目　　次

1. 前期量子論

§1.1　熱放射・・・・・・・・・・・2
§1.2　固体の比熱・・・・・・・・・5
§1.3　原子スペクトル・・・・・・・7
1.3.1　原子スペクトルの観測・・7
1.3.2　原子の構造・・・・・・・・8
1.3.3　原子の安定性問題・・・・9
1.3.4　ボーア模型　・・・・・・10
1.3.5　定常状態　・・・・・・・13
§1.4　分子振動スペクトル　・・・14
§1.5　電子の波動的性質　・・・・19
§1.6　光の粒子的性質　・・・・・22
1.6.1　光電効果　・・・・・・・22
1.6.2　コンプトン効果　・・・・23
演習問題・・・・・・・・・・・・・25

2. 量子力学の考え方

§2.1　変分原理　・・・・・・・・・28
§2.2　演算子と状態ベクトル　・・33
演習問題・・・・・・・・・・・・・41

3. 量子力学の定式化

§3.1　量子化条件－正準交換関係－
・・・・・・・・・・・・43
§3.2　量子力学の基礎方程式　・・50
§3.3　簡単な例題－1次元調和振動子－
・・・・・・・・・・・・56
3.3.1　ハイゼンベルク描像による
取り扱い　・・・・・・56
3.3.2　シュレディンガー描像に
よる取り扱い　・・・・61
演習問題・・・・・・・・・・・・・65

4. 量子力学の基本概念

§4.1 確率解釈 ・・・・・・・・66
§4.2 電子線の干渉実験 ・・・・70
§4.3 重ね合わせの原理 ・・・・73
§4.4 物理量の期待値 ・・・・・74
§4.5 定常状態 ・・・・・・・・75
§4.6 自由粒子と波束 ・・・・・77
§4.7 不確定性関係 ・・・・・・80
4.7.1 不確定性関係の導出 ・・80
4.7.2 最小波束 ・・・・・・・82
§4.8 角運動量 ・・・・・・・・84
4.8.1 角運動量が満たす交換関係 ・・・・・・・・・・・84
4.8.2 実験的検証 ・・・・・・88
4.8.3 軌道角運動量の固有関数 ・・・・・・・・・・・91
演習問題・・・・・・・・・・・・92

5. 束縛状態

§5.1 井戸型ポテンシャル ・・・94
§5.2 3次元調和振動子・・・・・97
5.2.1 ハイゼンベルク描像による取り扱い ・・・・・・98
5.2.2 シュレディンガー描像による取り扱い ・・・・99
5.2.3 内部エネルギーの計算・103
§5.3 水素原子・・・・・・・・・104
§5.4 縮退・・・・・・・・・・108
§5.5 線形ポテンシャルの下での粒子の運動・・・・・・112
§5.6 スペクトル分光による天体物質の同定・・・・・・114
演習問題 ・・・・・・・・・・・119

6. 角運動量と回転群

§6.1 空間回転と角運動量・・・121
§6.2 群論的考察・・・・・・・124
§6.3 回転群の表現・・・・・・127
§6.4 $SO(3)$と$SU(2)$ ・・・・・132
§6.5 クレブシュ-ゴルダン係数 ・・・・・・・・・・・135
演習問題 ・・・・・・・・・・・137

7. 散乱状態

§7.1 トンネル効果・・・・・・138
§7.2 フラッシュメモリー・・・143
§7.3 散乱現象と散乱断面積・・146
§7.4 ラザフォード散乱の古典論 ・・・・・・・・・・・148
7.4.1 中心力場による古典力学的弾性散乱・・・・・・149
7.4.2 クーロン引力による古典力学的散乱断面積・・153
§7.5 量子力学における散乱断面積 ・・・・・・・・・・・155
§7.6 ラザフォード散乱の量子論 ・・・・・・・・・・・158
演習問題 ・・・・・・・・・・・162

8. 近似法

§8.1 摂動論・・・・・・・・・164
§8.2 定常的摂動論・・・・・・166
8.2.1 縮退がない場合・・・・167
8.2.2 縮退がある場合・・・・169
8.2.3 1次元調和振動子への摂動 ・・・・・・・・・・・171
8.2.4 シュタルク効果・・・・172
§8.3 非定常的摂動論・・・・・174
8.3.1 散乱のボルン近似・・・178
8.3.2 定常的方法について・・181
§8.4 変分法を用いた近似・・・182
8.4.1 変分法の基礎・・・・・182
8.4.2 変分法の応用例・・・・184
§8.5 準古典近似（WKB法）・・186
8.5.1 ボーア-ゾンマーフェルトの量子化条件・・・・191
8.5.2 トンネル効果・・・・・192
演習問題 ・・・・・・・・・・・193

9. 多体系の量子力学

§9.1 同種粒子・・・・・・・・195
§9.2 多体系の波動関数・・・・197
§9.3 粒子のスピンと統計性・・198
9.3.1 フェルミ粒子・・・・・200
9.3.2 ボース粒子・・・・・・203
演習問題 ・・・・・・・・・・・206

10. 量子基礎論概説

§10.1 コペンハーゲン解釈 ・・208
§10.2 EPR 問題 ・・・・・・・214
10.2.1 2準位系の量子力学 ・215
10.2.2 EPR パラドクス ・・・219
10.2.3 隠れた変数理論とベルの不等式 ・・・・・・221
§10.3 量子測定理論の概要 ・・223
10.3.1 密度演算子 ・・・・・224
10.3.2 射影測定と一般の量子測定 ・・・・・・・・・・226
§10.4 量子測定と不確定性関係 230
演習問題 ・・・・・・・・・・・233

11. 場の量子論への道

§11.1 電子と光子の場の理論 ・236
11.1.1 電子場の理論 ・・・・237
11.1.2 電磁場の理論 ・・・・239
11.1.3 電子場と電磁場の対応関係 ・・・・・・・・・・240
§11.2 場の量子化 ・・・・・・246
11.2.1 中性スカラー場の量子論 ・・・・・・・・・・・246
11.2.2 フォック表示 ・・・・249
11.2.3 フェルミ場について ・252
11.2.4 場の量子論の実験的検証 ・・・・・・・・・・253
§11.3 場の量子論における粒子と波動の二重性 ・・・254
演習問題 ・・・・・・・・・・・259

付 録

A.1 ベクトル空間 ・・・・・・260
A.1.1 2,3次元ベクトル空間 260
A.1.2 N次元ベクトル空間 ・264
A.2 常微分方程式と固有値問題 267
A.2.1 エルミート多項式 ・・269
A.2.2 球面調和関数 ・・・・270
A.2.3 ガンマ関数 ・・・・・273
A.2.4 合流型超幾何関数 ・・274
A.2.5 エアリー関数 ・・・・275
A.3 フーリエ変換 ・・・・・・275

A.4 超関数とデルタ関数 ・・・276

参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・278
演習問題解答 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・280
索 引 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・296

コ ラ ム

親子でノーベル賞 ・・・・・・・・・・・・・・・・18
変分原理の成立過程 ・・・・・・・・・・・・・・・32
量子化法のいろいろ ・・・・・・・・・・・・・・・49
ボルンの凡ミス ・・・・・・・・・・・・・・・・・69
ルップ事件 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・244