การหาสมการคล็อคต์ชเรอดิงเงอร์โดยตรงจากสมการชเรอดิงเงอร์และการประยุกต์

นาย สุธี บุญช่วย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2975-4

DERIVATION OF THE CLOCKED SCHROEDINGER EQUATION BY USING DIRECTLY THE SCHROEDINGER EQUATION AND APPLICATIONS

Mr. Sutee Boonchui

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Physics

Department of Physics
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic year 2005
ISBN 974-53-2975-4

Thesis Title	DERIVATION OF THE CLOCKED SCHROEDINGER EQUATION BY USING DIRECTLY THE SCHROEDINGER EQUATION AND APPLICATIONS
By	Mr. Sutee Boonchui
Thesis Advisor	Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor Virulh Sa-yakanit, F.D.

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

.... Dean of the Faculty of Science

(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

Pisistha Ratanavararak .... Chairman

(Assistant Professor Pisistha Ratanavararak, Ph.D.)

Wichit Sritrakool .... Thesis Advisor

(Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.)

V. Sayakanit .... Thesis Co-advisor

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

Suthat Yoksan .... Member

(Professor Suthat Yoksan, Ph.D.)

.... Member

(Chatchai Srinitiwarawong, Ph.D.)

Nakorn Phaisangittisakul .... Member

(Nakorn Phaisangittisakul, Ph.D.)

สุธี บุญช่วย : การหาสมการคล็อคต์ชเรอดิงเงอร์ โดยตรงจากสมการชเรอดิงเงอร์ และการประยุกต์ (DERIVATION OF THE CLOCKED SCHROEDINGER EQUATION BY USING DIRECTLY THE SCHROEDINGER EQUATION AND APPLICATIONS) อ. ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. วิชิต ศรีตระกูล และ อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศาสตราจารย์. ดร. วิรุฬห์ สายคณิต, 61 หน้า ISBN 974-53-2975-4

สมการคล็อคต์ชเรอดิงเงอร์ถูกเสนอด้วยโซโคลอบสคิ โดยใช้วิธีการอินทิเกรตตามวิถีที่มีเงื่อนไขบังคับในการพิสูจน์ (Phys. Rev. A **52**, R5, 1995) โซโคลอบสคิ กล่าวอ้างว่า สมการคล็อคต์ชเรอดิงเงอร์ไม่สามารถพิสูจน์ได้โดยตรงจากสมการชเรอดิงเงอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้ เราได้แสดงการพิสูจน์สมการคล็อคต์ชเรอดิงเงอร์จากสมการชเรอดิงเงอร์ โดยได้พิสูจน์ใน 2 วิธีการคือ (1) การแทนฟังก์ชันคลื่นโดยตรงลงในสมการชเรอดิงเงอร์และ (2) การลดรูปเชิงประกอบระบบที่ประกอบด้วย ระบบที่เราสนใจและระบบของเครื่องวัดหรือตัวระบุบ เช่นเดียวกับนิยามของฟอนนอยแมนน์ สำหรับการประยุกต์ เราได้เตรียมสถานะของระบบในชเรอดิงเงอร์พิกเชอร์จากสถานะเอนแทงเกิลเมนท์ และสมการอนุพันธ์สำหรับหาแอมพิจูดความน่าจะเป็นของระบบควอนตัมใดๆ ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจากสมการชเรอดิงเงอร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาและ เราได้ใช้แบบจำลอง เจนส์-คัมมิงส์ สำหรับแสดงตัวอย่าง

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต.......สุธี บุญช่วย.......

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.......วิชิต ศรีตระกูล.......

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.......วิรุฬห์ สายคณิต.......

467 38354 23 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD : THE CLOCKED SCHROEDINGER / THE QUANTUM-CLASSICAL BOUNDARY / THE WEAK MEASUREMENT / FEYNMAN PATH / TRAVERSAL TIME

SUTEE BOONCHUI : DERIVATION OF THE CLOCKED SCHROEDINGER EQUATION BY USING DIRECTLY THE SCHROEDINGER EQUATION AND APPLICATIONS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WICHIT SRITRAKOOL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. VIRULH SA-YAKANIT, F.D., 61 pp. ISBN 974-53-2975-4.

The clocked Schroedinger equation was proposed by Sokolovski using the Feynman path integrals with constraint (Phys. Rev. A **52**, R2, 1995). Sokolovski pointed out that the clocked Schroedinger equation (clocked SE) cannot be derived directly from the Schroedinger equation (SE). In this thesis, we show that the clocked Schroedinger equation can be derived by starting from the ordinary Schroedinger equation. We derive the clocked SE by two methods: (i) substitution of the wave function into the ordinary SE and (ii) reduction of a composite system, composed of the observed system and the apparatus system or the pointer, as defined by von Neumann. For applications, we provide the ket state in the Schroedinger picture from the entangled state and the differential equation for solving the probability amplitude of a quantum system as a function of time from the time-independent SE. We use the Jaynes-Cummings model for an example.

Department of Physics	Student's signature...Sootu Boonchuay......
Field of study: Physics	Advisor's signature...Wichit Sritrakool......
Academic year 2005	Co-advisor's signature...Virulh Sayakanit......

Acknowledgements

I would like to express my deep gratitude to my advisor associate Professor Wichit Sritrkool and co-advisor Professor Virulh Sa-yakanit for valuable advice and assistance in every aspect. My special thanks also go to the Theoretical Quantum Dynamics group of Freiburg University in Germany, especially to Professor John S. Briggs and Dr. Walter T. Strunz for providing me with great and valuable experiences during my stay in Freiburg.

Contents

List of Figures

List of Symbols

a,b,c,...	complex number
$\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \ldots$	operator
$\Theta_\Omega[x]$	step function which equals 1 if $x \in \Omega$ and 0 otherwise
t_Ω^{cl}	traversal time
$\eta(E)$	phase shift
τ_c	classical time delay
τ_q	quantum mechanical time delay
τ_D	dwell time
$\phi_{//}$	angle of rotation in xy-plane
$\phi_\perp$	angle of rotation in vertical xy-plane
τ	time which the particle have spent in the given region prior to time t
$\psi(x,t\,\vert\,\tau)$	traversal time
$\mathbf{V}_{int}(t)$	weak measurement interaction
$F[x..x]$	a physical quantity which is a functional along a path $x(t)$
$< F >_T$	the time average of a quantity $F[x..x]$
$\mathbf{H}_0$	Hamiltonian of the observed particle
$\mathbf{H}_y$	Hamiltonian of the test particle
$\mathbf{H}_A$	Hamiltonian of the apparatus
$\mathbf{H}_S$	Hamiltonian of the quantum system
$\mathbf{H}_e$	Hamiltonian of the environment system
$\mathbf{V}_I$	coupling interaction between quantum system and environment system

$W(R)$	Hamilton's characteristic function for the environment system
$\mathbf{H}_{JC}$	Hamiltonian of the Jaynes-Cummings model
$\mathbf{H}_F$	Hamiltonian of the quantized field
$\mathbf{V}_{FS}$	coupling interaction between quantized field and two-level atom
n	number of particles in the barrier
N_C	normalization constant