ปรากฏการณ์กระจกเงาแม่เหล็กในการเคลื่อนที่ของอนุภาคพลังงานสูง ในบริเวณที่มีการอัดตัวของพลาสมา

นายกิตติพัฒน์ มาลากิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2491-8

MAGNETIC MIRRORING EFFECT ON THE MOTION OF ENERGETIC PARTICLES IN PLASMA COMPRESSIONS

Mr. Kittipat Malakit

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 2002

ISBN 974-17-2491-8

Thesis Title	MAGNETIC MIRRORING EFFECT ON THE MOTION OF ENERGETIC PARTICLES IN PLASMA COMPRESSIONS
By	Mr. KITTIPAT MALAKIT
Field of Study	Physics
Thesis Advisor	Associate Professor David Ruffolo, 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

(Associate Professor Mayuree Natenapit, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Associate Professor David Ruffolo, Ph.D.)

..... Member

(Assistant Professor Udomsilp Pinsook, Ph.D.)

..... Member

(Rattachat Mongkolnavin, Ph.D.)

นาย กิตติพัฒน์ มาลากิจ : ปรากฏการณ์กระจกเงาแม่เหล็กในการเคลื่อนที่ของอนุภาคพลังงานสูงในบริเวณที่มีการอัดตัวของพลาสมา (MAGNETIC MIRRORING EFFECT ON THE MOTION OF ENERGETIC PARTICLES IN PLASMA COMPRESSIONS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เดวิด รูฟโฟโล, 159 หน้า. ISBN 974-17-2491-8.

เป็นที่เชื่อกันโดยทั่วไปว่าอนุภาครังสีคอสมิกถูกเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นได้ที่คลื่นกระแทกในอวกาศ ในการศึกษากลไกการเร่งนี้โดยส่วนมากจะใช้สมการการฟุ้งการพา (diffusion-convection equation) อย่างไรก็ตามสมการนี้เป็นสมการที่ถูกประมาณมาจากสมการการขนส่งแบบมุมขั้ว (pitch-angle transport equation) บนพื้นฐานของการประมาณการฟุ้ง (diffusion approximation) การเข้าสู่ปัญหาโดยใช้การขนส่งแบบมุมขั้วจะแม่นยำกว่าแต่จะซับซ้อนกว่า ในงานนี้เราได้ทำการจำลองการขนส่งของอนุภาคที่บริเวณที่มีการอัดตัวของพลาสมา ด้วยความกว้างของการอัดหลายๆ ค่า และบริเวณคลื่นกระแทก (ความกว้างของการอัดเป็นศูนย์) โดยการแก้สมการการขนส่งแบบมุมขั้วด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนท์ (finite difference method) และสมการการฟุ้งการพาซึ่งไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบในมุมขั้วด้วยวิธีชูตติง (shooting method) และนอกจากนั้นเรายังได้ทำการปรับเปลี่ยนมุมสนามแม่เหล็ก (field angle) ซึ่งนิยามเป็นมุมระหว่างสนามแม่เหล็กกับแนวตั้งฉากของระนาบคลื่นกระแทก/ระนาบการอัดอีกด้วย ผลของการขนส่งมุมขั้วกับการประมาณเป็นการฟุ้งการพาจะถูกนำมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบในมุมขั้ว เราสรุปว่าปรากฏการณ์กระจกเงาแม่เหล็ก (mirroring effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการพิจารณามุมขั้วของอนุภาคเท่านั้น สามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการเร่งให้สูงขึ้นในกรณีที่ความกว้างของการอัดมีค่าน้อย นอกจากนั้นเรายังพบว่าข้อสมมุติที่ว่า $j \propto \mathrm{p}^{-\gamma}$ ทำให้สมการการฟุ้งการพาทำนายผลการเร่งผิดพลาดด้วย เพราะข้อสมมุตินี้ต้องการลักษณะการกระจายตัวตามระยะทางของอนุภาค $j(z)$ ที่ไม่ขึ้นกับโมเมนตัม ซึ่งจะเป็นปัญหาโดยเฉพาะกรณีที่ความกว้างของการอัดมีค่ามาก

ภาควิชา ฟิสิกส์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....กิตติพัฒน์ มาลากิจ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..เดวิด รูฟโฟโล

4372211323 : MAJOR PHYSICS

KEY WORDS: SHOCK / COMPRESSION REGION / ACCELERATION / TRANSPORT EQUATION / MIRRORING

KITTIPAT MALAKIT : MAGNETIC MIRRORING EFFECT ON THE MOTION OF ENERGETIC PARTICLES IN PLASMA COMPRESSIONS THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DAVID RUFFOLO, PhD., 159 pp. ISBN 974-17-2491-8.

It is commonly believed that most cosmic rays are accelerated at astrophysical shocks. Many works studying this acceleration mechanism have used a diffusion-convection equation (DC). Nevertheless, that is an approximate equation based on the diffusion approximation of a pitch-angle transport equation (PA). The PA approach is more precise and also more complicated. In this work, we simulate cosmic-ray particle transport at compression regions, with various compression widths, and shocks (zero width) by solving the PA equation with a finite-difference method and the DC equation, which does not take systematic pitch-angle changing into account, with a shooting method. Moreover, we also vary the field angle, defined as the angle between magnetic field lines and the normal to the shock/compression plane. The results from the PA and approximate DC approaches are compared and analyzed to point out the effects of systematic pitch-angle changes on the shock acceleration mechanism. We conclude that the magnetic mirroring effect, which appears only in the pitch-angle treatment, can enhance the acceleration mechanism in cases of narrow compression widths. Furthermore, found that the assumption of $j \propto p^{-\gamma}$ makes the DC equation yield incorrect acceleration efficiencies, because it requires the shape of the spatial distribution function, $j(z)$, to be independent of momentum, an assumption that is especially problematic in the case of a wide compression.

Department: Physics
Field of study: Physics
Academic year 2002

Student's signature.....Kittipat Malakit.....

Advisor's signature.....David Ruffolo.....

Acknowledgements

Foremost, I would really like to express my gratitude to my advisor, Assoc. Prof. Dr. David Ruffolo, very much for his treatment, guidance, and encouragement throughout the time I was his advisee. Apart from physics knowledge I have learnt from him, I have also developed myself a great deal, such as extending my vision, improving thinking skills, improving working skills, and developing English skills by both directly and indirectly learning from him.

I am also grateful to the thesis committee, Assoc. Prof. Dr. Mayuree Natenapit, Asst. Prof. Dr. Udomsilp Pinsook, and Dr. Rattachat Mongkolnavin, for reading and offering suggestions for this thesis.

Furthermore, I would like to thank Miss Thiranee Khumlumlert for providing me as much help and guidance as she could, Miss Kanokporn Leerungnavarat who gave me a lot of suggestions, especially when I was a beginner on the work of shock acceleration, Mr. Paisan Tooprakai for computer-system administration, Mr. Chanruangrit Channok for use of his personal computer in completing this work on time, Miss Kamonporn Klappong who helped and advised me a great deal on this thesis, Miss Suwicha Wannawichian who also offered many suggestions to me, and Miss Piyanate Chuychai for her discussion and help on using "IDL" and "Illustrator" software, which was very useful for this thesis.

Finally, I am extremely grateful to my father and my mother who are my inspiration and always support me to do good things. I am very proud to be their son and I hope to make them proud of me also; at least I have been trying.

This work was supported by the Thailand Research Fund.

Contents

Contents (cont.)

List of Figures

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Figures (cont.)

List of Tables