§ 5. コンプトン効果	11
§ 6. 光量子と干渉の現象	14
§ 7. 結 び	16
III. 物質系における量子化	
§ 8. 原子スペクトルとラザフォードの古典的な模型の難点	17
§ 9. 原子のエネルギー準位の量子化	18
§ 10. 他の量子化の例：方向量子化	20
IV. 対応原理と前期量子論	
§ 11. 古典的な粒子論は不十分であること	22
§ 12. 対応原理	23
§ 13. リュードベリ定数の計算への対応原理の適用	24
§ 14. 古典力学の方程式のラグランジュとハミルトンの形式	25

§ 15. ボーア = ソンマーフェルトの量子化規則	28
§ 16. 前期量子論の成果とその限界	32
§ 17. 結 び	33

演 習 と 問 題

第 2 章 物質波とシュレーディンガー方程式

§ 1. 歴史的概観と後章の大体の計画	37
I. 物 質 波	
§ 2. 序 説	40
§ 3. 自由波束, 位相速度と群速度	41
§ 4. ゆるやかに変わる場における波束	44
§ 5. 原子のエネルギー準位の量子化	46
§ 6. 物質波の回折	47
§ 7. 物質の粒子的構造	48
§ 8. 波動 - 粒子二重性の普遍的性格	49
II. シュレーディンガー方程式	
§ 9. 物質粒子の数の保存法則	50
§ 10. 波動方程式の必要性とこの方程式に課せられた条件	51
§ 11. 演算子の概念	52
§ 12. 1 自由粒子の波動方程式	53
§ 13. スカラー・ポテンシャル内の粒子	55
§ 14. 電磁場のなかの荷電粒子	56
§ 15. 対応によってシュレーディンガー方程式をつくる一般的な規則	57
III. 時間を含まないシュレーディンガー方程式	
§ 16. 定常解を求めること	60
§ 17. 方程式の一般的な特性, エネルギー・スペクトルの性質	61

演 習 と 問 題

第 3 章 1 次元の量子系

§ 1. 序 説	65
----------------	----

I. 階段型ポテンシャル

§ 2. 概 説	66
§ 3. ポテンシャルの飛躍, 波動の反射と透過	67
§ 4. 無限に高いポテンシャル障壁	72
§ 5. 無限に深いポテンシャルの井戸, とびとびのスペクトル	73
§ 6. 有限な深さの井戸型ポテンシャル, 共鳴	74
§ 7. ポテンシャル障壁の透過, <トンネル> 効果	81

II. 1 次元のシュレーディンガー方程式の一般的性質

§ 8. ロンスキアンの性質	82
§ 9. 解の漸近的な挙動	84
§ 10. 固有値スペクトルの性質	88
§ 11. 非束縛状態: 波の反射と透過	89
§ 12. 束縛状態の節の個数	91
§ 13. 直交関係	92
§ 14. 偶奇性についての注意	94

演 習 と 問 題

第 4 章 波動 - 粒子二重性の統計的解釈と不確定性関係

§ 1. 序 説	97
I. 波動力学における波動関数の統計的解釈	
§ 2. 一つの粒子の位置と運動量の測定結果に関する確率	98
§ 3. 時間の経過におけるノルムの保存	100
§ 4. 流れの概念	102
§ 5. r あるいは p の関数の平均値	103
§ 6. 多粒子系への拡張	106
II. ハイゼンベルクの不確定性関係	
§ 7. 一つの量子的粒子の位置 - 運動量不確定性関係	109
§ 8. 位置 - 運動量不確定性関係の正確な表現	112
§ 9. 一般化: 共役変数間の不確定性関係	113
§ 10. 時間 - エネルギーの不確定性関係	114
§ 11. 光子に対する不確定性関係	116

III. 不確定性関係と測定の機構

§ 12. 測定操作中の制御できない乱れ	117
§ 13. 位置の測定	119
§ 14. 運動量の測定	122

IV. 量子論における現象の記述. 相補性と因果律

§ 15. 統計的解釈から生じる諸問題	125
§ 16. 微視的な現象の記述と相補性	127
§ 17. 相補変数, 共立変数	128
§ 18. 波動-粒子二重性と相補性	130
§ 19. 相補性と因果律	131

演習と問題

第5章 波動力学の形式論の展開とその解釈

§ 1. 序 説	135
----------	-----

I. エルミート演算子と物理量

§ 2. 波動関数の空間	136
§ 3. 平均値の定義	138
§ 4. ゆらぎのないことと固有値問題	140

II. とびとびのスペクトルの研究

§ 5. エルミート演算子の固有値と固有関数	142
§ 6. 直交規格化固有関数による波動関数の級数展開	144
§ 7. ノルムの有限な完全固有関数系をもつ演算子に対応する量の 測定結果の統計的分布	146

III. 一般の場合における測定結果の統計

§ 8. 連続スペクトルのむずかしさ, ディラックの δ 関数の導入	149
§ 9. 一般の場合の固有関数による級数展開	153
§ 10. 一般の場合における測定結果の統計的分布	157
§ 11. 連続スペクトルのもう一つの扱い方	159
§ 12. 注釈と例	162

IV. 波動関数の決定

§ 13. 測定の操作と波束の収縮, 理想測定	164
-------------------------	-----

§ 14. 交換するオブザーバブルと共立変数	166
§ 15. 交換するオブザーバブルの完全集合	169
§ 16. 純粋な場合と混合の場合	170

V. 交換子の代数とその応用

§ 17. 交換子の代数と基本交換子の性質	171
§ 18. 角運動量の交換関係	173
§ 19. 統計的分布の時間的変化, 運動の定数	174
§ 20. 運動の定数の例. エネルギー, 偶奇性	176

演習と問題

第6章 古典近似と WKB 法

I. 波動力学の古典的極限

§ 1. 概 説	179
§ 2. エーレンフェストの定理	181
§ 3. 波束の運動と拡散	182
§ 4. シュレーディンガー方程式の古典的極限	186
§ 5. クーロン散乱への応用. ラザフォードの式	190

II. WKB 法

§ 6. この方法の原理	193
§ 7. 1次元における WKB 法	193
§ 8. WKB 近似が成り立つための条件	195
§ 9. 限界点と接続公式	196
§ 10. ポテンシャル障壁の透過	198
§ 11. 井戸型ポテンシャルのエネルギー準位	199

演習と問題

第7章 量子論の形式的一般論

A. 数学的な枠組

§ 1. 重ね合わせの原理とベクトルによる力学的状態の表現	203
-------------------------------	-----

I. ベクトルと演算子

§ 2. ベクトル空間, ケットベクトル	204
§ 3. 双対空間, ブラベクトル	206
§ 4. 内 積	207
§ 5. 線形演算子	209
§ 6. 二つのベクトル空間のテンソル積	211

II. エルミート演算子, 射影子およびオブザーバブル

§ 7. 随伴演算子と共役関係	213
§ 8. エルミート (または自己随伴) 演算子, 正の定符号エルミート演算子, ユニタリ演算子	214
§ 9. 固有値問題とオブザーバブル	215
§ 10. 射影子 (または射影演算子)	217
§ 11. 射影子の代数	220
§ 12. 完全にとびとびのスペクトルをもつオブザーバブル	223
§ 13. 一般の場合のオブザーバブルと一般化された完全性関係	225
§ 14. オブザーバブルの関数	227
§ 15. 一つのオブザーバブルと交換する演算子, 交換するオブザーバブル	228

III. 表 現 論

§ 16. 有限行列についての一般的な概念	230
§ 17. 正方行列	231
§ 18. 無限行列への拡張	235
§ 19. 行列によるベクトルと演算子の表現	236
§ 20. 行列の変換	239
§ 21. 表現の変更	241
§ 22. 演算子とベクトルのユニタリ変換	243

演 習 と 問 題

第 8 章 量子論の形式的一般論

B. 物理的現象の記述

§ 1. 序 説	249
----------------	-----

I. 力学的状態と物理量

§ 2. 確率の定義, 測定に関する要請	250
§ 3. 量子系のオブザーバブルとそれらの交換関係	252
§ 4. ハイゼンベルクの不確定性関係	254
§ 5. 状態の定義と空間 $\mathcal{E}$ の構成	255
§ 6. 古典類似系をもつ 1 次元量子系	256
§ 7. 簡単な空間のテンソル積による状態空間の構成	260

II. 運動方程式

§ 8. 時間的変化の演算子とシュレーディンガー方程式	262
§ 9. シュレーディンガー《表示》	265
§ 10. ハイゼンベルク《表示》	266
§ 11. ハイゼンベルク表示と対応原理	268
§ 12. 運動の定数	269
§ 13. 平均値の変化の方程式と時間-エネルギー不確定性関係	270
§ 14. 中間表示	272

III. 理論のいろいろな表現

§ 15. 表現の定義	273
§ 16. 波動力学	274
§ 17. 表現 $\{p\}$	276
§ 18. 例: 自由波束の運動	278
§ 19. その他の表現, エネルギーを対角型にする表現	279

IV. 量子統計

§ 20. 完全には知られない系と統計的混合	280
§ 21. 密度演算子	281
§ 22. 統計的混合系の時間的変化	282
§ 23. 密度演算子の特性	283
§ 24. 純粋な場合	284
§ 25. 古典統計力学と量子統計力学	285

演 習 と 問 題

付録 A. 超関数, δ 《関数》およびフーリエ変換	291
---	-----