Measuring Contributions from Single and Multiple Atmospheric Secondary Cosmic Rays in the Princess Sirindhorn Neutron Monitor Using Cross-counter Neutron Time Delay Distributions

การวัดสัดส่วนการมีส่วนร่วมของรังสีคอสมิกทุติยภูมิในบรรยากาศจากเหตุการณ์เดี่ยวและหลายเหตุการณ์ในสถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธร โดยใช้การแจกแจงเวลาหน่วงของนิวตรอนระหว่างตัวนับ

Warit Mitthumsiri, Alejandro Sáiz, David Ruffolo, Paul Evenson, Pierre-Simon Mangeard, Waraporn Nuntiyakul, and Chanoknan Banglieng. Astrophysical Journal, 1004:76 (12pp), 2026

Cosmic rays are high-energy particles that originate from the Sun, distant stars, supernova explosions, and other energetic phenomena in space. When these particles enter Earth's atmosphere, they collide with atmospheric molecules and produce cascades of secondary particles, including neutrons. Monitoring these secondary particles helps scientists investigate space weather, solar activity, and changes in the Earth's radiation environment. Accurate neutron measurements are also valuable for understanding how cosmic rays interact with the atmosphere and for improving models used in astrophysics and atmospheric science.

This study focuses on the Princess Sirindhorn Neutron Monitor, a ground-based detector designed to measure atmospheric secondary neutrons generated by cosmic rays. One challenge in neutron monitoring is that the detector records signals produced by both single secondary cosmic-ray events and multiple particles arriving almost simultaneously. These different types of events can influence the counting rate in different ways and may introduce uncertainties if they cannot be distinguished correctly.

To address this problem, the researchers analyzed the time delay between neutron signals detected by different counters within the instrument. By examining the distribution of these time delays, they were able to estimate how much of the measured signal originated from single-particle events and how much resulted from multiple-particle events. This method provides a more detailed understanding of the detector response without requiring major hardware modifications.

The results improve the accuracy of neutron monitor observations and provide new information about the behavior of atmospheric secondary cosmic rays. Better characterization of these signals enhances the reliability of long-term cosmic-ray measurements, which are widely used in studies of solar activity, space weather forecasting, and cosmic-ray modulation. The techniques developed in this research can also be applied to other neutron monitoring stations around the world, contributing to international efforts to better understand the relationship between cosmic rays, the Earth's atmosphere, and the near-Earth space environment.

รังสีคอสมิกเป็นอนุภาคพลังงานสูงที่เดินทางมาจากดวงอาทิตย์ ซากการระเบิดของดาวฤกษ์ และแหล่งกำเนิดพลังงานสูงอื่น ๆ ในเอกภพ เมื่อรังสีคอสมิกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก จะชนกับโมเลกุลของอากาศและก่อให้เกิดอนุภาคทุติยภูมิหลายชนิด หนึ่งในนั้นคือนิวตรอน การตรวจวัดนิวตรอนเหล่านี้มีความสำคัญต่อการศึกษาสภาพอากาศอวกาศ การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมบนดวงอาทิตย์ รวมถึงการทำความเข้าใจการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงของรังสีคอสมิกที่ส่งผลต่อโลก การมีข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำจึงเป็นพื้นฐานสำคัญของงานวิจัยด้านฟิสิกส์อวกาศและดาราศาสตร์พลังงานสูง

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานของสถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธร ซึ่งใช้ตรวจวัดนิวตรอนทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศจากรังสีคอสมิก ปัญหาสำคัญของการตรวจวัดคือ สัญญาณที่ตรวจพบอาจเกิดจากอนุภาคเพียงหนึ่งเหตุการณ์ หรืออาจเกิดจากอนุภาคหลายอนุภาคมาถึงเครื่องตรวจวัดในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน หากไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองประเภทได้อย่างถูกต้อง อาจทำให้การแปลผลข้อมูลคลาดเคลื่อนและส่งผลต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์ในระยะยาว

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว นักวิจัยได้วิเคราะห์ช่วงเวลาหน่วงระหว่างสัญญาณนิวตรอนที่ตรวจพบจากตัวนับแต่ละตัวภายในเครื่องตรวจวัด โดยใช้การแจกแจงเวลาหน่วงของนิวตรอนระหว่างตัวนับ (cross-counter neutron time delay distributions) เพื่อประเมินว่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้มีสัดส่วนจากเหตุการณ์เดี่ยวและเหตุการณ์หลายอนุภาคมากน้อยเพียงใด วิธีการนี้ช่วยให้สามารถอธิบายลักษณะการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดได้ละเอียดมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างของอุปกรณ์

ผลการศึกษาช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดรังสีคอสมิกผ่านเครื่องตรวจวัดนิวตรอน และช่วยให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีคอสมิกในระยะยาวมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้พัฒนาการวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดนิวตรอนแห่งอื่นทั่วโลก รวมทั้งสนับสนุนการศึกษาด้านสภาพอากาศอวกาศ การพยากรณ์ผลกระทบจากดวงอาทิตย์ และการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างรังสีคอสมิกกับบรรยากาศของโลก ซึ่งมีความสำคัญต่อการวิจัยด้านฟิสิกส์อวกาศและการเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมอวกาศในอนาคต

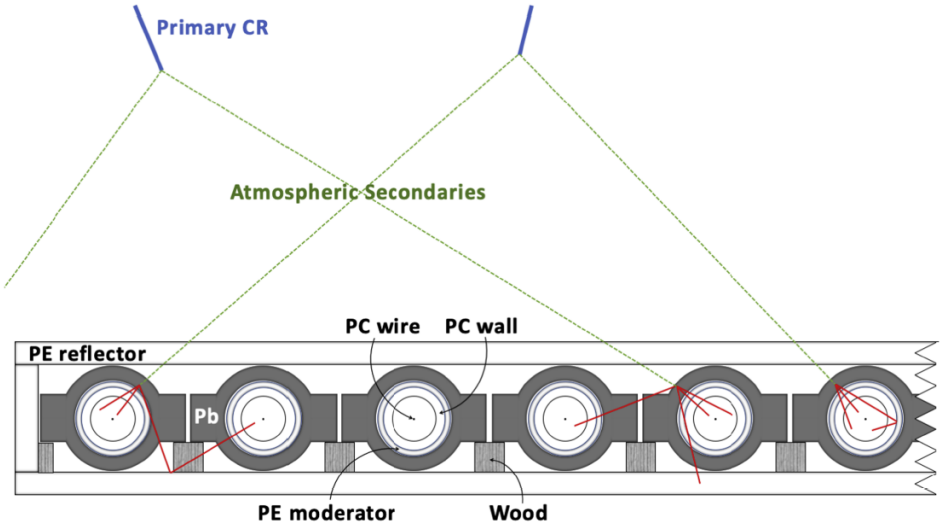

Figure 1. Schematic of ground-based neutron detection in an NM64 neutron monitor design. Primary CRs (thick blue lines) interact in Earth's atmosphere, producing cascades (showers) of atmospheric secondaries (dotted green lines) that, especially for secondary neutrons, may interact with the lead (Pb) producer inside the monitor to produce multiple MeV-range tertiary neutrons (red lines) that can be moderated by polyethylene (PE) and detected by one or more of the proportional counters (PC). We refer to neutron detection in different counters (labeled i and j) associated with the same primary CR (i.e., temporally associated) as cross-counter multiplicity, the inverse of which is the leader fraction, L_{ij}. Using L_{ij} from counters at various separations $\Delta \equiv |i - j|$, we can statistically distinguish the contributions of single and multiple atmospheric secondaries to the neutron multiplicity.