

# 目次

<b>1. 序論</b>	<b>1</b>
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
<b>2. アルカリ原子気体のボース凝縮の基本的性質</b>	<b>11</b>
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
<b>3. ボース凝縮体生成のための実験的手法</b>	<b>19</b>
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
<b>4. 観測されたボース凝縮体の諸特性</b>	<b>35</b>
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
<b>5. ボース凝縮体を用いた原子波干渉計</b>	<b>45</b>
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
<b>6.</b>	<b>まとめと今後の研究展望</b>	<b>65</b>
<b>付録 A.</b>	<b>理想ボース気体のボース・アインシュタイン凝縮</b>	<b>69</b>
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
<b>付録 B.</b>	<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</b>	<b>81</b>
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
<b>付録 C</b>	<b>第二量子化法による多粒子系の記述</b>	<b>87</b>
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を表示	90
C.4	場の演算子の時間発展	92
<b>付録 D</b>	<b>散乱理論</b>	<b>95</b>
D.1	リップマン・シュウイングー方程式	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
<b>付録 E</b>	<b>ボース凝縮体の波動関数</b>	<b>107</b>
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

<b>付録 F 吸収イメージング法</b>	<b>119</b>
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
<b>付録 G 二準位原子気体の吸収係数および屈折率</b>	<b>127</b>
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
<b>付録 H アルカリ原子の超微細構造とゼーマン分裂</b>	<b>137</b>
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
<b>付録 I アルカリ原子の超微細構造準位間の遷移強度</b>	<b>141</b>
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
<b>付録 J 光定在波による原子波の回折</b>	<b>145</b>
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
<b>付録 K 干渉計の出力粒子数揺らぎと位相感度</b>	<b>159</b>
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
<b>付録 L Rb 原子の特性データ</b>	<b>163</b>
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
<b>付録 M</b>	<b>磁気トラップに関するいくつかの有用な式</b>	<b>165</b>
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
	<b>謝辞</b>	<b>171</b>
	<b>参考論文</b>	<b>173</b>