ความน่าจะเป็นเชิงควอนตัมในตรรกศาสตร์ของกลศาสตร์ควอนตัม

นางสาว พิศศรี อติสุนทรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-477-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015775

I10302403X

QUANTUM PROBABILITY IN THE LOGIC OF QUANTUM MECHANICS

Miss Pitsri Atisoontornkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-477-9

Thesis Title Quantum Probablity in the Logic of Quantum Mechanics

By Miss Pitsri Atisoontornkul

Department Physics

Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Preedeeporn Limcharoen

---

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

Thavorn Vajrabhaya Dean of Graduate School

(Professor Dr. Thavorn Vajrabhaya)

Thesis Committee

Kitt Visoottiviseth. Chairman

(Associate Professor Dr. Kitt Visoottiviseth)

Preedeeporn Limcharoen Thesis Advisor

(Assistant Professor Dr. Preedeeporn Limcharoen)

Ahpisit Ungkitchanukit Member

(Dr. Ahpisit Ungkitchanukit)

Pisistha Ratanavararaksa Member

(Assistant Professor Dr. Pisistha Ratanavararaksa)

Sidney S. Mitchell Member

(Dr. Sidney S. Mitchell)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

พิศศรี อติสุนทรกุล : ความน่าจะเป็นเชิงควอนตัมในตรรกศาสตร์ของกลศาสตร์ควอนตัม (QUANTUM PROBABILITY IN THE LOGIC OF QUANTUM MECHANICS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ปรีดีพร ลิ้มเจริญ. 127 หน้า.

ได้มีผู้พยายามวางโครงสร้างทางตรรกศาสตร์ของกลศาสตร์ควอนตัมให้อยู่บนรากฐานเชิงสัจพจน์ ได้พิสูจน์ว่าขณะที่แคลคูลัสเชิงประพจน์ของกลศาสตร์แผนเดิมมีโครงสร้างทางตรรกศาสตร์เป็นแลตทิซแบบบูล แคลคูลัสเชิงประพจน์ของกลศาสตร์ควอนตัมกลับมีโครงสร้างทางตรรกศาสตร์เป็นแบบไม่ใช่บูล ยิ่งกว่านั้น แบบจำลองความน่าจะเป็นของระบบควอนตัมที่เรียกว่าแบบจำลองของความน่าจะเป็นเชิงควอนตัม ยังมีโครงสร้างทางคณิตศาสตร์แตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากแบบจำลองของความน่าจะเป็นแบบคอลมอกอรอฟ ซึ่งเป็นชื่อของแบบจำลองความน่าจะเป็นมาตรฐานของระบบแผนเดิม ได้นำผลเหล่านี้ซึ่งยังไม่มีข้อยุติมาวิเคราะห์และวิจารณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

PITSRI ATISOONTORNKUL : QUANTUM PROBABILITY IN THE LOGIC OF QUANTUM MECHANICS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR. PREEDEEPORN LIMCHAROEN 127 PP.

Several attempts have been made to establish the logical structure of quantum mechanics on an axiomatic foundation. It has been shown that, whereas the logical structure of the propositional calculus of classical mechanics is that of a Boolean lattice, the logical structure of the propositional calculus of quantum mechanics is non-Boolean. Moreover, a probability model of a quantum system, namely, the quantum probability model, has a mathematical structure completely different from that of the Kolmogorovian probability model, which is the standard probability model of a classical system. These results, which are still controversial, are analysed and put in critical perspective.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา พิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา พิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2531

ACKNOWLEDGEMENT

I wish to express my sincere gratitude to : Asst. Prof. Dr. Preedeeporn Limcharoen for his invaluable time and advices ; Dr. Aphisit Ungkitchanukit, Assoc. Prof. Dr. Kitt Visoottiviseth, Asst. Prof. Dr. Pisistha Ratanavararaksa and Dr. Sydney S. Mitchell for reading the thesis and providing thoughtful insights ; Assoc. Prof. Payong Tunsiri for her help as a coordinator ; and Assoc. Prof. Dr. Wijit Senghapan for providing a much-needed working space.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE OF CONTENTS

page

ABSTRACT iv

ACKNOWLEDGEMENT vi

TABLE OF CONTENTS vii

LIST OF TABLES xi

LIST OF ILLUSTRATIONS xii

CHAPTER

I INTRODUCTION 1

II THE INTERPRETATIONS OF QUANTUM MECHANICS 3

2.1 Introduction 3

2.2 The Interpretations 3

2.3 The Copenhagen Interpretation 5

2.3.1 What Is the Copenhagen Interpretation ? . 5

2.3.2 The Interpretational Problems Presented by the Quantum Mechanical Formalism 7

2.3.2.1 Identity : What Is the State Vector ? 7

2.3.2.2 Complexity : Why Is the State Vector a Complex Quantity ? 8

2.3.2.3 Collapse : How and Why Does the State Vector Abruptly Change ? . 8

2.3.2.4 Nonlocality : How Are Correlations of Separated Parts of the State Vector Arranged ? . 8

page

2.3.2.5 Completeness : Do Canonically Conjugate Variables Have Simultaneous Reality ? 10
2.3.2.6 Predictivity : Why Can We Not Predict the Outcome of an Individual Quantum Event ? 11
2.3.2.7 The Copenhagen Interpretation and the Uncertainty Principle .. 11
2.3.3 The Neo-Copenhagen Interpretation 12
2.4 Semiclassical Interpretations 13
2.4.1 Schrödinger's Electrodynamic Interpretation 13
2.4.2 De Broglie's "Guide Wave" Interpretation 14
2.4.3 The "Disturbance Model" 16
2.4.4 Other Semiclassical Models 16
2.5 Hidden Variable Theories 17
2.5.1 Motivations 17
2.5.2 Definitions 18
2.5.3 Hidden Variable Theories of the First, Second and Zeroth Kind 20
2.5.4 The Model of Bohm and Bub 22
2.6 Stochastic Interpretations 24
2.7 Transactional Interpretation 26
2.7.1 Advanced-Action Interpretations 27
2.8 Statistical Interpretation 28

page

2.9 Von Weizsäcker's Abstract Quantum Theory 29

2.9.1 Other Proposals for a Universal Quantum Theory 32

III QUANTUM LOGIC 34

3.1 Introduction 34

3.2 Early Works 34

3.3 Nondistributive Logic 37

3.4 Many-Valued Logic 40

3.5 The Axiomatic Approach 44

3.6 Generalizations 49

3.7 Quantum Logic and Logic 58

3.7.1 What Is Logic ? 58

3.7.2 Is Quantum Logic a Logic ? 60

IV QUANTUM PROBABILITIES 65

4.1 Introduction 65

4.2 Axiomatic Quantitative Probability 65

4.3 Interpretation of the Concept of Probability ... 67

4.3.1 Classical Concept 68

4.3.2 Relative Frequency 68

4.3.3 Subjective or Personal Probability 69

4.3.4 Propensity Interpretation 70

4.4 Quantum Probabilities 71

4.4.1 Accardi 72

4.4.2 Aerts 75

4.4.3 Pitowsky 80

page

V CONCLUSION 84

REFERENCES 86

APPENDICES 98

A HILBERT SPACES 99

B THE FORMALISM OF FINITE SYSTEMS 103

C THE EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN PARADOX 104

C.1 Introduction 104

C.2 The EPR Paradox 104

C.3 The Two-Particle Correlation Function 105

C.4 Attempt to Resolve the EPR Paradox by Means of "Local Hidden Variables" 107

C.5 Bell's Inequality 107

C.6 Comparision of Local Hidden Variable Theory with Experiment 109

C.7 Einstein-Separable Hidden Variable Models 110

C.8 Non-Local Hidden Variable Theories 111

C.9 Conclusion 112

D Relations and Orders 113

E Lattice Theory 118

F Measurement of the First, Second and Third Kind 126

CURRICULUM VITAE 127

LIST OF TABLES

Table		page
3.1	Truth tables of Łukasiewicz's system	36
3.2	Truth tables of Février's system	41
3.3	Reichenbach's three kinds of negation	42
3.4	Truth tables of Reichenbach's system	43
4.1	Accardi's criteria for distinguishing between Kolmogorovian, complex Hilbert space and real Hilbert space probability models	75
4.2	Differences between hidden variable theory and quantum theory, according to Aerts	75
D.1	Properties of relations	114
D.2	Implied properties of relations	115
D.3	Order relations	116
D.4	Implied order relations	117

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF ILLUSTRATIONS

Figure		page
4.1	A positive charge q is located on the sphere at (r,θ,ϕ) and two negative charges q_1 and q_2 are chosen as explained in the text and located on the sphere at points (r,α,β) and $(r,\pi-\alpha,\pi-\beta)$.	77
4.2	We consider the three charges of Fig 4.1 as they are located in one plane.	77
4.3	The three measurements, e, f and g that are considered to show that the system of Fig 4.1 does not allow a Kolmogorovian probability model.	78
4.4	The same physical situation as Fig 4.1, but now the charge q is only allowed to move on the sphere.	79
4.5	The three measurements e, f and g that are considered to show that the system of Fig 4.4 does not allow a quantum probability model.	79
E.1	Hasse diagrams of lattices of five elements	120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย