

目 次

1. 序 論	1
2. イオントラップ	7
2.1 電気四重極ポテンシャル	7
2.2 パウルトラップの原理	9
2.3 有効ポテンシャルの起源	13
2.4 イオンの運動の厳密な扱い	15
2.5 リニアトラップ	19
2.6 表面電極トラップ	21
2.7 イオントラップの実際	26
3. 原子と電磁波の相互作用	29
3.1 原子と電磁波のコヒーレントな相互作用	29
3.1.1 二準位原子と電磁波の相互作用	30
3.1.2 時間発展	32
3.1.3 密度演算子	35
3.1.4 ブロッセベクトル	36
3.1.5 ラムゼイ干渉	40
3.1.6 ドレスト状態と AC シュタルクシフト	44
3.2 光学的ブロッセ方程式	48
3.3 レーザー誘起蛍光と光の吸収	51
3.4 実際の原子における二準位系の扱い	53
3.5 レーザーによって原子に働く力	56
3.6 調和振動子	58
3.6.1 古典的調和振動子	58

3.6.2	調和振動子の固有値と固有状態	59
3.6.3	調和振動子の時間発展	61
3.6.4	個数状態とコヒーレント状態	62
4.	イオンのレーザー冷却	66
4.1	ドップラー冷却	67
4.2	サイドバンド冷却	71
4.3	マイクロ運動の影響	77
4.4	イオンの結晶化	79
4.5	直線配列イオンの振動モード	81
5.	量子状態の操作と測定	88
5.1	振動状態の変化を伴う相互作用	88
5.2	サイドバンド相互作用	91
5.2.1	相互作用表示	91
5.2.2	ラム・ディッケ領域の近似	92
5.2.3	イオン列中の1個のイオンとの相互作用	94
5.2.4	時間発展	95
5.3	1個のイオンの量子状態の操作	97
5.3.1	回転演算子	97
5.3.2	1個のイオンの個別操作	99
5.4	状態依存力による量子状態の操作	101
5.4.1	調和振動子の強制振動	101
5.4.2	状態依存力	104
5.4.3	状態依存力の発生	106
a.	σ_z 依存力	106
b.	σ_ϕ 依存力	109
c.	状態依存力による量子状態操作	112
5.5	量子状態の測定	114
5.5.1	量子跳躍の観測	114
5.5.2	射影測定	116

5.5.3	量子状態トモグラフィー	118
5.5.4	振動状態の測定	122
6.	量子情報処理への応用	126
6.1	イオンを使った量子情報処理	126
6.2	ユニバーサル量子ゲート	129
6.2.1	1量子ビットの回転	129
6.2.2	制御ノットゲート	129
6.2.3	シラク・ゾラーゲート	131
6.2.4	状態依存力を用いた制御Zゲート	133
6.3	ベル状態の発生と量子テレポーテーション	134
6.3.1	量子もつれ状態	134
6.3.2	ベル状態の発生	137
6.3.3	量子テレポーテーション	138
6.4	多粒子量子もつれ状態の発生	143
6.4.1	GHZ状態の発生	143
6.4.2	GHZ状態を用いたラムゼイ干渉の精度向上	147
6.4.3	対称ディッケ状態の発生	150
6.5	デコヒーレンス	154
6.6	量子シミュレーション	159
6.6.1	量子シミュレーションとは	159
6.6.2	量子マグネット	161
6.6.3	局在フォノンを用いた量子シミュレーション	164
a.	局在フォノンとハバードモデル	164
b.	フォノンのホッピングと二フォノン干渉	168
6.7	イオンを使った量子ネットワーク	173
6.7.1	量子ネットワーク	173
6.7.2	決定論的方式	174
6.7.3	確率的方式	178
6.8	原子時計への応用	183
6.8.1	原子時計の性能	183

6.8.2 量子論理分光	185
A. 回転軸表示と相互作用表示	193
A.1 シュレーディンガー表示とハイゼンベルグ表示	193
A.2 回転軸表示	194
A.3 相互作用表示	197
B. 電気双極子遷移と電気四重極遷移	199
B.1 電気双極子遷移	199
B.1.1 相互作用ハミルトニアン	199
B.1.2 選 択 則	201
B.2 電気四重極遷移	202
B.2.1 相互作用ハミルトニアン	202
B.2.2 選 択 則	203
C. 誘導ラマン遷移	205
C.1 誘導ラマン遷移を用いた二準位原子との相互作用	205
C.2 誘導ラマン断熱通過における暗状態の導出	208
D. リニアトラップ中のイオンの直線配列と振動モード	210
E. 2 個のイオン量子状態トモグラフィーのパルス設定	216
索 引	219