もくじ

1 はじめに

1.1 量子力学とは …… 1
1.2 量子力学の学び方 …… 3
演習問題 …… 3

2 量子力学の生まれるまで

2.1 光は波とみられていた …… 5
2.1.1 光の直進，屈折，分散 …… 5
2.1.2 波動の性質 …… 6
2.1.3 光の回折と干渉 …… 8
2.2 光は粒子でもある …… 10
2.2.1 光電子効果 …… 10
2.3 物質波の考え …… 12
2.3.1 光は波でもあるし，粒でもある …… 12
2.3.2 電子線回折 …… 12
2.3.3 ド・ブロイ（de Broglie）の軌道電子波の考え …… 14
2.3.4 ボーア（Bohr）の量子論 …… 15
2.3.5 粒子性と波動性の関係 …… 17
演習問題 …… 18

3 シュレディンガー方程式

3.1 波動方程式 …… 20
3.1.1 古典的な波動 …… 20
3.1.2 3次元空間波の表現 …… 21

3.1.3 物質波の波動方程式 …… 22
3.1.4 一般的な場での波動方程式のつくり方 …… 23
3.2 量子力学的波動方程式 …… 24
3.2.1 演算子への変換 …… 24
3.2.2 時間を含むシュレディンガー方程式 …… 26
3.2.3 定常的な問題のシュレディンガー方程式 …… 26
3.2.4 シュレディンガー方程式の特徴 …… 28
演習問題 …… 29

4 いろいろなポテンシャル場での物質波固有解の求め方

4.1 自由空間（$V=0$） …… 31
4.1.1 1次元空間 …… 31
4.1.2 3次元自由空間の場合 …… 32
4.2 制限のある空間 …… 34
4.2.1 自由空間で円形軌道の場合 …… 34
4.2.2 1次元有限空間（無限高井戸型ポテンシャル）の場合 …… 36
4.2.3 通り抜けられる枠の中の自由空間の場合（周期境界条件） …… 40
4.3 連続的に変化するポテンシャル $V(x)$ の場合 …… 41
4.3.1 調和振動子とエルミート多項式 …… 42
4.3.2 3次元ポテンシャル場と極座標表示 …… 45
4.3.3 中心力ポテンシャルと球面調和関数 …… 48
演習問題 …… 54

5 波動関数の性質

5.1 確率と観測 …… 55
5.1.1 粒子の存在確率と確率密度分布 …… 55
5.1.2 波動関数の規格化 …… 56
5.1.3 観測と確率分布の問題 …… 57
5.2 物理量の平均値 …… 59

5.2.1　観測平均値と遷移確率 …… 59
5.2.2　波動関数の内積とブラケットベクトル …… 60
5.3　波動関数の級数展開 …… 61
5.3.1　固有関数の規格直交完全性 …… 61
5.3.2　固有関数の縮退 …… 63
5.3.3　フーリエ展開と不確定性原理 …… 64
5.3.4　波動関数の偶奇性（パリティ） …… 65
5.3.5　波動関数の線形性 …… 68
5.4　波動関数の連続性と境界条件 …… 69
演習問題 …… 73

6　粒子の運動

6.1　波束の運動方程式 …… 74
6.2　確率の流れの密度 …… 79
演習問題 …… 80

7　ポテンシャルによる散乱と原子内電子状態

7.1　散乱と透過 …… 81
7.1.1　階段ポテンシャル …… 81
7.1.2　トンネル透過現象 …… 85
7.1.3　エレクトロニクスへの応用（トンネルダイオード） …… 90
7.1.4　WKB（Wentzel-Kramers-Brillouin）法 …… 91
7.1.5　多数の障壁の規則配列（結晶格子による波の反射）…… 92
7.2　水素原子内の電子分布 …… 94
7.2.1　動径波動関数 …… 94
7.2.2　電子密度分布 …… 98
7.2.3　原子内電子状態のまとめ …… 99
演習問題 …… 101

8 物理量と演算子

8.1 いろいろな物理量の演算子 …… 102
8.2 軌道角運動量と磁気能率 …… 104
8.3 演算子の交換関係 …… 106
8.4 エルミート性 …… 107
8.5 行列力学 …… 110
8.6 ハイゼンベルグの運動方程式 …… 114
演習問題 …… 116

9 シュレディンガー方程式の近似解法

9.1 摂動法 …… 118
9.1.1 1次摂動（λの1次の項） …… 120
9.1.2 高次摂動 …… 123
9.2 変分近似法 …… 124
演習問題 …… 127

10 スピン

10.1 電子のもう1つの自由度 …… 128
10.2 スピン磁気能率の観測 …… 129
10.3 スピン演算子と固有関数 …… 130
演習問題 …… 135

11 多粒子系の量子統計と交換相互作用

11.1 多粒子系の問題 …… 136
11.2 独立粒子系 …… 137

11.3 ハートレー近似 …… 138
11.4 量子統計の問題 …… 139
11.5 原子内2電子状態と交換相互作用 …… 143
演習問題 …… 148

12 結晶内電子状態と電導性

12.1 $E \ll V_0$ の場合（束縛電子近似） …… 150
12.2 $V_0 \ll E$ の場合（自由電子近似） …… 150
12.3 $V_0 \leq E$ の場合（中間状態） …… 152
12.4 $V_0 \sim E$ の場合（共鳴状態） …… 152
12.5 全体の分散関係 …… 153
12.6 バンド構造とブリュアン帯 …… 155
12.7 多数電子系のフェルミ面 …… 155
12.8 フェルミ面とブリュアン帯境界の関係 …… 156
演習問題 …… 158

13 エレクトロニクスへの応用

13.1 半金属と半導体 …… 159
13.2 化合物半導体とエレクトロニクス …… 160
13.3 人工格子の量子井戸 …… 161
演習問題 …… 163

演習問題略解 …… 165
基礎物理定数表 …… 180
エネルギー換算表 …… 180
さくいん …… 181