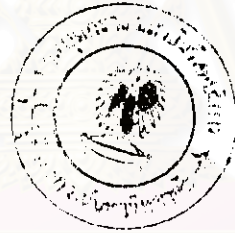


การวิเคราะห์ผลการวัดรังสีคอสมิกที่ปล่อยจากการประทุที่ดวงอาทิตย์  
ซึ่งได้จากยานอวกาศหลายเครื่อง

นายวิวัฒน์ ยงค์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

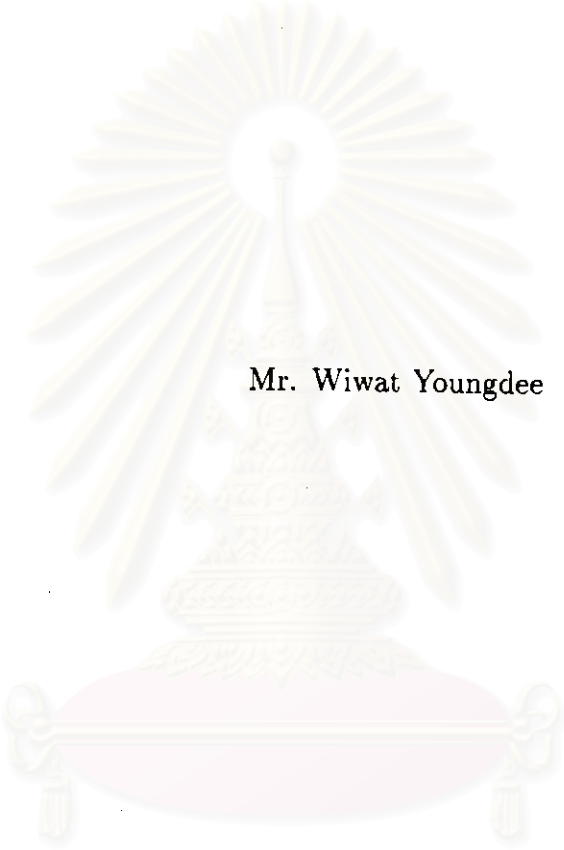
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-483-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF MULTISPACECRAFT MEASUREMENTS  
OF COSMIC RAY EMISSION FROM SOLAR FLARES



Mr. Wiwat Youngdee

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 974-636-483-9


**Thesis Title** Analysis of Multispacecraft Measurements of Cosmic  
Ray Emission from Solar Flares  
**By** Mr Wiwat Youngdee  
**Department** Physics  
**Thesis Advisor** David Ruffolo, Ph.D.

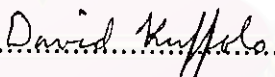
---

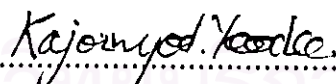
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.

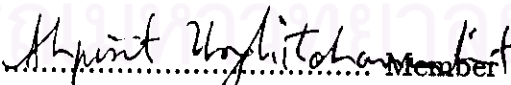
  
..... Dean of Graduate School  
(Professor Supawat Chutivongse, M.D)

**Thesis Committee**

  
..... Chairman  
(Assistant Professor Pirapat Sirisomboonlarp, Ph. D.)

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

  
..... Member  
(Assistant Professor Kajornyod Yoodee, Ph. D.)

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

C725878

PHYSICS

## : MAJOR

KEY WORD: INJECTION PROFILE/ COSMIC RAY

WIWAT YOUNGDEE : ANALYSIS OF MULTISPACECRAFT MEASUREMENTS OF COSMIC RAY EMISSION FROM SOLAR FLARES. THESIS ADVISOR : DAVID RUFFOLO, Ph.D. 102 pp. ISBN 974-636-483-9

A quantitative fitting technique for determining the injection profile of cosmic ray particles from the Sun has been developed. The detector measures the intensity vs. time and anisotropy vs. time near the Earth. We used the intensity data from the ISEE-3/MEH spacecraft instrument to determine the injection profile of the gradual flare of July 20, 1981, the intensity data from the ISEE-3/ULEWAT instrument and the HELIOS I and HELIOS II spacecraft to determine the injection profile of the flare of September 23, 1978, and both intensity and anisotropy data from the ISEE-3/MEH instrument to determine this for the impulsive flare of January 2, 1982. To find the injection, we assume the functional form is  $f = [C/(t-t_0)] \exp[-A/(t-t_0)-(t-t_0)/B]$ , and find the best-fit variables A, B, and  $t_0$  by using the technique of conjugate direction optimization. We can find the mean free path  $\lambda$ , the one remaining free variable, from the best fit.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... พศกศ

สาขาวิชา..... พศกศ

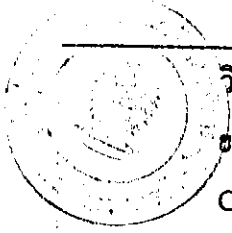
ปีการศึกษา..... ๒๕๒๙

ลายมือชื่อนิสิต..... พศกศ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... พศกศ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



วิวัฒน์ ยงค์ดี : การวิเคราะห์ผลการวัดรังสีคอสมิกที่ปล่อยจากการประทุที่ดวงอาทิตย์ซึ่งได้จากยานอวกาศหลายเครื่อง (ANALYSIS OF MULTISPACECRAFT MEASUREMENTS OF COSMIC RAY EMISSION FROM SOLAR FLARES) อ.ที่ปรึกษา : ดร. เดวิด รุฟโฟโล,  
102 หน้า. ISBN 974-636-483-9

ได้มีการพัฒนาเทคนิคเชิงปริมาณสำหรับหาอัตราการปลดปล่อยของอนุภาครังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์ เครื่องตรวจจับได้วัดความเข้มของอนุภาคต่อเวลาและแอนไอโซโทรปี (anisotropy) ของอนุภาคต่อเวลาใกล้ๆกับโลก เราใช้ข้อมูลของความเข้มจากเครื่องมือ MEH บนยานอวกาศ ISEE-3 ในการหาอัตราการปลดปล่อยรังสีคอสมิกจากการประทุแบบแกรจวล (gradual) ของวันที่ 20 กรกฎาคม ค.ศ. 1981 ใช้ข้อมูลของความเข้มจากเครื่องมือ ULEWAT บนยานอวกาศ ISEE-3 และจากยานอวกาศ HELIOS I และ HELIOS II ในการหาอัตราการปลดปล่อยจากการประทุของวันที่ 23 กันยายน ค.ศ. 1978 และใช้ข้อมูลทั้งความเข้มและแอนไอโซโทรปีจากยานอวกาศ ISEE-3 ในการหาอัตราการปลดปล่อยจากการประทุแบบอิมพัลซีฟ (impulsive) ของวันที่ 2 มกราคม ค.ศ. 1982 เราให้ฟังก์ชันของการปลดปล่อยเป็น  $f = [C/(t-t_0)] \exp[-A/(t-t_0)-(t-t_0)/B]$  และหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับ A, B, และ  $t_0$  โดยการใช้เทคนิคคอนจูเกตไคเรกชันออพติไมเซชัน (conjugate direction optimization) เราสามารถหาค่าระยะทางอิสระเฉลี่ย  $\lambda$  ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระตัวหนึ่งจากผลที่ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....  
สาขาวิชา .....  
ปีการศึกษา .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## Acknowledgements

The author wishes to thank to Dr. David Ruffolo very much for his assistance, advice, and continuous encouragement to me for working in this research as my thesis advisor, and helping me for the important data from spacecraft. I am very thankful to Dr. Wolfgang Dröge for the data from the spacecraft. 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, Mr. Songklod Riyavong for the assistance in TEX writing, and Mr. Tanin Nutaro about the UNIX advice. This work was supported by the Ratchadapisek Sompoj Fund of Chulalongkorn University and the Thailand Research Fund. I also thank the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology for undergraduate and graduate scholarships.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Table of Contents

|   | Page     |
|---|----------|
| Abstract in English . . . . .   | iv       |
| Abstract in Thai . . . . .  | v        |
| Acknowledgements . . . . .  | vi       |
| List of Figures . . . . .   | ix       |
| List of Tables . . . . .  | xiii     |
| <br>  |          |
| <b>Chapter I Introduction . . . . .</b>   | <b>1</b> |
| Background and Motivation . . . . .   | 1        |
| Summary of Related Research . . . . .   | 3        |
| The Objectives of This Thesis . . . . .   | 5        |
| Procedure and Outline of This Work . . . . .                                    | 5        |
| The Usefulness of This Work . . . . .   | 6        |
| <br>  |          |
| <b>Chapter II Acceleration and transport of solar cosmic<br/>rays . . . . .</b> | <b>7</b> |
| Impulsive and Gradual Flares . . . . .  | 7        |
| Acceleration Ideas . . . . .  | 8        |
| Acceleration Time Scales . . . . .  | 10       |
| Coronal Diffusion . . . . .   | 10       |
| Acceleration by Coronal Shocks . . . . .  | 11       |
| Interplanetary Transport . . . . .  | 13       |
| Effect of Interplanetary Shocks Near/Far from Earth . . . . .                   | 15       |

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| <b>Chapter III</b> | <b>Computational method</b>  | <b>17</b> |
|                    | Analysis of Data from Spacecraft   | 17        |
|                    | Simulations and Variable Mean Free Path  | 19        |
|                    | Fitting Procedure for Determining the Duration of Emission   | 21        |
| <br>               |  |           |
| <b>Chapter IV</b>  | <b>Fitting Results for the Solar Flares of<br/>1981 July 20, 1982 January 2, and 1978 September 23..</b> | <b>26</b> |
|                    | The Flare of 1981 July 20  | 26        |
|                    | The Flare of 1982 January 2  | 26        |
|                    | Comparison between Piecewise Linear and Conjugate Direction<br>Optimization Method                       | 35        |
|                    | The Flare of 1978 September 23 (ULEWAT)  | 35        |
|                    | The Flare of 1978 September 23 (HELIOS I)  | 38        |
|                    | The Flare of 1978 September 23 (HELIOS II)   | 38        |
| <br>               |  |           |
| <b>Chapter V</b>   | <b>Discussion and Conclusions</b>  | <b>52</b> |
|                    | References   | 54        |
|                    | Appendix A   | 57        |
|                    | Appendix B   | 87        |
|                    | Appendix C   | 100       |
|                    | Cirriculum Vitae   | 102       |



## List of Figures

| Figure     |  | Page |
|------------|--|------|
| Figure 3.1 | The chart of method to extract data from the spacecraft . . .                                      | 18   |
| Figure 3.2 | The chart of convolution for fitting function . . . . .  | 23   |
| Figure 3.3 | The chart to make the best fit . . . . .   | 25   |
| Figure 4.1 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.08$ AU for E1<br>flare July 20,81 . . . . .   | 28   |
| Figure 4.2 | Graph of data and simulation of anisotropy $\lambda=0.08$ AU for E1<br>flare July 20,81 . . . . .  | 28   |
| Figure 4.3 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.10$ AU for E2<br>flare July 20,81 . . . . .   | 29   |
| Figure 4.4 | Graph of data and simulation of anisotropy $\lambda=0.10$ AU for E2<br>flare July 20,81 . . . . .  | 29   |
| Figure 4.5 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.12$ AU for E3<br>flare July 20,81 . . . . .   | 30   |
| Figure 4.6 | Graph of data and simulation of anisotropy $\lambda=0.12$ AU for E3<br>flare July 20,81 . . . . .  | 30   |
| Figure 4.7 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.12$ AU for E45<br>flare July 20,81 . . . . .  | 31   |
| Figure 4.8 | Graph of data and simulation of anisotropy $\lambda=0.12$ AU for E45<br>flare July 20,81 . . . . . | 31   |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figure 4.9  | Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 in E1 and $\lambda=0.08$ AU . . . . .                     | 32 |
| Figure 4.10 | Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 in E2 and $\lambda=0.10$ AU . . . . .                     | 32 |
| Figure 4.11 | Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 in E3 and $\lambda=0.12$ AU . . . . .                     | 33 |
| Figure 4.12 | Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 in E4 and $\lambda=0.12$ AU . . . . .                     | 33 |
| Figure 4.13 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.10$ AU for the flare July 20,1981 . . . . .                     | 34 |
| Figure 4.14 | Profile of injection for the gradual flare of 1981 July 20 without energy separation and $\lambda=0.10$ AU . . . . . | 34 |
| Figure 4.15 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.20$ AU for the flare January 2,1982 . . . . .                   | 36 |
| Figure 4.16 | Graph of data and simulation of anisotropy $\lambda=0.20$ AU for the flare January 2,1982 . . . . .                  | 36 |
| Figure 4.17 | Profile of injection for the impulsive flare of 1981 July 20 with $\lambda=0.10$ AU . . . . .                        | 37 |
| Figure 4.18 | Graph of comparison FWHM between piecewise linear method and conjugate direction optimization method . . . . .       | 37 |
| Figure 4.19 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.05$ AU for E1 flare September 23,78 (ULEWAT) . . . . .          | 39 |
| Figure 4.20 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E1 and $\lambda=0.05$ AU . . . . .                        | 39 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figure 4.21 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.08$ AU for E2 flare September 23,78 (ULEWAT) . . . . .   | 40 |
| Figure 4.22 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E2 and $\lambda=0.08$ AU . . . . .                 | 40 |
| Figure 4.23 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.10$ AU for E3 flare September 23,78 (ULEWAT) . . . . .   | 41 |
| Figure 4.24 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E3 and $\lambda=0.10$ AU . . . . .                 | 41 |
| Figure 4.25 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.12$ AU for E4 flare September 23,78 (ULEWAT) . . . . .   | 42 |
| Figure 4.26 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E4 and $\lambda=0.12$ AU . . . . .                 | 42 |
| Figure 4.27 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.25$ AU for E1 flare September 23,78 (HELIOS I) . . . . . | 44 |
| Figure 4.28 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E1 and $\lambda=0.25$ AU (HELIOS I) . . . . .      | 44 |
| Figure 4.29 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.25$ AU for E2 flare September 23,78 (HELIOS I) . . . . . | 45 |
| Figure 4.30 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E2 and $\lambda=0.25$ AU (HELIOS I) . . . . .      | 45 |
| Figure 4.31 | Graph of data and simulation of intensity $\lambda=0.25$ AU for E3 flare September 23,78 (HELIOS I) . . . . . | 46 |
| Figure 4.32 | Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E3 and $\lambda=0.25$ AU (HELIOS I) . . . . .      | 46 |

Figure 4.33 Graph of data and simulation of intensity  $\lambda=0.25$  AU for E4 flare September 23,78 (HELIOS I) . . . . . 47

Figure 4.34 Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E4 and  $\lambda=0.25$  AU (HELIOS I) . . . . . 47

Figure 4.35 Graph of data and simulation of intensity  $\lambda=0.08$  AU for E1 flare September 23,78 (HELIOS II) . . . . . 48

Figure 4.36 Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E1 and  $\lambda=0.08$  AU (HELIOS II) . . . . . 48

Figure 4.37 Graph of data and simulation of intensity  $\lambda=0.10$  AU for E2 flare September 23,78 (HELIOS II) . . . . . 49

Figure 4.38 Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E2 and  $\lambda=0.10$  AU (HELIOS II) . . . . . 49

Figure 4.39 Graph of data and simulation of intensity  $\lambda=0.12$  AU for E3 flare September 23,78 (HELIOS II) . . . . . 50

Figure 4.40 Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E3 and  $\lambda=0.12$  AU (HELIOS II) . . . . . 50

Figure 4.41 Graph of data and simulation of intensity  $\lambda=0.12$  AU for E4 flare September 23,78 (HELIOS II) . . . . . 51

Figure 4.42 Profile of injection for the flare of 1978 September 23 in E4 and  $\lambda=0.12$  AU (HELIOS II) . . . . . 51

Figure B.1 Successive minimizations along coordinate directions in a long, narrow "valley" (show as contour lines). Unless the valley is optimally oriented, this is extremely inefficient, taking many tiny steps to get to the minimum, crossing abd re-crossing the principal axis. . . . . 90

## List of Tables

| Table     |   | Page |
|-----------|---|------|
| Table 2.1 | Summary of the impulsive and gradual flares . . . . .   | 8    |
| Table 3.1 | The mean free path ( $\lambda$ ) for simulations . . . . .  | 22   |
| Table 4.1 | Chi-square values for the gradual flare of 1981 July 20 in each energy . . . . .  | 27   |
| Table 4.2 | Chi-square values for the gradual flare of 1981 July 20 . . . . .   | 27   |
| Table 4.3 | Chi-square values for the impulsive flare of 1982 January 2 in intensity and anisotropy $\times$ intensity vs. time . . . . . | 35   |
| Table 4.4 | Comparison of the two methods by using FWHM for the flare of 1981 January 2 . . . . .   | 35   |
| Table 4.5 | Chi-square values for the flare of 1978 September 29 (ULEWAT) in each energy . . . . .  | 38   |
| Table 4.6 | Chi-square value for the flare of 1978 September 29 (HELIOS I) in each energy . . . . .                                       | 43   |
| Table 4.7 | Chi-square values for the flare of 1978 September 23 (HELIOS II) in each energy . . . . .                                     | 43   |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย