

目次

1 .	序 論
	1
1.1	歴史的背景 1
	1
1.2	歴史的背景 2
	3
1.3	本研究の位置付け
	6
1.4	本論文の構成
	8
2 .	アルカリ原子気体のボース凝縮の基本的性質
	11
2.1	ボース凝縮の発生条件
	11
2.2	ボース凝縮体の波動関数
	13
2.3	ボース凝縮体の時間発展
	16
3 .	ボース凝縮体生成のための実験的手法
	19
3.1	ボース凝縮体生成のフローチャート
	19
3.2	二重磁気光学トラップおよび偏光冷却
	20
3.3	磁気トラップおよび断熱圧縮
	25
3.4	蒸発冷却
	30
3.5	Time-of-flight 法および吸収イメージング法
	32
4 .	観測されたボース凝縮体の諸特性
	35
4.1	転移温度
	35
4.2	ボース凝縮体の形
	37
4.3	ボース凝縮体のエネルギー
	37
4.4	ボース凝縮体の原子数およびピーク密度
	38
4.5	トラップから開放されたボース凝縮体の時間発展
	39
4.6	ボース凝縮体の寿命特性
	43
5 .	ボース凝縮体を用いた原子波干渉計
	45
5.1	はじめに～原子波干渉計の歴史
	45
5.2	光定在波を用いた原子波干渉計
	46
5.3	本研究の目的～ボース凝縮体を用いた原子波干渉計
	47
5.4	光定在波によるブラッグ回折を用いた原子波干渉計の原理
	49
5.5	BEC 干渉計の動作原理
	52

5.6	実験～光定在波を用いた BEC マッハ・ツェンダー干渉計の構築	57
5.7	実験結果と考察	60
6.	まとめと今後の研究展望	65
	付録 A. 理想ボース気体のボース・アインシュタイン凝縮	69
A.1	ギブス因子および大分配関数	69
A.2	ボース・アインシュタイン分布	71
A.3	箱型ポテンシャル中でのボース・アインシュタイン凝縮	73
A.4	3次元調和ポテンシャル中でのボース・アインシュタイン凝縮	77
	(参考) より簡単なボース分布関数の導出	79
	付録 B. 3次元調和ポテンシャル中の理想ボース気体の空間密度分布および運動量分布	81
B.1	半古典近似による理想ボース気体の空間密度分布	81
B.2	半古典近似による理想ボース粒子系の運動量分布	83
B.3	転移温度以下での空間密度分布	84
B.4	ボース・アインシュタイン分布とマクスウェル・ボルツマン分布の比較	84
	付録 C 第二量子化法による多粒子系の記述	87
C.1	多粒子系の状態の数表示	87
C.2	ボース粒子系の生成, 消滅演算子, および場の演算子	88
C.3	場の演算子によるハミルトニアン の表示	90
C.4	場の演算子の時間発展	92
	付録 D 散乱理論	95
D.1	リップマン・シュウィンガー方程式	95
D.2	ボルン近似	98
D.3	散乱振幅の部分波表現	99
D.4	S 波散乱と散乱半径	101
D.5	同種粒子間の散乱	104
	付録 E ボース凝縮体の波動関数	107
E.1	グロス・ピタエフスキー方程式	107
E.2	トーマス・フェルミ近似	109
E.3	ボース凝縮体のエネルギー	110
E.4	ボース凝縮体の密度分布の時間発展	112

E.5	3次元調和ポテンシャル中の理想ボース凝縮体	117
付録 F 吸収イメージング法		119
F.1	プローブ光の透過率と原子集団の密度分布との関係	119
F.2	トラップから開放された原子集団の密度分布	120
F.3	運動量分布がマクスウェル・ボルツマン分布の場合	122
F.4	ボース・アインシュタイン分布とマクスウェル・ボルツマン分布の比較	123
F.5	トラップから開放されたボース凝縮体の密度分布	125
付録 G 二準位原子気体の吸収係数および屈折率		127
G.1	複素電気感受率と吸収係数および屈折率の関係	127
G.2	二準位原子とレーザー光との相互作用	129
G.3	二準位原子気体の吸収係数および屈折率	134
付録 H アルカリ原子の超微細構造とゼーマン分裂		137
H.1	アルカリ原子の微細構造および超微細構造	137
H.2	超微細構造のゼーマン分裂	138
付録 I アルカリ原子の超微細構造準位間の遷移強度		141
I.1	レーザーの偏光状態と遷移選択則	141
I.2	超微細構造準位間の遷移強度	142
I.3	プローブ光の実効的吸収断面積	144
付録 J 光定在波による原子波の回折		145
J.1	レーザー光が作る光定在波	145
J.2	光定在波と2準位原子との相互作用	148
J.3	光定在波による原子波の回折	152
J.4	進行した光定在波による原子波の Bragg 回折	157
付録 K 干渉計の出力粒子数揺らぎと位相感度		159
K.1	干渉計の出力粒子数の揺らぎ	159
K.2	干渉計の位相感度	162
付録 L Rb 原子の特性データ		163
L.1	基礎的物性	163
L.2	超微細構造定数	163
L.3	D_2 線の光学的特性	163

L.4	エネルギー換算表	163
L.5	飽和蒸気圧曲線	164
付録 M 磁気トラップに関するいくつかの有用な式		165
M.1	電流の作る磁場	165
M.2	ヨッフエ・プリチャード型磁場	166
M.3	ヨッフエ・プリチャードトラップ	168
M.4	重力による磁気トラップ中心のシフト	169
謝辞		171
参考論文		173