

อิทธิพลของความไร้ระเบียบต่อการขนส่งแบบควอนตัมของวอร์เท็กซ์ทั้งหลายของรอย
ต่อโจเซฟสัน ในแถวลำดับ 2 มิติ

นาย ทรงวุฒิ ฉิมจินดา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-535-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INFLUENCE OF DISORDER ON THE QUANTUM TRANSPORT OF VORTICES
IN TWO DIMENSIONAL ARRAYS OF JOSEPHSON JUNCTIONS

Mr. Songvudhi Chimchinda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

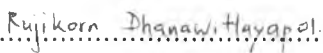
ISBN 974-346-535-9

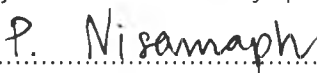
Thesis Title Influence of Disorder on the Quantum Transport of Vortices in
 Two Dimensional arrays of Josephson Junctions
By Mr. Songvudhi Chimchinda
Department Physics
Thesis Advisor Pornthep Nisamaneephong, Ph.D.

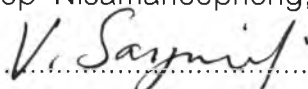
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

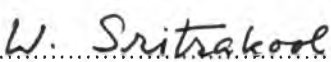
..... Dean of Faculty of Science
(Associate Professor Wanchai Phothiphichitr, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman
(Rujikorn Dhanawittayapol, Ph.D.)

.....Thesis Advisor
(Pornthep Nisamaneephong, Ph.D.)

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

.....Member
(Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.)

ทรงวุฒิ ฉิมจินดา: อิทธิพลของความไร้ระเบียบต่อการขนส่งแบบควอนตัมของวอร์เท็กซ์ทั้งหลาย
ในรอยต่อโจเซฟสัน ในแกวลำดับ 2 มิติ. (INFLUENCE OF DISORDER ON THE QUANTUM
TRANSPORT OF VORTICES IN TWO DIMENSIONAL ARRAYS OF JOSEPHSON
JUNCTIONS) อ. ที่ปรึกษา: อ.ดร. พรเทพ นิตามณีพงษ์: 70 หน้า ISBN 974-346-535-9.

อิทธิพลของความไร้ระเบียบที่มีต่อรอยต่อโจเซฟสันในแกวลำดับ 2 มิติ ถูกศึกษาโดยดู
สิ่งแปลกปลอม(impurities)ที่มีในรอยต่อโจเซฟสัน โดยสร้างการจำลองของการเปลี่ยนสถานะจาก
ตัวนำยิ่งยวดสู่สถานะฉนวน ด้วยวิธีการมอนทีคาร์โล(Monte Carlo) ซึ่งทำโดยใช้โมเดลของสปิน
กลาสเอ็กซ์วาย (spin-glass XY model) พบว่าที่ปริมาณของสิ่งแปลกปลอมมากจนถึงระดับหนึ่ง
จะเกิดการเปลี่ยนสถานะ(phase transition) เมื่อระบบเข้าสู่สถานะฉนวน วอร์เท็กซ์ทั้งหลายจะ
เคลื่อนที่โดยการกระโดด เราสร้างการจำลองแบบมอนทีคาร์โลโดยปรับปรุงมาจากการจำลองของ
ปัญหาคูลอมบ์แกป(Coulomb Gap) ซึ่งปรับปรุงโดยเติมผลของอันตรกิริยาแบบวอร์เท็กซ์และพลัง
งานบนไซต์(site) เดียวกัน ทำให้ได้ความหนาแน่นของสถานะ(Density of states)ในหลายพารา
มิเตอร์ของความไร้ระเบียบและพลังงานบนไซต์เดียวกัน

ภาควิชา ฟิสิกส์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

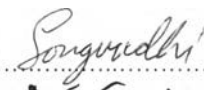

3970602023 : MAJOR PHYSICS

KEYWORD: DISORDER/ VORTEX/ JOSEPHSON JUNCTION

SONGVUDHI CHIMCHINDA: INFLUENCE OF DISORDER ON THE QUANTUM TRANSPORT OF VORTICES IN TWO DIMENSIONAL ARRAYS OF JOSEPHSON JUNCTIONS. THESIS ADVISOR: PORNTHEP NISAMANEEPHONG, Ph.D., 70 pp. ISBN 974-346-535-9.

The influence of disorder on the two dimensional Josephson junction arrays is studied by the introducing impurities into the junction. The superconductor-insulator transition was stimulated by using the spin glass XY model, and using the Monte Carlo simulation. At sufficient amount of impurities, the phase transition appears. When the system is in the insulating phase, vortices can move by hopping. We modify the Monte Carlo method for the Coulomb gap problem to our model by including the vortex interaction and the on-site repulsive interaction. We obtained the density of the states in various parameters of disorder and on-site repulsive energy.

Department Physics
Field of study Physics
Academic year 2000

Student's signature.....
Advisor's signature.....

Acknowledgements



The author wishes to express his gratitude to his supervisor, Dr. Pornthep Nisama-
neephong for his advice, guidance, and kindness given to the author. Spe-
cial thanks also go to Mr. Saree Phongphanphanee and Mr. Sujint Wangsuya
for giving some useful advices concerning the technical problem on computer,
Mr. Suchat Kaskamalas for looking after the author through his work, Doctor
Panu Cuwuttayakorn for treating the author's health, Miss Piyanate Chuychai
for typing the manuscript. Finally, he would like to express his sincere thanks
to Prof. Virullh Sa-yakanit, Assoc. Prof. Wichit Sritrakool and Dr. Rujikorn
Dhanawittayapol for serving on the thesis committee.

Contents

Abstract in Thai	iv
Abstract in English	v
Acknowledgements	vi
Table of Contents	vii
List of Figures	ix
1 Introduction	1
2 Theoretical Background	5
2.1 Anderson Localization	5
2.2 The Josephson Tunneling Effect	15
2.3 Quantum Vortex	20
3 The XY model	24
3.1 The Quantum XY Model	24

3.2	Mean Field Theory	25
3.3	Effect of Charging Energy	29
4	Simulation of Superconductor-Insulator Transition in Two-Dimensional Disordered Josephson Junction Arrays	32
4.1	Limit of Neglecting Charging Effect	33
4.2	Model Approach	34
5	Coulomb Gap for Vortex-Vortex Interaction	45
5.1	Coulomb Gap Problem	46
5.2	Simulation of Coulomb Gap Problem	49
5.3	Simulation of Bosons under Vortex-Vortex Interaction	52
6	Discussion and Conclusion	61
	References	63
	Appendix	65
A	Variable Range Hopping	65
	Curriculum Vitae	70

List of Figures

2.1	Anderson model: Potential wells of different depths at the lattice sites of a three-dimensional point lattice.	6
2.2	Energy band for a simple three-dimensional potential model (periodic potential with an isolated defect) as a function of the deviation U of the defect potential from the potential from the potential at an undisturbed lattice site. Depending on the sign of U , the state of highest or lowest energy splits out from the quasi-continuous band. The split-off state is spatially localized to the vicinity of the defect. The remaining delocalized band states are only displaced slightly in energy. This result justifies the retention of the band model and its extension with defect levels to describe crystals distorted by a small concentration of defects.	9

2.3	Density of states (solid curves) and distribution of the extended states (dashed curves) for an energy band of an ordered and a disordered lattice. E_B -band edge; $E_c, E_{c'}$ -limits between localized and extended states.	11
2.4	Typical wave function of (a) extended state with mean free path l ; (b) localized state with localization length ξ	12
2.5	Schematic illustration of the mobility edge E_c , which separate localized and extended states. The two possibilities of a continuous or discontinuous transition with σ_{min} are shown.	14
2.6	Sketch of shielding currents circulation around a vortex core. We can prove by using the Ginzberg-Landau theory that, the magnetic flux which penetrates into a superconductor in the mixed-state will be quantized in the unit of fluxoid Φ_0 , where Φ_0 is the quantum of flux and equal to $\frac{h}{2e}$	21
2.7	Sketch showing how the magnetic field B_{in} inside a superconductor increases as the concentration of vortices increases and their fields increasingly overlap.	22
4.1	The energies of 100 stationary states as a function of their magnetization. These states were obtained by starting the minimization of the energy from 50 different random initial conditions. Data for a 20×20 system with $x = 0.2$	36

4.2	Spin configuration for the state of lowest energy in Fig. 4.1.	37
4.3	Energy as a function of threshold field H^*	40
4.4	Spin configuration for the state of lowest energy in Fig. 4.3.	41
4.5	The magnetization per spin M versus the concentration of impurities x	44
5.1	The DOS obtained by simple averaging for the 16×16 arrays at $A = 1$. A straight line is the low-energy solution of SCE.	52
5.2	Density of states in the limit of $U > A$. The set of parameters are lattice size $N=8$, $A=1$ and $U=3$	54
5.3	Density of states in the limit of $U \gg A$. The set of parameters are lattice size $N=8$, $A=1$ and $U=5$	55
5.4	Density of states in the case of $U < A$. The parameters are lattice size $N=8$, $A=2$ and $U=1$	57
5.5	Density of states in the limit $U \ll A$. The parameters are lattice size $N=8$, $A=3$ and $U=1$	58
5.6	Density of states in the case of $U \sim A$. The parameters are lattice size $N=8$, $A=2$ and $U=2$	59
5.7	Density of states in the case of $U \sim A$. The parameters are lattice size $N=10$, $A=2$ and $U=2$	60

A.1 Hopping processes between localized states with statistically distributed position and energy. The hopping probability is determined by the spatial distance and the energy difference between the two states. 66