



目 次

第1章 量子現象の基礎 (主査:野村昭一郎)

1・1 量子論発展の歴史的背景 .....	(内野研二) .....	1
1・1・1 極微の世界と量子論 .....	1	
1・1・2 黒体輻射とプランクの量子仮説 .....	2	
1・1・3 原子スペクトルとボーアの原子模型 .....	4	
1・1・4 フランク-ヘルツの実験 .....	6	
1・1・5 光電効果とアインシュタインの光量子仮説 .....	6	
1・1・6 コンプトン効果 .....	7	
1・2 粒子と波動 .....	(内野研二) .....	9
1・2・1 物質波 .....	9	
1・2・2 不確定性原理 .....	11	
1・2・3 粒子的記述と波動的記述 .....	12	
1・2・4 状態関数の物理的意味付け .....	14	
1・3 量子力学の基本法則 .....	(内野研二) .....	15
1・3・1 演算子と固有関数 .....	15	
1・3・2 演算子と交換関係 .....	18	
1・3・3 演算子による不確定性原理の表現 .....	19	
1・4 波動関数の物理的意味 .....	(内野研二) .....	20
1・4・1 定常状態と非定常状態 .....	20	
1・4・2 確率密度と確率流 .....	22	
1・4・3 エーレンフェストの定理 .....	22	
1・4・4 波動関数の運動量表現 .....	23	
1・5 代表的な波動方程式の解 .....	(阿部正紀) .....	24
1・5・1 段形および井戸形ポテンシャル .....	24	
1・5・2 調和振動子 .....	27	
1・5・3 水素原子 .....	28	
1・6 行列力学 .....	(阿部正紀) .....	31
1・6・1 行列による演算子の表現 .....	31	
1・6・2 行列の対角化と固有値問題 .....	32	

## 2 目 次

1・6・3 ハイゼンベルグの運動方程式 .....	35
1・7 角運動量 .....	(阿部正紀) 36
1・7・1 角運動量演算子と固有関数 .....	36
1・7・2 角運動量と磁気モーメント .....	38
1・7・3 ラーモアの歳差運動とゼーマン効果 .....	39
1・8 スピン .....	(阿部正紀) 40
1・8・1 スピン演算子とスピニン関数 .....	40
1・8・2 スピン軌道相互作用と全角運動量 .....	42
1・8・3 ランデの $g$ 因子と異常ゼーマン効果 .....	45
1・9 波動方程式の近似的解法 .....	(阿部正紀) 46
1・9・1 時間を含まない摂動法 .....	46
1・9・2 時間を含む摂動法 .....	49
1・9・3 変分法 .....	51
1・9・4 WKB法 .....	52
1・10 二電子問題 .....	(五味 学) 55
1・10・1 波動関数の対称性 .....	55
1・10・2 パウリの原理 .....	56
1・10・3 二電子系波動関数 .....	57
1・10・4 ヘリウム原子 .....	59
1・11 多電子問題 .....	(五味 学) 63
1・11・1 多電子原子 .....	63
1・11・2 ハートリー近似 .....	63
1・11・3 電子配置と周期律 .....	65
1・11・4 角運動量の合成 .....	66
1・12 分子形成と化学結合 .....	(五味 学) 69
1・12・1 水素分子 .....	69
1・12・2 量子力学的共鳴 .....	73
1・12・3 化学結合力 .....	74
1・13 量子統計 .....	(五味 学) 74
1・13・1 フェルミ統計とボーズ統計 .....	74
1・13・2 金属の自由電子論 .....	77
1・14 場の量子化 .....	(野村昭一郎) 78
1・14・1 基準座標と基準振動 .....	78
1・14・2 格子振動の量子化とフォノン .....	79

1・14・3 電磁界の量子化	80
1・14・4 光子数と位相	82
1・14・5 プランクの輻射法則とゆらぎ	83
1・14・6 数表示と第二量子化	83
<b>1・15 相対論的量子論</b>	<b>(野村昭一郎) 85</b>
1・15・1 クライン-ゴルドンの方程式	85
1・15・2 ディラックの方程式とディラック行列	86
1・15・3 粒子と反粒子	87
1・15・4 角運動量と電子スピン	88
参考文献	90

## 第2章 固体の量子現象 (主査: 松波弘之)

<b>2・1 バンド理論</b>	<b>(梅野正義) 91</b>
2・1・1 固体内自由電子の量子論	91
2・1・2 周期格子中の電子	94
2・1・3 バンドモデルと有効質量	98
2・1・4 半導体のバンド構造	101
2・1・5 自由キャリアとフェルミ準位	104
<b>2・2 固体中の素励起</b>	<b>(石黒武彦) 108</b>
2・2・1 素励起と擬粒子	108
2・2・2 フォノン	110
2・2・3 プラズモン	114
2・2・4 エキシトン	118
2・2・5 その他の素励起	119
<b>2・3 固体内電子の挙動</b>	<b>(榎 裕之) 121</b>
2・3・1 輸送方程式と輸送現象	121
2・3・2 強電界下の輸送現象	124
2・3・3 強磁界下における量子現象	127
2・3・4 低次元自由電子の物性	130
2・3・5 トンネル効果	139
<b>2・4 接合の物理</b>	<b>(松波弘之) 142</b>
2・4・1 pn接合	142
2・4・2 ショットキー障壁	146
2・4・3 MIS構造	150
2・4・4 ヘテロ接合	152

#### 4 目 次

2・4・5 超伝導接合	153
2・5 固体における光学過程	(西野種夫) 156
2・5・1 光吸収	156
2・5・2 輻射遷移と非輻射遷移	161
2・5・3 光電変換現象	165
2・5・4 光と分極、磁化との相互作用	169
2・6 誘電現象と磁気現象	(直江正彦) 171
2・6・1 分極と誘電率	171
2・6・2 固体の誘電率と分散	172
2・6・3 強誘電性と自発分極	174
2・6・4 電気ひずみと圧電現象	176
2・6・5 磁気モーメントと透磁率	177
2・6・6 強磁性と自発磁化	179
2・6・7 磁性体と電磁波の相互作用	182
参考文献	184

#### 第3章 誘導放出とレーザ効果 (主査: 池上徹彦)

3・1 電磁波放出と吸収	(清水富士夫) 187
3・1・1 制動放射とチエレンコフ放射	188
3・1・2 誘導放出と吸収	189
3・1・3 自然放出	191
3・1・4 負温度	192
3・2 レーザの基礎	(覧具博義) 193
3・2・1 光増幅	193
3・2・2 光共振器とその共振モード	196
3・2・3 ポンピング	197
3・2・4 レーザの発振条件	198
3・2・5 レーザの基礎方程式	199
3・3 レーザの動作	202
3・3・1 定常動作	(覧具博義) 202
3・3・2 過渡動作	( " ) 205
3・3・3 モード同期	( " ) 206
3・3・4 超短光パルスの発生	(伊藤弘昌) 208

3・4 コヒーレンスと光子統計 .....	(上田芳文).....	210
3・4・1 コヒーレンス .....		210
3・4・2 光子統計 .....		218
3・5 固体レーザ .....	(吉川省吾).....	222
3・5・1 固体レーザの特徴と基礎 .....		222
3・5・2 固体レーザの材料 .....		223
3・5・3 励起源 .....		226
3・5・4 集光器 .....		227
3・5・5 主な固体レーザ装置 .....		228
3・6 半導体レーザ .....	(伊賀健一).....	230
3・6・1 概要 .....		230
3・6・2 半導体レーザの波長と材料 .....		232
3・6・3 半導体レーザの形式 .....		232
3・6・4 半導体レーザの特性 .....		235
3・6・5 変調と雑音 .....		239
3・6・6 半導体レーザの製作法 .....		240
3・7 気体レーザ .....	(藤岡知夫).....	240
3・7・1 気体レーザの特徴 .....		240
3・7・2 気体レーザの励起方法 .....		242
3・7・3 実用上重要な気体レーザ .....		245
3・7・4 市販されている気体レーザ .....		249
3・8 特殊レーザ .....		249
3・8・1 ラマンレーザ .....	(覧具博義).....	249
3・8・2 液体レーザ .....	(藤岡知夫).....	253
3・8・3 化学レーザ .....	(〃).....	255
3・8・4 量子井戸 (QW) レーザ .....	(池上徹彦).....	257
3・9 光検波 .....	(木村達也).....	259
3・9・1 光検波 .....		259
3・9・2 雑音 .....		265
3・10 メーザと原子時計 .....	(佐分利義和).....	268
3・10・1 メーザ .....		268
3・10・2 原子時計 .....		271
参考文献 .....		274

## 第4章 低温量子効果 (主査: 中村 彰)

4・1 ヘリウムの超流動	.....(生嶋 明) .....	283
4・1・1 超流動現象	.....	283
4・1・2 二流体モデル	.....	284
4・1・3 ボーズ-アインシュタイン凝縮	.....	289
4・1・4 マクロな量子状態	.....	291
4・1・5 励起状態	.....	294
4・1・6 $^3\text{He}$ の超流動	.....	297
4・2 超伝導	.....(井口家成) .....	299
4・2・1 永久電流	.....	299
4・2・2 完全反磁性	.....	300
4・2・3 臨界磁場と中間状態	.....	301
4・2・4 ロンドンの方程式	.....	302
4・2・5 電子対生成とBCS理論	.....	305
4・2・6 第二種超伝導体	.....	308
4・2・7 漩糸と臨界磁場	.....	311
4・2・8 超伝導材料	.....	313
4・3 ジョゼフソン効果	.....(後藤俊成) .....	315
4・3・1 直流ジョゼフソン効果	.....	315
4・3・2 磁界によって生ずる干渉効果	.....	319
4・3・3 交流ジョゼフソン効果	.....	320
4・3・4 ジョゼフソン素子の形態	.....	323
4・3・5 等価回路と直流特性	.....	327
4・3・6 長いジョゼフソン素子中の渦糸	.....	328
4・4 高感度磁束計とその応用	.....(井深 丹) .....	329
4・4・1 dc SQUID	.....	329
4・4・2 rf SQUID	.....	332
4・4・3 SQUIDの雑音と分解能	.....	336
4・4・4 低磁界測定	.....	337
4・4・5 電圧、電流測定	.....	341
4・4・6 温度計	.....	342
4・5 交流ジョゼフソン効果の応用	.....(岡部洋一) .....	345
4・5・1 電圧標準	.....	345
4・5・2 ジョゼフソン素子のインピーダンス	.....	346

4・5・3 電磁波検出 .....	348
4・5・4 ジョゼフソン素子中の電磁波伝搬 .....	(早川尚夫) 350
4・5・5 発 振 器 .....	351
4・6 ジョゼフソン効果のデジタル応用 .....	352
4・6・1 スイッチング特性 .....	352
4・6・2 演算回路 .....	354
4・6・3 記憶回路 .....	357
4・6・4 ジョゼフソン・コンピュータシステム .....	359
4・6・5 ディジタル計測技術 .....	361
4・6・6 おわりに .....	362
参考文 献 .....	363

## 第5章 非線形量子効果 (主査: 神谷武志)

5・1 非 線 形 過 程 .....	(神谷武志) 367
5・1・1 線形系と非線形系 .....	367
5・1・2 調和振動系における非線形効果 .....	367
5・1・3 非線形過程を取扱う方法 .....	368
5・2 準粒子の非線形効果 .....	(神谷武志) 369
5・2・1 電子-電子相互作用 .....	370
5・2・2 多光子相互作用 .....	372
5・2・3 マグノン-マグノン相互作用 .....	373
5・2・4 フォノン-フォノン相互作用 .....	374
5・2・5 ソリトン .....	375
5・3 非線形光学効果 .....	376
5・3・1 光学的非線形分極 .....	(藤井陽一) 376
5・3・2 多光子過程 .....	(〃) 378
5・3・3 光高調波発生-光パラメトリック相互作用 .....	(〃) 379
5・3・4 誘導ラマン散乱, 誘導ブリルアン散乱 .....	(岩沢 宏) 382
5・3・5 飽和吸収 .....	(〃) 388
5・4 非線形光学媒質 .....	391
5・4・1 気体および液体の非線形光学効果 .....	(小林喬郎) 391
5・4・2 誘電体・強誘電体の非線形光学効果 .....	(〃) 394
5・4・3 半導体の非線形光学効果 .....	(山田 実) 396
5・4・4 光導波路中の非線形光学効果 .....	(佐々木豊) 398

## 8 目 次

5・5・5 非線形量子効果の応用	402
5・5・1 超短光パルスの検出	(伊藤弘昌) 402
5・5・2 光双安定効果	(〃) 405
5・5・3 位相共役光学	(丹野直弘) 406
5・5・4 光-光スイッチング	(小林哲郎) 408
5・5・5 トンネル効果の応用	(榎 裕之) 412
5・5・6 半導体超薄膜および超格子の応用	(〃) 414
参考文献	419

## 第6章 核物理量子効果 (主査: 日野太郎)

6・1 核物理量子効果	(中條利一郎) 429
6・2 核磁気共鳴(NMR)	431
6・2・1 NMR の原理	(中條利一郎) 431
6・2・2 高分解能 NMR の原理	(〃) 434
6・2・3 パルス法 NMR, フーリエ変換法 NMR の原理	(〃) 436
6・2・4 化学・生物学・医学への応用	(荒田洋治) 437
6・2・5 物理分野への応用	(端 恒夫) 440
6・3 核四重極共鳴(NQR)	(中村亘夫) 442
6・3・1 NQR の原理	442
6・3・2 測定方法	445
6・3・3 応用	445
6・4 電子スピノン共鳴(ESR)	(永田一清) 447
6・4・1 ESR の原理	447
6・4・2 不対電子の構造と ESR	449
6・4・3 スピノン-スピノン相互作用とスピノン集団運動	452
6・4・4 測定方法	454
6・4・5 応用	455
6・5 ミュオンスピノン回転・緩和・共鳴( $\mu$ SR)	(山崎敏光) 456
6・5・1 $\mu$ SR の原理	456
6・5・2 ミュオンの振舞	458
6・5・3 $\mu$ SR の研究領域	458
6・6 メスバウアー効果	(阿部正紀) 459
6・6・1 メスバウアー効果の原理	459
6・6・2 測定方	460

6・6・3	スペクトル解析から得られる情報	461
6・7	サイクロトロン共鳴	(寿栄松宏仁) 465
6・7・1	伝導電子の磁場中量子化	465
6・7・2	半導体におけるサイクロトロン共鳴	467
6・7・3	金属におけるアズベル-カナー・サイクロトロン共鳴	470
6・7・4	測定方法	471
6・8	シンクロトロン放射(SOR)	(黒田晴雄) 472
6・8・1	SOR の原理	472
6・8・2	SOR の発生装置	474
6・8・3	SOR 実験施設	475
参考文献		475
索引	1. 五十音順 2. アルファベット順	479 491