การควบแน่นของโบสโดยวิธีอินทิเกรตตามวิถี

นางสาว สิวินีย์ สวัสดิ์อารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-432-4

สิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PATH - INTEGRAL APPROACH TO BOSE CONDENSATION

MISS SIVINEE SAWATDIAREE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-432-4

I17902034

Thesis Title	Path - Integral Approach to Bose Condensation
By	Miss Sivinee Sawatdiaree
Department	Physics
Thesis Advisor	Professor Virulh Sa-yakanit, F.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of Requirements for the Master's Degree

..... Dean of Graduate School

(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Associated Professor Kitt Visoottiviseth, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Professor Virulh Sa-yakanit, F.D.)

..... Member

(David Ruffolo, Ph.D.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

นางสาวสิวินีย์ สวัสดี้อารี : การควบแน่นของโบสโดยวิธีอินทิเกรตตามวิถี (PATH-INTEGRAL APPROACH TO BOSE CONDENSATION) อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. วิรุฬห์ สายคณิต, 70 หน้า. ISBN 974-636-432-4

ได้แสดงให้เห็นว่าแถบพลังงานถูกกระตุ้นของก๊าซโบซอนที่มีอันตรกิริยาระหว่างกันแยกออกเป็นสองแบบ โดยแบบที่หนึ่งจะปรากฏให้เห็นในบริเวณที่โมเมนตัมมีค่าน้อยและความหนาแน่นของอนุภาคในสถานะพื้นมีค่ามาก และแบบที่สองจะปรากฏในบริเวณที่โมเมนตัมมีค่าสูง และปรากฏได้ที่ทุกๆความหนาแน่นของอนุภาคในสถานะพื้นที่น้อยกว่าความหนาแน่นของอนุภาคในสถานะพื้นที่ปรากฏแบบที่หนึ่ง ทั้งนี้การคำนวณต่างๆได้ใช้วิธีการอินทิเกรตเชิงฟังก์ชันโดยการสร้างตัวกระทำพลังงานในรูปของตัวกระทำสนามจากนั้น แยกองค์ประกอบของตัวกระทำสนามออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งบรรยายถึงอนุภาคที่สถานะพื้น และส่วนที่สองบรรยายอนุภาคในสถานะถูกกระตุ้น จากนั้นจึงคำนวณหาแอคชัน และฟังก์ชันแบ่งส่วนในที่สุดได้โพลของฟังก์ชันแบ่งส่วนซึ่งเรานิยามให้เป็นแถบพลังงานถูกกระตุ้น โดยอาศัยนิยามว่าพลังงานของตัวถูกกระตุ้นที่สถานะพื้นจะเท่ากับศูนย์ จึงสามารถหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งทำให้สามารถแยกรูปแบบทั้งสองของแถบพลังงานถูกกระตุ้นของก๊าซโบซอนออกจากกันได้การคำนวณทั้งหมดกระทำในปริภูมิเฟส โดยที่แทนอันตรกิริยาระหว่างอะตอมของก๊าซโบซอนด้วยอันตรกิริยาที่เราสร้างขึ้นมา ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับรูปร่างของเลนนาร์ด-โจนส์ ทั้งนี้อันตรกิริยาดังกล่าวมีรูปร่างสมการในปริภูมิปกติแปรผันตาม $\left(\frac{e^{-\alpha r}}{(\beta r)^2}-\frac{e^{-\alpha r}}{\beta r}\right)$ โดยในการคำนวณนี้กำหนดให้ α , β เป็นหนึ่งโดยมีหน่วย หักล้างกับหน่วยของความยาวพอดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C725820 : MAJOR PHYSICS
KEY WORD: BOSE CONDENSATION/ FUNCTIONAL INTEGRALS/ QUANTUM STATISTICAL MECHANICS/ BOGOLIUBOV MODEL

SIVINEE SAWATDIAREE : PATH - INTEGRAL APPROACH TO BOSE CONDENSATION. THESIS ADVISOR : PROFESSOR VIRULH SA-YAKANIT, F.D. 70PP. ISBN 974-636-432-4

The excitation spectrum of the interacting Bose gas has two branches. The first branch was dominated in the low momentum area and high density of the ground state particles and the second one was dominated in the high momentum area and was existed in the density of the ground state particles which lower than the existed density of the ground state particles of the first branch. The functional integrals method was used. The Hamiltonian was introduced in form of the combination of field operators which was divided into two parts;ground state particles and exicted particles were described respectively The action and partition function were calculated and were introduced partition function poles which were defined as excitation spectrum. According to the definition of excitation energy of ground was equal to zero, parameters were calculated and devided both forms of Bose excitation spectrums in phase space. The interaction between boson particles in the system was replaced by our ansatz interaction. Its behaviour was like the Lennard-Jones potential. The ansatz interaction was mentioned in configuration space was varied with $\left(\frac{e^{-\alpha r}}{(\beta r)^2}-\frac{e^{-\alpha r}}{(\beta r)}\right)$ by assigning α,β as unity with the inversion unit of length.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express her deep gratitude to her advisor Professor Virulh Sa-yakanit for his valuable advice, discussion and help of every sort in writing this thesis, to Associate Professor Jong-orn Berananda for warmly kindness to Associated Professor Wichit Sritakool for his advice and computer preparation. Her greatful thanks for constructives criticism to Professor Vladimir Yarunin.

She is also grateful to Dr. Pornthep Nisamaneepong and Dr. Chaisingh Poo-rakkiat for their suggestions. Special thanks go to Miss Vanisa Surapipith for her help and support and also great thanks to Mr. Udom Robkob for his suggestions and discussion. and to Mr. Varagorn Piputnchonlathee, Mr. Kobchai Tayanasanti, Mr. Jessada Sukpitak and Mr. Porncharoen Palotaidumkaeng, who helped created a warm and funny atmosphere among the group and discussion.

The auther feels greatly in dept to the thesis committee, Assoc. Prof. Kitt Visoottiviseth and Dr. David Ruffolo for their efforts in reading and criticrizing the manuscript. Her special thanks go to Miss Satanan Shua-Maharwan for her improving of the English usage.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE OF CONTENTS

Page

ABSTRACT IN THAI.....iv

ABSTRACT IN ENGLISH.....v

ACKNOWLEDGEMENTS.....vi

CHAPTER I BOSE EINSTEIN STATISTICS AND

BOSE CONDENSATION.....1

BOSE EINSTEIN STATISTICS AND QUANTUM CORRECTION.....1

THE BOSE CONDENSATION.....4

SCOPE OF THIS RESEARCH.....6

CHAPTER II FUNCTIONAL INTEGRATIONS AND

QUANTUM STATISTICAL MECHANICS.....7

A BREIF HISTORY OF FUNCTIONAL INTEGRATIONS.....7

PROPAGATOR AND PARTITION FUNCTION.....8

CHAPTER III ANSATZ INTERACTION AND ITS INTERESTED PROPERTIES..13

INTERACTION POTENTIAL.....13

UNIFORM AND NON-UNIFORM MEDIA.....19

CHAPTER IV HAMILTONIAN, ACTION AND BROKEN SYMMETRY.....26

BOGOLIUBOV IDEA AND METHOD.....26

HOW TO WRITE A HAMILTONIAN OF SYSTEM.....31

HOW TO CALCULATE AN ACTION.....34

WHAT A BROKEN INVARIANCE OF HAMILTONIAN IS.....37

CHAPTER V PARTITION FUNCTION AND EXCITATION SPECTRUMS.....40

PARTITION FUNCTION.....40

EXCITATION FUNCTION.....45

CHAPTER VI DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS.....55

REFERENCES.....59

CURRICULUM VITAE.....62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Page

Figure 1.1 The inter-potential of bosons and fermions system.....4

Figure 3.1 An comparison graph of the behaviours of our function and the Lennard-Jones function 14

Figure 3.2 The transformation interaction in k space

(a) show the behaviour of $U(\vec{k})$.....17

(b) show the behaviour of $U_1(\vec{k})$.....18

(c) show the behaviour of $U_2(\vec{k})$.....18

Figure 3.3 The interaction between particles in k space

(a) Interaction between particles in over excited states, $U(\vec{k},\vec{k})$.....22

(b) Interaction between particles in condensate state and over excited states, $U(\vec{k},0)$.....23

(c) Interaction between particles in condensate state, $U(0,0)$.....23

Figure 5.1 The first branch of excitation spectrum of m=4 and $\rho_0 = 130$.....48

Figure 5.2 The first branch of excitation spectrum of m=4 and $\rho_0 = 120,130,140,150$..49

Figure 5.3 The second branch of excitation spectrum of m=4 and $\rho_0 = 130$.....50

Figure 5.4 The second branch of excitation spectrum of m=4 and $\rho_0 = 100,110,$.....51

Figure 5.5 The first branch and the second branch of excitation spectrum of m=4 and $\rho_0 = 130$.....52

Figure 5.6 The first branch and the second branch of excitation spectrum of m=2 and $\rho_0 = 250$ 53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย