Cosmic-Ray Flux Correlation between MCMU and JBGO Neutron Monitors
คอร์ริเลชันระหว่างฟลักซ์รังสีคอสมิกที่วัดโดยเครื่องตรวจวัดนิวตรอน MCMU และ JBGO

(A. Kittiya, W. Nuntiyakul*, A. Seripienlert, S. Madlee, W. Sonsrettee, P. Evenson, **D. Ruffolo, A. Sáiz,** S. Oh, J. Jung, Q. Q. Shi, S. Wang, C. Y. Han, L. M. Zhai, and K. Munakata, Cosmic Ray Flux Correlation between McMurdo and Jang Bogo Neutron Monitors, *Astrophys. J.,* **975,** 274 (4.8) https://doi.org/10.3847/1538-4357/ad843d)

Neutron monitors (NMs) are large ground-based detectors of atmospheric secondary particles, mostly neutrons, from primary cosmic rays. Their sky direction and rigidity imply a well-defined incoming (asymptotic) direction in space. From 2015 December 16 to 2017 January 8, 6 of the 18 NM counters had been transferred from McMurdo to Jang Bogo, both in Antarctica, so data from similar detectors were recorded simultaneously at these two nearby NM stations. Autocorrelations of these NM count rates are well fit as the sum of three components: an exponential function and a cosine with a period of 1 day, both centered at zero lag, plus a constant. Fitting the cross correlation of the two count rates, the functions are no longer centered at zero lag. The best-fit cosine phase is at time lag -160.22 ± 0.12 minutes. Calculating cosmic-ray trajectories in Earth's magnetic field throughout the time interval, the mean difference in response-weighted asymptotic longitudes corresponds to time lag -169.41 ± 0.31 minutes, in close agreement with the observed lag. Thus, the cosine term is consistent with and provides a technique to cleanly measure the cosmic-ray anisotropy. In contrast, the peak term shows a time lag of −14.55 minutes, much closer to the −9.60 minutes lag in rotation due to the difference in geographic longitude. We find a similar behavior in the correlations between other pairs of stations. We propose that rapid fluctuations in the counting rate may be primarily due to cosmic-ray particles of very high energy.

เครื่องตรวจวัดนิวตรอน (neutron monitors; NMs) คือเครื่องวัดขนาดใหญ่บนพื้นโลก ที่วัดอนุภาคทุติยภูมิ (โดยส่วนใหญ่เป็นอนุภาคนิวตรอน) ซึ่งเกินจากการชนของอนุภาครังสีคอสมิกปฐมภูมิกับบรรยากาศโลก สำหรับแต่ละทิศทางและริจิดิตี (โมเมนตัมต่อประจุ) ของรังสีคอสมิกตอนมาถึงบรรยากาศนั้น เราสามารถระบุทิศทาง “อสิมป์ทอติก” ในอวกาศก่อนการเข้าถึงสนามแม่เหล็กโลก ตั้งแต่วันที่ 16 ธ.ค. ปี ค.ศ. 2015 จน 8 ม.ค. 2017 ได้มีการค้นย้ายหลอดวัดนิวตรอน 6 หลอด จากทั้งหมด 18 หลอด จากสถานี McMurdo สู่สถานี Jang Bogo ซึ่งอยู่ใกล้กันในทวีปแอนตาร์กติกา จึงมีการบันทึกข้อมูลพร้อมกันจากสองสถานีนี้ ออโตคอร์ริเลชันของอัตรานับนิวตรอนต่อความหน่วงเวลาสามารถฟิตโดยสามองค์ประกอบ คือ ฟังค์ชันเอกซ์โปเนนเชียล โคไซน์ด้วยคาบ 1 วัน ซึ่งทั้งคู่เป็นฟังค์ชันรอบค่าความหน่วงเวลาเท่ากับศูนย์ พร้อมด้วยค่าคงที่ แต่เมื่อฟิตคอร์ริเลชันข้ามระหว่างอัตรานับระหว่างสองสถานีนั้น ฟังค์ชันเหล่านั้นอยู่รอบค่าความหน่วงเวลาที่ไม่เป็นศูนย์แล้ว โดยเทอมโคไซน์มีเฟสสำหรับความหน่วงเวลา -160.22 ± 0.12 นาที และต่อเมื่อคำนวณเส้นทางของอนุภาครังสีคอสมิกภายใต้สนามแม่เหล็กโลกตลอดช่วงเวลานั้น และเฉลี่ย

โดยให้น้ำหนักตามความตอบสนองของเครื่องวัด พบความแตกต่างในลองจิจูดอสิมทอติกที่สัมพันธ์กับความหน่วงเวลา -169.41 ± 0.31 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจะการสังเกตคอร์ริเลชัน ดังนั้น เทอมโคไซน์นั้นเป็นผลมาจากแอนไอโซโทปีของรังสีคอสมิก และเป็นวิธีที่วัดแอนไอโซโทปีอย่างชัดเจน แต่เทอมเอกซ์โปเนนเชียลที่ทำให้มีจุดยอดตรงกับความหน่วงเวลา -14.55 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่า -9.60 นาทีจากการหมุนตามความแตกต่างในลองจิจูดเชิงภูมิศาสตร์ เราพบพฤติกรรมที่ใกล้เคียงจากคอร์ริเลชันระหว่างสนานีตรวจวัดนิวตรอนคู่อื่น ๆ เราเสนอว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในอัตรานับนิวตรอนอาจจะมีผลหลักมาจากอนุภาครังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงมาก

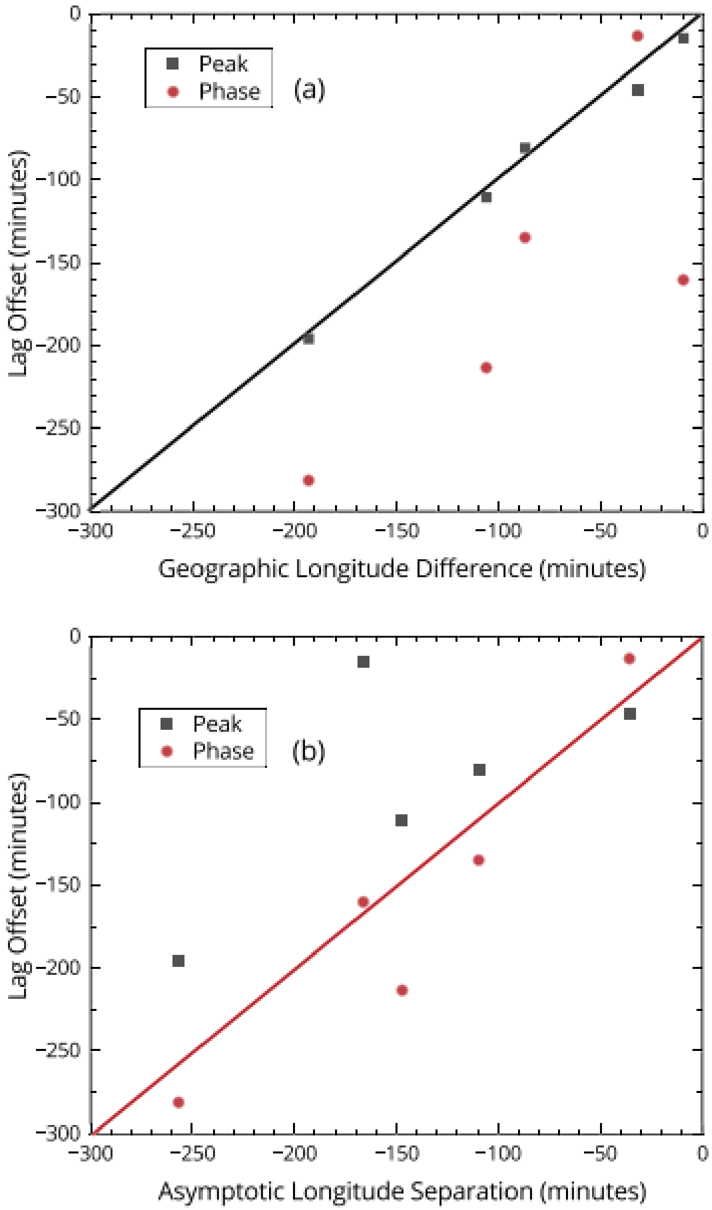

Figure 8. Lag offset, either for the peak offset or the cosine phase from cross correlations of the NM count rates, as a function of (a) geographic longitude difference and (b) calculated asymptotic longitude separation. The lines indicate exact equivalence, not a fit to the data. It can be seen that the peak offset closely follows the geographic longitude difference, while the cosine phase is more closely related to the asymptotic longitude.