Measurements of All-Particle Energy Spectrum and Mean Logarithmic Mass of Cosmic Rays from 0.3 to 30 PeV with LHAASO-KM2A

การวัดสเปกตรัมรวมและมวลเฉลี่ยแบบลอกการิทึมของรังสีคอสมิกในช่วง 0.3 ถึง 30 PeV โดยเครื่องมือ LHAASO-KM2A

Zhen Cao, the LHAASO Collaboration (including W. Mitthumsiri, P. Pattarakijwanich, D. Ruffolo and A. Sáiz),

Physical Review Letters, Volume 132, Issue 13, id.131002, 8 pp., March 2024

We present the measurements of all-particle energy spectrum and mean logarithmic mass of cosmic rays in the energy range of 0.3–30 PeV using data collected from LHAASO-KM2A between September 2021 and December 2022, which is based on a nearly composition-independent energy reconstruction method, achieving unprecedented accuracy. Our analysis reveals the position of the knee at 3.67±0.05±0.15 PeV. Below the knee, the spectral index is found to be -2.7413±0.0004±0.0050, while above the knee, it is -3.128±0.005±0.027, with the sharpness of the transition measured with a statistical error of 2%. The mean logarithmic mass of cosmic rays is almost heavier than helium in the whole measured energy range. It decreases from 1.7 at 0.3 PeV to 1.3 at 3 PeV, representing a 24% decline following a power law with an index of -0.1200±0.0003±0.0341. This is equivalent to an increase in abundance of light components. Above the knee, the mean logarithmic mass exhibits a power law trend towards heavier components, which is reversal to the behavior observed in the all-particle energy spectrum. Additionally, the knee position and the change in power-law index are approximately the same. These findings suggest that the knee observed in the all-particle spectrum corresponds to the knee of the light component, rather than the medium-heavy components.

เราเสนอการวัดสเปกตรัมของรังสีคอสมิกทั้งหมดและมวลเฉลี่ยในช่วงพลังงาน 0.3–30 PeV โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจาก LHAASO-KM2A ตั้งแต่เดือนกันยายน 2021 ถึงเดือนธันวาคม 2022 วิธีการวัดพลังงานที่ใช้เกือบไม่ขึ้นกับองค์ประกอบของรังสีคอสมิก ทำให้ได้ความแม่นยำที่ไม่เคยมีมาก่อน การวิเคราะห์ของเราเผยให้เห็นตำแหน่งของ "เข่า" ที่ 3.67±0.05±0.15 PeV เราพบว่าสเปกตรัมใต้เข่ามีดัชนีเป็น -2.7413±0.0004±0.0050 ขณะที่สเปกตรัมเหนือเข่ามีดัชนี -3.128±0.005±0.027 โดยตำแหน่งที่เปลี่ยนจากใต้เข่าเป็นเหนือเข่าโดนวัดได้ด้วยความแม่นยำ 2% มวลเฉลี่ยแบบลอกการิทึมในช่วงพลังงานทั้งหมดนั้น หนักกว่าฮีเลียมเกือบตลอดช่วงที่วัดได้ โดยลดลงจาก 1.7 ที่ 0.3 PeV มาเป็น 1.3 ที่ 3 PeV แสดงถึงการลดลง 24% ตามกฎกำลังที่มีดัชนี -0.1200±0.0003±0.0341 ซึ่งเทียบเท่ากับการเพิ่มขึ้นของธาตุเบา เหนือเข่า มวลเฉลี่ยแบบลอกการิทึมแสดงแนวโน้มมีธาตุหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับพฤติกรรมที่พบในสเปกตรัมพลังงานแบบรวมทุกอนุภาค นอกจากนี้ ตำแหน่งของเข่าและการเปลี่ยน-แปลงในดัชนีกฎพลังงานมีความใกล้เคียงกัน ข้อมูลเหล่านี้บ่งบอกว่าเข่าที่พบในสเปกตรัมทั้งหมดนั้นสอดคล้องกับเข่าของอนุภาคน้ำหนักเบา แทนที่จะเป็นอนุภาคน้ำหนักปานกลางถึงมาก

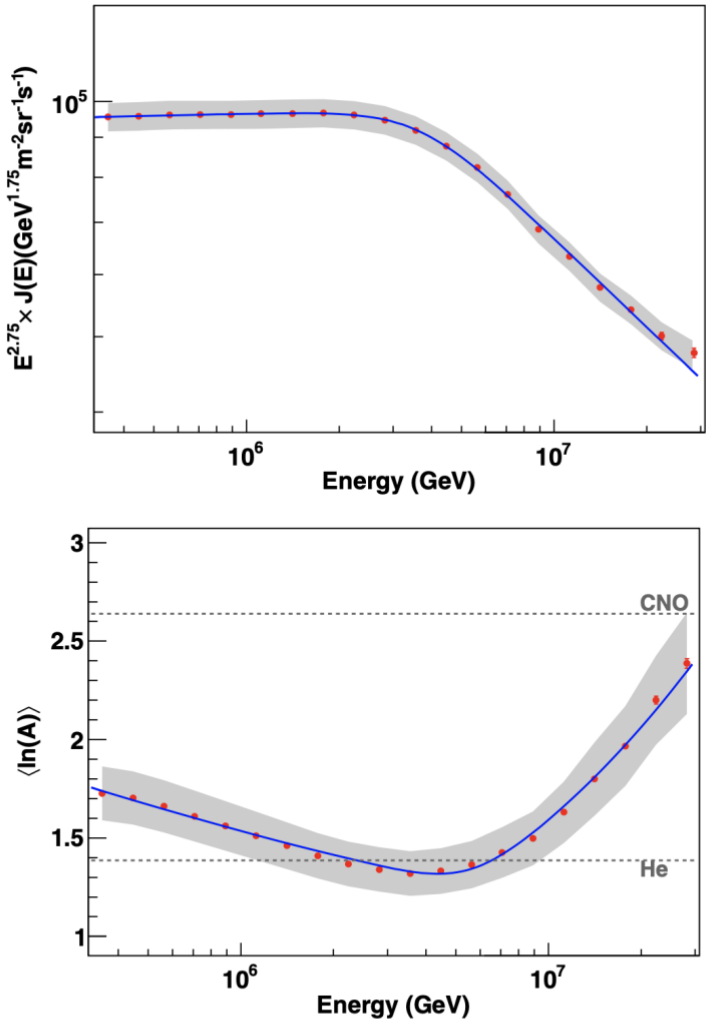

FIG. 3. Upper: The all-particle energy spectrum flux multiplied by $E^{2.75}$ as a function of energy. Bottom: The $\langle \ln(A) \rangle$ of cosmic rays as a function of energy. The error bars show the statistical uncertainties and the gray shadow band represents the estimated combined systematic uncertainties. The blue solid curves indicate the fit of Eq. (4) to the data.