Project Code: BRG5180004

Abstract and Executive Summary

Project Title: Transport of Cosmic Rays in the Solar System

Principal Investigator: Prof. Dr. David Ruffolo, Dept. of Physics, Faculty of Science, Mahidol University
E-mail address: scdjr@mahidol.ac.th
Project Period: May 15, 2008 – May 14, 2011

The overall goals of this project were four-fold: 1) to study the fundamental processes of energetic particle transport in turbulent magnetic fields; 2) to study the transport, acceleration, and interactions of solar energetic particles; 3) to study the transport, time variations, and interactions of galactic and extragalactic cosmic rays; and 4) to provide Thai-language information on space physics and astrophysics to the public, and to expose students to space physics research and research techniques. We have worked on 32 lines of research and trained or involved 45 local participants. Output of the project includes 6 articles for leading international journals (3 published, 1 submitted, 2 in preparation), 14 international conference presentations, 5 completed theses (2 Ph.D., 3 M.Sc.), and 9 completed B.Sc. senior projects.

Keywords: Cosmic rays, space physics, astrophysics, computer simulations, turbulence

Some highlights of our research results are:

- Discovery of other routes to Bohm diffusion, due to random ballistic decorrelation.
- Analytic calculations of the field line random walk for one-component "noisy RMHD" magnetic turbulence.
- Developed first theory of time profile of particle subdiffusion and diffusion perpendicular to the mean field, based on Brownian motion.
- A new version of NLGC theory based on random ballistic decorrelation provides a reasonable fit to simulation results, with no arbitrary parameters.
- Introduction of a novel concept for quantifying the separation of a particle guiding center from its field line.
- A particle guiding center very closely follows its local field line in 1D (slab) turbulence.
- Explanation of solar moss (bright and dark structure) in terms of the random walk of magnetic field lines connected to localized heating sources.
- Computational study of field line and particle trapping due to the topology of 2D magnetic turbulence, leading to dropouts, with a more accurate 2D MHD magnetic field model for dropout studies.
- Demonstration that particle gradients in dropouts are organized by local trapping boundaries, not current sheets.
- Discovery of a collimation effect in spherical geometry, in which particle trajectories are attracted to or repelled from O-points of the turbulence topology.
- Developed a software detector for simulated solar energetic particle transport, to provide time-intensity and directional distributions at different regions of the turbulent topology.
- Discovered an effect of the 2D turbulence topology on the parallel transport of solar energetic particles.

- Examining the radial dependence of SEP profiles, including the distances of Mars and Jupiter, with regard to radiation hazards for astronauts.
- Performed the first SEP transport simulations to include the radial dependence of the mean free path from *ab initio* turbulence models.
- Continued operation and maintenance of the Princess Sirindhorn Neutron Monitor (PSNM) at the summit of Doi Inthanon, providing neutron monitor data at the world's highest cutoff rigidity for a fixed station.
- Processing of PSNM data for real-time plots and scientific data.
- Organized semi-annual electronics training workshops.
- Intercalibrated PSNM with other neutron monitors by bringing a mobile monitor (calmon) from South Africa to Doi Inthanon.
- Collected data from the calmon in various configurations, including a measurement of the effect of the PSNM building.
- Developed a local capability to perform realistic Monte Carlo simulations of Galactic cosmic ray interactions in Earth's atmosphere and neutron monitors.
- Investigated the time dependence of the time-delay spectrum, and found an association with atmospheric pressure.
- Using FLUKA simulations to better understand the travel time and time delay distributions of neutrons in the PSNM.
- Studying the synodic variations of galactic cosmic rays in association with corotating solar wind structures.
- New global, analytic model of an interplanetary flux rope.
- Orbits of energetic particles in an interplanetary flux rope due to drifts, perpendicular diffusion, and parallel scattering.
- Successful dissemination of space weather knowledge: Website ranked highly in Thailand for physics/astronomy; involving high-school students in space science measurements; invited lectures; newspaper, radio, and TV interviews.
- Teaching laboratory experiment for undergraduate students on cosmic rays and neutron detection.

รหัสโครงการ: BRG5180004

บทคัดย่อและบทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ:

การขนส่งของรังสีคอสมิกในระบบสุริยะ

ชื่อนักวิจัยหลัก: ศ.ดร.เดวิด รูฟโฟโล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
E-mail address: scdjr@mahidol.ac.th
ระยะเวลาโครงการ: 15 พฤษภาคม 2551 - 14 พฤษภาคม 2554

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้มี 4 ข้อ: 1) เพื่อศึกษากระบวนการพื้นฐานในการขนส่งของอนุภาคพลังงานสูงในสนามแม่เหล็กปั่นป่วน 2) เพื่อศึกษาการขนส่ง การเร่ง และปฏิกิริยาของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์ 3) เพื่อศึกษาการขนส่ง การเปลี่ยนต่อเวลา และปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกจากกาแล็กซีและนอกกาแล็กซี และ 4) เพื่อให้ข้อมูลในภาษาไทยเกี่ยวกับฟิสิกส์อวกาศและฟิสิกส์ดาราศาสตร์สู่สังคม และเพื่อให้นักเรียนและนักศึกษารับรู้เกี่ยวกับงานวิจัยด้านฟิสิกส์อวกาศและเทคนิคการวิจัย เราได้ทำโครงการย่อยจำนวน 32 โครงการ และให้คนในประเทศไทยฝึกงานหรือให้มีส่วนร่วมในงานวิจัยจำนวน 45 คน ผลงานจากโครงการนี้ รวมถึงบทความสำหรับวารสารนานาชาติชั้นนำ 6 เรื่อง (ตีพิมพ์แล้ว 3 เรื่อง ส่งถึงวารสารแล้วอีก 1 เรื่อง และเตรียมส่งอีก 2 เรื่อง) การเสนอที่ประชุมนานาชาติ 14 เรื่อง วิทยานิพนธ์ 5 เรื่อง (ป.เอก 2 และ ป.โท 3) และโครงงานปีที่สี่ (ป.ตรี) 9 เรื่อง

คำหลัก: รังสีคอสมิก, ฟิสิกส์อวกาศ, ดาราศาสตร์, การจำลองด้วยดอมพิวเตอร์, ความปั่นป่วน

จุดเด่นของผลงานวิจัยคือ

- การค้นพบเส้นทางใหม่สู่การฟุ้งแบบบอห์ม ที่เกิดจากการดีคอรเลตแบบบัลลิสติกและสุ่ม
- การคำนวณเชิงวิเคราะห์ของการเดินสุ่มของเส้นสนามแม่เหล็กสำหรับการปั่นป่วนแม่เหล็กที่มีองค์ประกอบเดียวแบบนอยซี RMHD
- การพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับการอนุฟุ้งและการฟุ้งต่อเวลาของอนุภาคในทิศตั้งฉากกับสนามเฉลี่ย จากพื้นฐานการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน
- ทฤษฎี NLGC ในรูปแบบใหม่ จากพื้นฐานการดีคอรเลตแบบบัลลิสติกและสุ่ม สามารถฟิตผลการจำลองได้ โดยไม่มีตัวแปรเสรี
- การแนะนำสังเขปใหม่เพื่ออธิบายการแยกตัวระหว่างศูนย์นำอนุภาคและเส้นสนามที่ตามอยู่
- ศูนย์นำอนุภาคตามใกล้ชิดมากกับเส้นสนามในท้องถิ่นในการปั่นป่วนแบบหนึ่งมิติ (แสลบ)
- การอธิบายมอสที่ดวงอาทิตย์ (โครงสร้างสว่างและมืด) ในเทอมของการเดินสุ่มของเส้นสนามแม่เหล็กที่เชื่อมกับแหล่งความร้อนที่โลคัลไลซ์
- การศึกษาเชิงคำนวณของการกักตัวของเส้นสนามและอนุภาคเนื่องจากทอพอโลยีของความปั่นป่วนแม่เหล็กแบบสองมิติ ซึ่งนำไปสู่ดรอปเอาท์ โดยใช้แบบจำลองสนามแม่เหล็กแบบ 2D MHD ซึ่งแม่นยำมากขึ้น ในการศึกษาดรอปเอาท์
- เกรเดียนต์ของอนุภาคในดรอปเอาท์เรียงด้วยขอบเขตการกักในท้องถิ่น ไม่ใช่แผ่นกระแส
- การค้นพบผลการคอลิเมตในเรขาคณิตแบบทรงกลม โดยเส้นทางของอนุภาคถูกดูกเข้าสู่หรือผลักออกจากจุดโอในทอพอโลยีความปั่นป่วน
- การพัฒนาเครื่องวัดทางสอฟท์แวร์สำหรับการจำลองการขนส่งของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์ เพื่อให้การแจกแจงของความเข้มต่อเวลาและทิศทางในบริเวณต่างๆ ของทอพอโลยีความปั่นป่วน

- การค้นพบผลของทอพอโลยีความปั่นป่วนในสองมิติต่อการขนส่งในทางขนานของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์
- การศึกษาการที่จำนวนต่อเวลาของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์ขึ้นกับรัศมีจากดวงอาทิตย์ รวมทั้งระยะทางของดาวอังคารและดาวพฤหัส เนื่องจากเกี่ยวข้องกับภัยทางรังสีสำหรับนักบินอวกาศ
- การจำลองการขนส่งของอนุภาคพลังงานสูงจากดวงอาทิตย์ครั้งแรกที่รวมถึงการขึ้นกับรัศมีของระยะอิสระเฉลี่ยตามแบบจำลองความปั่นป่วนแบบแอบอินิซีโอ
- การดำเนินการและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องสำหรับสถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธร (PSNM) ณ ยอดดอยอินทนนท์ ซึ่งให้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดนิวตรอนที่คัทออฟริจิดิตีที่สูงที่สุดในโลกสำหรับสถานีที่อยู่กับที่
- การโปรเซสข้อมูล PSNM สำหรับรูปทันเวลาจริงและข้อมูลทางวิทยาศาสตร์
- การจัดเวิร์คชอปฝึกด้านอิเล็กตรอนิกส์สองครั้งต่อปี
- การแคลิเบรต PSNM เทียบกับสถานีอื่น โดยนำเครื่องตรวจวัดที่เคลื่อนที่ได้ (แคลมอน) จากแอฟริกาใต้ สู่ดอยอินทนนท์
- การเก็บข้อมูลจากแคลมอนในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งการวัดผลกระทบของอาคาร PSNM
- การพัฒนาความสามารถในท้องถิ่นที่จะจำลองแบบมอนทีคาร์โลเหมือนจริงสำหรับปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกจากกาแลกซีในบรรยากาศโลกและในเครื่องตรวจวัดนิวตรอน
- การศึกษาการขึ้นกับเวลาของสเปกตรัมเวลารอ และพบการขึ้นกับความดันในบรรยากาศ
- การใช้การจำลองด้วย FLUKA เพื่อการเข้าใจที่ดีขึ้นของการแจกแจงของเวลาเดินทางและเวลารอของนิวตรอนใน PSNM
- การศึกษาการขึ้นกับเวลาในรอบ 27 วันที่ขึ้นกับโครงสร้างลมสุริยะที่หมุนพร้อมดวงอาทิตย์
- แบบจำลองใหม่เชิงวิเคราะห์แบบทั่วถึงสำหรับเซือกฟลักซ์ระหว่างดาวเคราะห์
- เส้นทางของอนุภาคพลังงานสูงในเซือกฟลักซ์ระหว่างดาวเคราะห์เนื่องจากการลอยเลื่อน การฟุ้งในทิศตั้งฉาก และการกระเจิงในทางขนาน
- สำเร็จในการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับสภาพอวกาศ โดยเวบไสท์ติดอันดับสูงในประเทศไทยในหมวดฟิสิกส์และดาราศาสตร์ การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการวัดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์อวกาศ การบรรยายรับเชิญ และการสัมภาษณ์สำหรับหนังสือพิมพ์ วิทยุ และโทรทัศน์
- การทดลองสำหรับวิชาสอนนักศึกษา ป. ตรี เกี่ยวกับรังสีคอสมิกและการวัดนิวตรอน