

Transient Large-Scale Anisotropy in TeV Cosmic Rays Due to An Interplanetary Coronal Mass Ejection

ความไม่สมมาตรเชิงมุมขนาดใหญ่แบบชั่วคราวของรังสีคอสมิกระดับเทระอิเล็กตรอนโวลต์ (TeV) อันเนื่องมาจากการพ่นมวลสารจากชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ในอวกาศระหว่างดาวเคราะห์

Zhen Cao, the LHAASO Collaboration (including K. Koennonkok, W. Mitthumsiri, P. Pattarakijwanich, N. Ruangpongsiri, D. Ruffolo, A. Sáiz), Physical Review Letters 136, 251002 (2026)

Cosmic rays are high-energy particles that travel through space and continuously arrive at Earth from outside the Solar System. Although their overall intensity is usually very stable, their motion can be influenced by the Sun and by disturbances in the space environment surrounding our planet. One of the most powerful solar events is a coronal mass ejection (CME), during which enormous amounts of magnetized plasma are expelled from the Sun. As this material travels through interplanetary space, it can interact with Earth's space environment, causing geomagnetic storms and temporarily affecting the flow of cosmic rays.

This study investigates how an interplanetary coronal mass ejection (ICME), observed on 4 November 2021, influenced the arrival directions of teraelectronvolt (TeV) cosmic rays. Using data collected by the Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO), researchers developed a new analysis method capable of measuring changes in the large-scale directional distribution of cosmic rays on an hourly basis. The observations revealed, for the first time, a clear but temporary large-scale anisotropy in TeV cosmic rays associated with the passage of the ICME. The detected effect was statistically significant across several independent energy ranges, demonstrating that even extremely energetic cosmic rays can be influenced by solar disturbances under certain conditions.

The results suggest that the observed directional changes were most likely caused by enhanced magnetic turbulence within the disturbed solar wind rather than by simple deflection in a uniform magnetic field. This finding provides new insight into how cosmic rays propagate through the heliosphere and how solar activity can affect particles with much higher energies than previously confirmed. In addition, the study demonstrates the unique capability of LHAASO to monitor subtle variations in cosmic-ray arrival directions with high precision. The techniques developed in this work may be applied to air shower observatories around the world, allowing scientists to investigate interplanetary magnetic structures from a new perspective. Ultimately, this research improves our understanding of the relationship between solar activity, space weather, and high-energy cosmic rays, contributing to future advances in astrophysics and space science.

รังสีคอสมิกเป็นอนุภาคพลังงานสูงที่เดินทางมายังโลกจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ นอกกระบบสุริยะ โดยปกติแล้วทิศทางและความเข้มของรังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงมากจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงเวลาสั้น ๆ อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ เช่น การพ่นมวลสารจากชั้นโคโรนา (Coronal Mass Ejection: CME) สามารถปลดปล่อยพลาสมาและสนามแม่เหล็กขนาดมหึมาออกสู่อวกาศ เมื่อกลุ่มมวลสารดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านอวกาศระหว่างดาวเคราะห์และเดินทางมาถึงโลก จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในอวกาศหรือที่เรียกว่า "สภาพอวกาศอวกาศ" ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อดาวเทียม ระบบสื่อสาร และการเคลื่อนที่ของอนุภาคพลังงานสูง

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของการพ่นมวลสารจากชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านอวกาศระหว่างดาวเคราะห์ (Interplanetary Coronal Mass Ejection: ICME) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) นักวิจัยได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลแบบใหม่ที่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของทิศทางและการเดินทางของรังสีคอสมิกระดับเทระอิเล็กตรอนโวลต์ (TeV) ได้เป็นรายชั่วโมง ผลการศึกษาพบหลักฐานเป็นครั้งแรกว่ารังสีคอสมิกพลังงานสูงระดับนี้เกิดความไม่สมมาตรของทิศทางในการเดินทางในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลา ICME เคลื่อนผ่านโลก ผลดังกล่าวได้รับการยืนยันจากข้อมูลหลายช่วงพลังงานและมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าแม้รังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงมากก็ยังสามารถได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์ได้

การวิเคราะห์เพิ่มเติมชี้ให้เห็นว่า ความเปลี่ยนแปลงของทิศทางรังสีคอสมิกน่าจะเกิดจากความปั่นป่วนของสนามแม่เหล็กภายในลมสุริยะที่ถูกรบกวน มากกว่าการเบี่ยงเบนของอนุภาคจากสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะคงที่ ผลการวิจัยนี้ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของรังสีคอสมิกภายในระบบสุริยะ และแสดงให้เห็นว่าปรากฏการณ์จากดวงอาทิตย์สามารถส่งผลกระทบต่ออนุภาคที่มีพลังงานสูงกว่าที่เคยทราบมาก่อน นอกจากนี้ ยังแสดงศักยภาพของอุปกรณ์ LHAASO ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของรังสีคอสมิกด้วยความละเอียดสูง และเปิดแนวทางใหม่ในการใช้เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีคอสมิกทั่วโลกเพื่อศึกษาสนามแม่เหล็กและโครงสร้างของสภาพอวกาศอวกาศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความรู้ด้านฟิสิกส์อวกาศ ดาราศาสตร์พลังงานสูง และการพยากรณ์ผลกระทบจากกิจกรรมของดวงอาทิตย์ในอนาคต

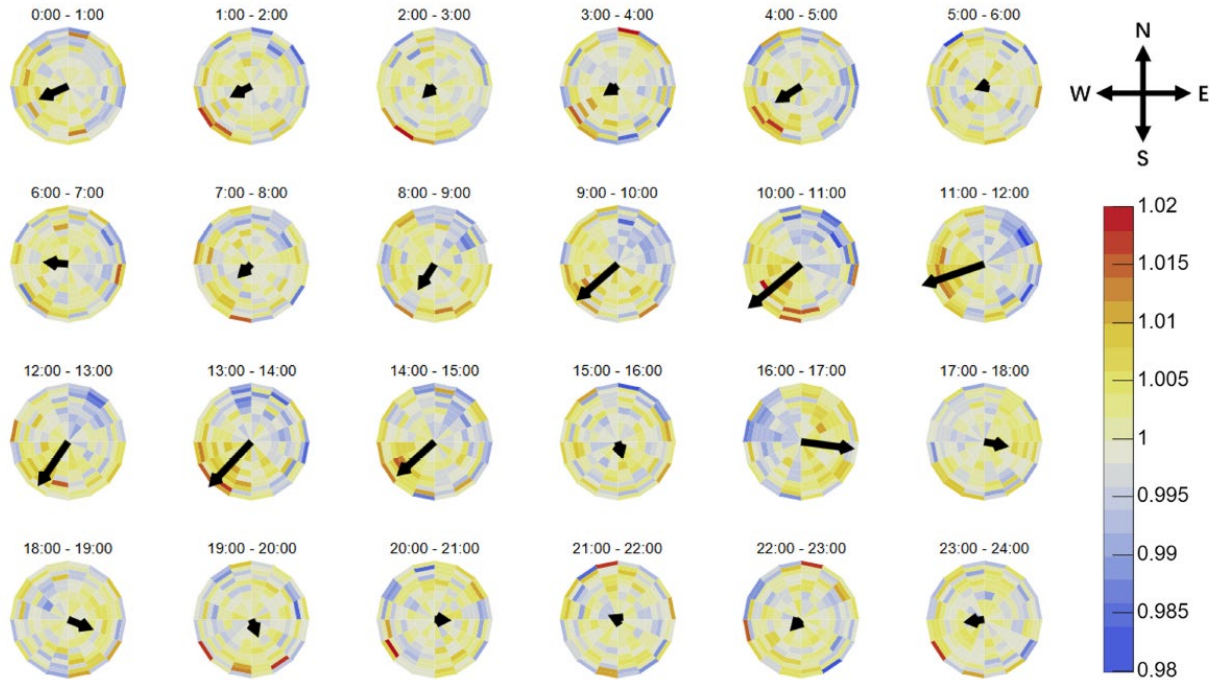


FIG. 1. Skymaps of relative CR intensity centered at the zenith and extending to zenith angle 45° (outer circle) for showers with $30 \leq N_{\text{hit}} < 40$ in LHAASO/WCDA for each hour in UT on November 4, 2021. Black arrow represents the best-fit CR gradient vector, with arrow length proportional to gradient magnitude; it points away from deficit areas (blue) and toward areas of enhancement (red). The anisotropy increased strongly a few hours before 1200 UT, the time of ICME flux rope arrival, with a maximum gradient magnitude of 1.2% during 10:00–11:00 UT, and continued to be strong for a few hours into the flux rope passage.