การจำลองพัลส์ของรังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์

นางสาว ฑิราณี ขำล้ำเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-055-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16415464

MODELING PULSES OF SOLAR COSMIC RAYS

Miss Thiranee Khumlumlert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-055-1

Thesis Title	Modeling Pulses of Solar Cosmic Rays
By	Miss Thiranee Khumlumlert
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.

Santi Thongsuwan ..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Santi Thongsuwan, Ph. D.)

Thesis Committee

Pisistha Ratanavararaksa ..... Chairman

(Pisistha Ratanavararaksa, Ph. D.)

David Ruffolo ..... Thesis Advisor

(David Ruffolo, Ph. D.)

Pirapat Sirisomboonlarp ..... Member

(Pirapat Sirisomboonlarp, Ph. D.)

Ahpisit Ungkitchanukit ..... Member

(Ahpisit Ungkitchanukit, Ph. D.)

C625457 : MAJOR PHYSICS
KEY WORD: PULSE/ TRANSPORT EQUATION/ SOLAR COSMIC RAYS
THIRANEE KHUMLUMLERT : MODELING PULSES OF SOLAR COSMIC RAYS.
THESIS ADVISOR : DAVID RUFFOLO, Ph.D. 98 pp. ISBN 974-633-055-1

We simulate the transport of particles released from the Sun by the wind program (Ruffolo 1995) in the interplanetary of 1 AU. We find the dense pulses of solar cosmic rays rapidly propagate outward in the strong focusing region near the Sun. Later on, they slowly decay in the diffusion region with increasing distance from the Sun, which is similar to approximate theoretical results of Earl (1976b). We show that one can neglect the effects of motion perpendicular to the magnetic field. We studied the injection profile of cosmic ray particles from the Sun, and found that the duration of particle emission for an impulsive flare has a short duration, but for a gradual flare it has a long duration.

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต ธิรนี ขำลำเลิศ

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เดวิด รุฟโฟโล

ปีการศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทิราณี ขำล้ำเลิศ : การจำลองพัลส์ของรังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์ (MODELING PULSES OF SOLAR COSMIC RAYS) อ.ที่ปรึกษา : ดร. เดวิด รูฟโฟโล, 98 หน้า.
ISBN 974-633-055-1

การจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม WIND (Ruffolo 1995) ในสนามแม่เหล็กระหว่างดาวเคราะห์ที่ระยะทาง 1 AU พบว่าพัลส์ความหนาแน่นของอนุภาครังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ออกจากดวงอาทิตย์อย่างรวดเร็วเข้าไปในบริเวณที่มีการโฟกัส (focusing) อย่างแรงบริเวณใกล้ดวงอาทิตย์ หลังจากนั้นอนุภาคจะค่อยๆ สลายตัวลงอย่างช้าๆ ในบริเวณที่มีการฟุ้ง (diffusion) ตามการเพิ่มของระยะทางตามเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งสอดคล้องกับการประมาณโดยใช้ทฤษฎีของ Earl (1976b) ในการจำลองการเคลื่อนที่นี้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวตั้งฉากกับเส้นสนามแม่เหล็ก การศึกษาลักษณะการปลดปล่อยอนุภาครังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์ พบว่าระยะในการปลดปล่อยอนุภาคสำหรับการลุกจ้าอย่างทันทีทันใด (Impulsive Flare) ใช้ระยะเวลาสั้น แต่สำหรับการลุกจ้าอย่างค่อยเป็นค่อยไป (Gradual Flare) ใช้ระยะเวลาในการปลดปล่อยอนุภาคที่นานกว่า

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต ทิราณี ขำล้ำเลิศ

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เดวิด รูฟโฟโล

ปีการศึกษา ๒๕๔๑ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

Acknowledgments

The author wishes to express her sincere thanks to Mr. David Ruffolo for his continuous encouragement, guidance and help during the course of his work as my thesis advisor. I am very grateful to the Austrian-Thai Center and computational Chemistry Unit Cell at the Department of Chemistry, Faculty of science for allowing me to run simulations of cosmic ray transport on their UNIX computer, and the library of the Department of Physics for allowing me to write and run programs on a 486DX PC-compatible computer.

Table of Contents

Page

Abstract in English iv

Abstract in Thai v

Acknowledgements vi

List of Figures x

List of Tables xii

Chapter I Introduction 1

The Objectives of This Thesis 3

Procedure and Outline of This Work 3

The Usefulness of This Work 4

Chapter II Theoretical Background 5

The Solar Wind 5

Interplanetary Magnetic Field 6

Charged Particles Transport 9

Adiabatic Deceleration 12

Spiral Magnetic Field 15

Other Effects of the Solar Wind 17

Modified Equation of Focused Transport 18

Chapter III Computer Simulations of the Transport of Solar Cosmic Rays from the Sun to the Spacecraft 23

Introduction to finite-Difference Methods 23

A Finite-Difference Method for This Transport Equation 25

How to Use This Program 30

Chapter IV The Effects of Drifts and Diffusion on the Propagation of Solar Cosmic Rays 33

Perpendicular Drifts 33

Perpendicular Diffusion 35

Result of Previous Work 35

Result for Drifts and Diffusion of Solar Cosmic Rays 37

Chapter V A Comparison Between Computer Simulations and Approximate Theoretical Results 40

The Density of Particles Released from the Sun 40

Approximate Theoretical Results of Earl 40

Propagation of Coherent Pulses for Various Mean Free Path λ and indices q 45

Chapter VI Results of Fitting Gradual and Impulsive Flare 48

Solar Flare 48

Fitting Method 50

Comparison Between Results for the Gradual and Impulsive Flares 58

Chapter VII Discussion and Summary 59

References 62

Appendix A 66

Appendix B 88

Cirriculum Vitae 97

List of Figures

Figure		Page
Figure 1.1	The ISEE-3/ICE spacecraft	2
Figure 2.1	Sketch of the solar wind and the interplanetary magnetic field	6
Figure 2.2	The change of flux through any contour, L, is zero in a perfectly conducting plasma	8
Figure 2.3	Pitch-angle scattering in the steady magnetic field	10
Figure 2.4	Example of the force along the field for resonant scattering of particles orbiting an irregular magnetic field	10
Figure 2.5	Illustration of the actions of adiabatic focusing and pitch-angle scattering in (a) the fixed frame and (b) the solar wind frame	13
Figure 2.6	Scattering and focusing in the solar wind frame	13
Figure 2.7	Illustration of the direction of $\hat{r}$, $\hat{z}$ and $\psi(z)$	16
Figure 5.1	Different régimes of solar cosmic ray transport after Earl 1976b	42
Figure 5.2	Density of particles from wind program simulation	44
Figure 5.3	Density of particles from Earl's theory	44
Figure 5.4	Simulation results for $\langle F \rangle$ at $r = 1$ AU. versus $s = vt$ for	

$q = 1.0$ (dotted lines), $q = 1.5$ (dashed lines), and $q = 1.9$ (solid lines) and for the indicated values of λ 45

Figure 5.5 Average distance along the Magnetic field for various λ and q 46

Figure 5.6 Relationship between $\langle \mu \rangle$ and the average position $\langle z \rangle$ . . 47

Figure 6.1 Flow chart of the fitting method for determining the injection profile for flares 47

Figure 6.2 Protons detected on 1981 July 20 versus time 54

Figure 6.3 Fits to the observed intensity and anisotropy × intensity vs. time for the flare of 1981 July 20. 55

Figure 6.4 Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 . . 55

Figure 6.5 Protons detected on 1982 January 2 versus time 57

Figure 6.6 Fits to the observed intensity and anisotropy × intensity vs. time for the flare of 1982 January 2. 57

Figure 6.7 Profile of injection for impulsive flare of 1982 January 2 . . 57

List of Table

Table Page

Table 4.1 Assumptions, calculations and observations of κ and b in previous work 36