

目 次

1	波 動 力 学	1
1.1	波 動 関 数	2
1.2	1次元井戸形ポテンシャルの中の粒子	5
1.3	調 和 振 動 子	6
1.4	水 素 原 子	7
1.5	スピンをもつ粒子と磁気モーメント	9
	問 題	12
	文 献	13
2	原子と電磁場の中の相互作用	15
2.1	誘導共鳴遷移	17
2.2	黒 体 放 射	22
2.3	減衰現象を入れた理論	25
2.4	Rabi の厳密解	27
	問 題	29
	文 献	31
3	誘導放出と振動双極子	33
3.1	量子論的双極子	34
3.2	振 動 双 極 子	37
	問 題	47
	文 献	48

4	古典的自励発振器	49
4.1	自励発振器	50
4.2	周波数引き込み	56
	問 題	59
	文 献	59
5	アンモニア分子線レーザー	61
5.1	アンモニア分子	62
5.2	レーザーの動作	66
	問 題	70
	文 献	72
6	状態ベクトル	73
6.1	Dirac の記法	74
6.2	演算子のDirac 記法と行列表現	76
6.3	状態ベクトルの展開	78
6.4	Schrödinger 表示, 相互作用表示, Heisenberg 表示	83
	問 題	86
	文 献	87
7	密度行列	89
7.1	純粋状態の密度行列	90
7.2	混合状態の密度行列	92
7.3	減衰現象	95
7.4	運動方程式の積分	100
7.5	密度行列のベクトルモデル	102
	問 題	106
	文 献	107
8	半古典的レーザー理論	109

8.1	電磁場の方程式	111
8.2	媒質の分極	114
8.3	単一モード動作	120
	問 題	124
	文 献	126
9	多モード動作	129
9.1	媒質の分極	130
9.2	2モード動作	133
9.3	3モード間のビート周波数の同期	142
9.4	一般的な多モード動作の解析	147
	Free-Running 動作 148, N モード間のビート周波数の同期 149	
9.5	多モードビート周波数の強制同期	151
	問 題	157
	文 献	158
10	気体レーザーの理論	161
10.1	Doppler 広がりをもつ媒質の分極	162
	レート方程式近似解と Hole Burning 165	
10.2	多モード現象	173
	2モード動作 176, 3モード動作 179, 多モード動作 180	
10.3	単一モードの大信号理論	181
	媒質の分極 181	
	問 題	187
	文 献	189
11	リングレーザー	191
11.1	リングレーザーの振幅と周波数の方程式	192
11.2	リングレーザーの動作	195
11.3	多モード単方向性レーザーの理論	197
	問 題	199

x 目 次

文 献	199
12 Zeeman レーザー	201
12.1 電磁場の方程式	203
12.2 原子媒質の分極	205
12.3 定常状態の発振強度	209
問 題	215
文 献	216
13 コヒーレント光パルスの伝搬	217
13.1 電場包絡線関数の運動方程式	218
13.2 レート方程式近似	222
13.3 パルス面積定理	225
13.4 フォトンエコー	235
問 題	239
文 献	241
14 電磁場の量子論	243
14.1 電磁場の量子化	244
14.2 多モードの電磁場	249
14.3 原子と場の相互作用	251
14.4 自然放出の Weisskopf-Wigner 理論	257
問 題	261
文 献	262
15 電磁場のコヒーレント状態	263
15.1 コヒーレント状態の性質	265
15.2 古典的電流からの電磁放射	270
15.3 密度演算子展開—— $P(\alpha)$ と $R(\alpha^*, \beta)$	271
問 題	276
文 献	277

16	熱溜の理論——密度演算子の方法	279
16.1	原子線の熱溜による光の場の減衰	280
16.2	密度演算子と量子力学的 Fokker-Planck 運動方程式	287
16.3	Fokker-Planck 方程式	291
16.4	一般化された熱溜の理論	295
16.5	調和振動子の熱溜による場と原子の減衰	298
	問 題	300
	文 献	302
17	レーザーの量子力学的理論	303
17.1	場の運動方程式	304
17.2	レーザーの光子統計	309
17.3	非対角成分とレーザーの線幅	313
	問 題	317
	文 献	319
18	量子力学的レーザー理論と測定	321
18.1	レーザー光の場の測定について	321
18.2	レーザー光の場に対する光子統計	323
18.3	スペクトル分析器	325
18.4	Onsager の崩壊仮説	328
	問 題	330
	文 献	331
19	熱溜の理論と雑音演算子法	333
19.1	Brown 運動に対する Langevin の方法	334
19.2	減衰する調和振動子の量子雑音の取り扱い	338
19.3	ドリフト係数と拡散係数の一般的な計算	343
	問 題	348
	文 献	349

20	レーザーのゆらぎの Langevin 理論	351
20.1	原子のドリフトと拡散	352
20.2	レーザーの運動方程式	355
20.3	古典的極限とレーザーの線幅	359
	問 題	363
	文 献	364
21	展 望	365
21.1	レーザーの影響	365
21.2	レーザー「擬似モード」の理論	367
21.3	相転移とのアナロジー	371
21.4	Josephson 放射	376
	文 献	380
付録A	無限に広い振動双極子層による電磁場	383
付録B	受動的共振器のモード	387
B.1	受動的共振器の固有値方程式	387
B.2	平行平面鏡共振器	390
B.3	共焦点球面鏡共振器	392
	文 献	397
付録C	プラズマ分散関数	399
	文 献	401
付録D	気体レーザーの摂動理論	403
	文 献	408
付録E	気体レーザーの大信号理論	409
	文 献	415

付録F Zeeman レーザーの摂動理論	417
F.1 $J=1 \leftrightarrow J=0$ の場合	417
F.2 任意の値の J についての計算	421
F.3 総和の法則	427
文 献	428
付録G 集団的自然放出 (超放射)	429
G.1 2原子と単一モードの場との相互作用	430
G.2 多原子と場との系	432
G.2 角運動量としての取り扱い	435
問 題	438
文 献	438
付録H コヒーレント状態	439
H.1 最小の不確定性をもつ波動関数	439
H.2 不確定性最小の波束の時間的変化	442
H.3 光子数状態による展開	446
文 献	447
付録I 一般的な量子力学的レーザー方程式	449
I.1 レーザーの量子力学的運動方程式	450
I.2 半古典論への還元	454
索 引	457