โมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของเลปตอนในทฤษฎีสมมาตรยวดยิ่ง

นางสาววรินทร ศรีทะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2545-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 22468419

LEPTON ELECTRIC DIPOLE MOMENTS IN SUPERSYMMETRIC THEORIES

Miss Warintorn Sreethawong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2545-7

Thesis Title	Lepton Electric Dipole Moments in Supersymmetric Theories
By	Miss Warintorn Sreethawong
Field of Study	Physics
Thesis Advisor	Rujikorn Dhanawittayapol, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

.....Dean of the Faculty of Science

(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman

(Ahpisit Ungkitchanukit, Ph.D.)

.....Thesis Advisor

(Rujikorn Dhanawittayapol, Ph.D.)

.....Member

(Assistant Professor Udomsilp Pinsook, Ph.D.)

.....Member

(Narumon Suwonjandee, Ph.D.)

วรินทร ศรีทะวงศ์ : โมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของเลปตอนในทฤษฎีสมมาตรยวดยิ่ง. (LEPTON ELECTRIC DIPOLE MOMENTS IN SUPERSYMMETRIC THEORIES) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. รุจิกร ธนวิทยาพล, 77 หน้า. ISBN 974-53-2545-7.

โมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอนุภาคมูลฐานเป็นปรากฏการณ์ทางควอนตัมซึ่งจะมีค่าไม่เป็นศูนย์ในทฤษฎีที่มีการสูญเสียสมมาตร CP ซึ่งเป็นสมมาตรรวมของสมมาตรสังยุคของประจุ (charge conjugation symmetry) และสมมาตรแพริตี (parity symmetry) ในแบบจำลองมาตรฐาน (Standard Model)นั้น พารามิเตอร์ที่เป็นสาเหตุของการสูญเสียสมมาตร CP มีเพียงเฟสเชิงซ้อนในเมตริกซ์ Cabibbo-Kobayashi-Maskawa เท่านั้น และค่าโมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอิเลกตรอนที่ได้จากแบบจำลองนี้มีค่าน้อยกว่าค่าขอบที่ได้จากการทดลองมาก ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่าอาจมีทฤษฎีที่สามารถทำนายค่าโมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอิเลกตรอนได้มากขึ้น ทฤษฎีหนึ่งในจำนวนนั้นได้แก่การขยายเชิงสมมาตรยวดยิ่งของแบบจำลองมาตรฐานที่เรียกว่า Minimal Supersymmetric Standard Model ซึ่งมีจำนวนพารามิเตอร์ที่เป็นเหตุของเกิดการสูญเสียสมมาตร CP มากขึ้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอิเลกตรอนได้ถูกคำนวณในระดับหนึ่งลูป (one-loop) ของทฤษฎีสนามควอนตัมโดยใช้แบบจำลอง constrained Minimal Supersymmetric Standard Model ซึ่งมีเฟสที่ทำให้เกิดการสูญเสียสมมาตร CP จำนวน 2 เฟส ในการคำนวณพบว่าโมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอิเลกตรอนได้รับผลมาจากแผนภาพการแลกเปลี่ยนอนุภาค neutralino และอนุภาค chargino นอกจากนี้ ค่าขอบของโมเมนต์ขั้วคู่เชิงไฟฟ้าของอิเลกตรอนที่ได้จากการทดลองและจากสูตรในการคำนวณสามารถนำไปใช้ในการบังคับพารามิเตอร์บางตัวที่ยังไม่ทราบค่าในทฤษฎีได้

ภาควิชา..ฟิสิกส์.....ลายมือชื่อนิสิต.....วรินทร ศรีทะวงศ์.....
สาขาวิชา..ฟิสิกส์.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....รุจิกร ธนวิทยาพล.....
ปีการศึกษา..2548.....

4672401523 : MAJOR PHYSICS

KEY WORDS : ELECTRIC DIPOLE MOMENT/SUPERSYMMETRY/STANDARD MODEL/CP VIOLATION/QUANTUM FIELD THEORY/PARTICLE PHYSICS

WARINTORN SREETHAWONG : LEPTON ELECTRIC DIPOLE MOMENTS IN SUPERSYMMETRIC THEORIES. THESIS ADVISOR : RUJIKORN DHANAWITTAYAPOL, PH.D., 77 pp. ISBN 974-53-2545-7.

An electric dipole moment (EDM) of an elementary particle is a quantum effect which vanishes unless the CP symmetry, the combination of charge conjugation and parity symmetries, of the underlying theory is broken. In the Standard Model of particle physics, the parameter responsible for CP violation is only the complex phase in the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrix, and the predicted value of the electron EDM is many orders of magnitude smaller than the experimental bounds. It is thus tempting to have the theories that can predict larger values of the electron EDM. One such theory is a supersymmetric extension of the Standard Model, known as the Minimal Supersymmetric Standard Model, which contains more CP violation parameters.

In this thesis, the electron EDM is calculated at the one-loop level of Quantum Field Theory, in the framework of the constrained Minimal Supersymmetric Standard Model with two CP-violating phases. It is found that the electron EDM receives contributions from neutralino and chargino exchange diagrams. With the experimental bounds of the electron EDM, the obtained formula for the EDM can be used to constrain some unknown parameters of the theory.

Department ...Physics..... Student's signature .....

Field of study ...Physics..... Advisor's signature Rujikorn Dhanawittayapol

Academic year ...2005.....

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express her gratitude to her thesis advisor, Dr. Rujikorn Dhanawittayapol for his useful advice, encouragement and helps in various ways.

She would like to thank the thesis committee, Dr. Ahpisit Ungkitchanukit, Assistant Professor Dr. Udomsilp Pinsook and Dr. Narumon Suwonjandee, for their helps in reading and criticizing the manuscript.

She also would like to thank the students in the Theoretical High-Energy Physics and Cosmology research group for their helps. Her special thanks go to Mr. Itzadah Thongkool for his encouragement and mental support, and for drawing the diagrams in this thesis with great care.

She is also extremely grateful to her family that has supported her during the whole period of her education.

Finally, she thanks the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology for providing the scholarship under the Development and Promotion of Science and Technology Talents Project (DPST) throughout her study.

CONTENTS

Page

Abstract in Thai iv

Abstract in English v

Acknowledgements vi

Contents vii

List of Tables ix

List of Figures x

Chapter

I Introduction 1

II The Standard Model 3

2.1 The Standard Model gauge groups 3

2.2 Lagrangian of the Standard Model 5

2.3 Spontaneous symmetry breaking 8

2.4 The mass spectrum of the Standard Model 9

2.5 CP violation in the Standard Model 15

2.6 The EDM of the electron in the Standard Model 18

III Supersymmetric Extension of The Standard Model 21

3.1 Why supersymmetry 21

3.2 Dirac, Weyl and Majorana spinors 25

3.3 Chiral and vector supermultiplets 28

3.4 Supersymmetry transformations 30
3.5 Supersymmetric Lagrangians 31
3.6 Soft supersymmetry breaking interactions 33
3.7 The Minimal Supersymmetric Standard Model 34
3.7.1 The particle content 35
3.7.2 Superpotential and supersymmetric interactions 38
3.7.3 Soft supersymmetry breaking in the MSSM 40
3.7.4 Electroweak symmetry breaking in the MSSM 40
3.8 Neutralinos and charginos 42
3.8.1 The neutralino mass matrix 42
3.8.2 The chargino mass matrix 44
3.9 Masses and mixing of the selectrons 47

IV Electron EDM in the MSSM 50
4.1 CP-violating phases of the MSSM 50
4.2 One-loop contributions to the electron EDM 55
4.2.1 One-loop calculations 56
4.2.2 The chargino contribution 63
4.2.3 The neutralino contribution 64

V Conclusions 67

References 70

Appendix 76

Vitae 77

LIST OF TABLES

Table		Page
2.1	Particle content of the Standard Model.	7
3.1	Chiral supermultiplets in the Minimal Supersymmetric Standard Model.	37
3.2	Gauge supermultiplets in the Minimal Supersymmetric Standard Model.	38

LIST OF FIGURES

Figure		Page
3.1	The Higgs self-energy diagram with a fermion loop.	23
3.2	The Higgs self-energy diagram with a boson loop.	23
3.3	Additional loop diagram contribution after the spontaneous symmetry breaking.	24
4.1	Loop diagrams with a photon line attached to the slepton: (a) the diagram with particle labels; and (b) the same diagram with momentum labels.	56
4.2	Loop diagrams with a photon line attached to the chargino: (a) the diagram with particle labels; and (b) the same diagram with momentum labels.	60