การจำลองการขนส่งรังสีคอสมิกระหว่างดาวเคราะห์ที่ลมสุริยะมีอัตราเร็วเปลี่ยนค่าได้

นายทรงกลด รียะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-484-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17138364

SIMULATIONS OF THE INTERPLANETARY TRANSPORT OF COSMIC RAYS WITH A VARYING SOLAR WIND SPEED

Mr. Songklod Riyavong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-484-7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Simulations of the Interplanetary Transport of Cosmic Rays with a Varying Solar Wind Speed
By	Mr. Songklod Riyavong
Department	Physics
Thesis Advisor	David Ruffolo, Ph.D.

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

..... Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D)

Thesis Committee

..... Chairman
(Associate Professor Mayuree Natenapit, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(David Ruffolo, Ph. D.)

..... Member
(Assistant Professor Pisistha Ratanavararaksa, Ph.D.)

..... Member
(Ahpisit Ungkitchanukit, Ph.D.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

นาย ทรงกลด รียะวงศ์ : การจำลองการขนส่งรังสีคอสมิกระหว่างดาวเคราะห์ที่ลมสุริยะมีอัตราเร็วเปลี่ยนค่าได้ (SIMULATIONS OF THE INTERPLANETARY TRANSPORT OF COSMIC RAYS WITH A VARYING SOLAR WIND SPEED) อ. ที่ปรึกษา : ดร. เดวิด รูฟโฟโล, 100 หน้า. ISBN 974-636-484-7

ได้ศึกษาวิธีการ PLIM เพื่อที่จะนำไปใช้ศึกษาการขนส่งรังสีคอสมิกข้ามคลื่นกระแทกที่เกิดจากการประทุบนดวงอาทิตย์ เราได้ทดสอบ PLIM กับปัญหาค่าเริ่มต้นอย่างง่ายที่เป็นฟังก์ชันแบบขั้นและแบบมีจุดยอด เราพบว่า PLIM สามารถใช้ได้ดีกับฟังก์ชันแบบขั้นเท่านั้น แต่เมื่อนำไปใช้กับฟังก์ชันแบบมีจุดยอดแล้ว PLIM จะให้ผลที่ไม่ค่อยแม่นยำนัก ดังนั้น PLIM จึงไม่สามารถนำมาใช้กับเงื่อนไขเริ่มต้นที่สมจริงที่ใช้ในงานนี้ได้ ดังนั้นเราจึงกลับไปใช้วิธีการเดิมที่พัฒนาโดย รูฟโฟโล เพื่อจำลองการขนส่งรังสีคอสมิก โดยเฉพาะอนุภาคที่มีพลังงานสูงในตัวกลางระหว่างดาวเคราะห์ ข้ามคลื่นกระแทกโดยใช้หลักการอนุรักษ์โมเมนต์แม่เหล็กและขนาดของโมเมนต์มของอนุภาค เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์และแอนไอโซทรอปีของรังสีคอสมิก ก่อนและหลังข้ามคลื่นกระแทก หลังจากนั้นนำผลจากการจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกตจากยานอวกาศ ISEE-3 เราพบว่าแอนไอโซทรอปีสอดคล้องกันในเชิงคุณภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต ทรงกลด รียะวงศ์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เดวิด รูฟโฟโล

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C625424 : MAJOR PHYSICS
KEY WORD:

COSMIC RAYS / SOLAR FLARE / PIECEWISE LINEAR INTERPOLATION

SONGKLOD RIYAVONG : SIMULATIONS OF THE INTERPLANETARY TRANSPORT OF COSMIC RAYS WITH A VARYING SOLAR WIND SPEED.
THESIS ADVISOR : DAVID RUFFOLO, Ph.D.

100 PP. ISBN 974-636-484-7

The Piecewise Linear Interpolation Method (PLIM) was studied so as to be used to investigate the transport of cosmic rays across a solar-flare shock. It was tested with simple initial value problems in the form of step and peak functions. We found that PLIM can be applied only to the step function but when applied to the peak function it works rather poorly. Thus it cannot be applied to realistic initial conditions such as in this work. Therefore, we turn to the work developed by Ruffolo instead for simulating the transport of cosmic rays, particularly energetic charged particles in the interplanetary medium, crossing a solar-flare shock, by making use of the conservations of magnetic moment and magnitude of momentum of a particle, so as to study changes in the flux and anisotropy of cosmic rays before and after crossing the shock. Thereafter the results from the simulation were compared with observations from the ISEE-3 spacecraft. We found that the anisotropies agree qualitatively

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต ทนงศลก ริยะวงศ์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เดวิด รูฟโฟโล

ปีการศึกษา ๒๕๓๕ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

Acknowledgments

I gratefully thank my advisor, Dr. David Ruffolo, for his assignment of the research, motivation, guidance and good atmosphere in working. The research has gotten financial support from the Thailand Research Fund and I have gotten a scholarship from the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. I also thank both of them.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table of Contents

Page

Abstract in English iv

Abstract in Thai v

Acknowledgements vi

List of Figures ix

Chapter 1 Introduction 1

1.1 The Panorama of the thesis 1

1.2 Objectives 3

1.3 Outline of the thesis 3

1.4 Usefulness of the research 4

Chapter 2 Introduction to Physical Study of Cosmic Rays . . . 5

2.1 Cosmic Rays 5

2.2 Solar Wind 5

2.3 Solar Flare 6

2.4 Anisotropy 6

2.5 Downstream, Upstream Regions and Solar-Flare Shock 7

Chapter 3 Piecewise Linear Interpolation Method 8

3.1 Introduction 8

3.2 Linear, First-Order Partial Differential Equations 9

3.3 The Piecewise Linear Interpolation Method 13

3.4 Numerical Results 27

3.5 Conclusion 34

Chapter 4 Transport of Cosmic Rays Across Shock 35

4.1 Introduction 35

4.2 Reference Frames 35

4.3 Conservation and Lorentz Transformation of Physical Quantities 35

4.4 Numerical Method 39

4.5 Numerical Results 41

4.6 Data Analysis 49

Chapter 5 Conclusion 51

References 52

Appendix A 54

Appendix B 56

Appendix C 58

Cirriculum Vitae 100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Figures

Figure		Page
Figure 2.1	Diagram showing downstream, upstream and shock	7
Figure 3.1	Discretization mesh	15
Figure 3.2	Front-type and triangular distributions	18
Figure 3.3	Schematic diagram showing all parameters on cell boundaries	21
Figure 3.4	Schematic diagram showing I_0 and I_c on a boundary	25
Figure 3.5	Analytic and PLIM solutions of problem 1	29
Figure 3.6	Analytic and PLIM solutions of problem 2	33
Figure 4.1	Initial distribution of particles	42
Figure 4.2	Distribution due to propagation effect	43
Figure 4.3	Distribution due to both propagation and acceleration effects	46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย