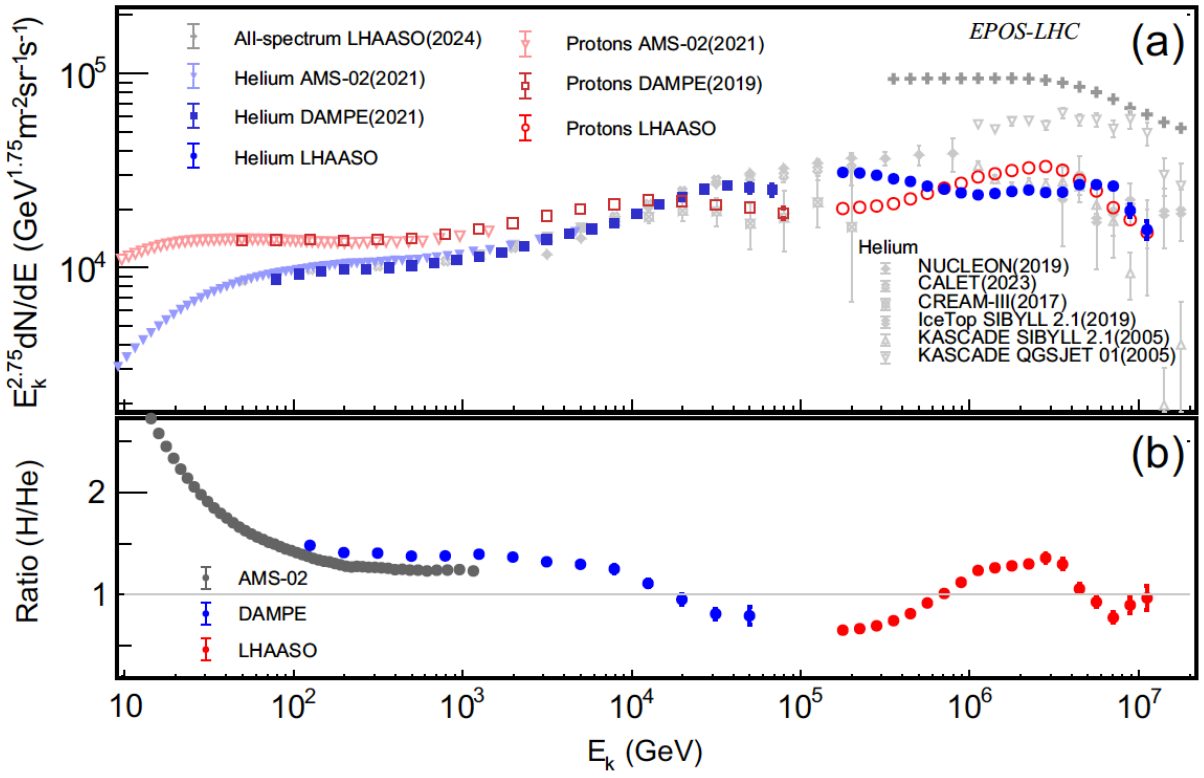
Precise Measurement of the Cosmic Ray Helium Spectrum above 0.1 PeV

การวัดความแม่นยำสูงของสเปกตรัมของรังสีคอสมิกชนิดฮีเลียมที่มีพลังงานมากกว่า 0.1 PeV

Zhen Cao, the LHAASO Collaboration (including W. Mitthumsiri, P. Pattarakijwanich, D. Ruffolo and A. Sáiz), Physical Review Letters 136, 121001 (2025)

We report a measurement of the cosmic ray helium energy spectrum in the energy interval 0.16–13 PeV, derived by subtracting the proton spectrum from the light component (proton and helium) spectrum obtained with observations made by the Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) under a consistent energy scale. The helium spectrum shows a significant hardening centered at $E \simeq 1.1$ PeV, followed by a softening at ~7 PeV, indicating the appearance of a helium "knee." Comparing the proton and helium spectra in the LHAASO energy range reveals some remarkable facts. In the lower part of this range, in contrast to the behavior at lower energies, the helium spectrum is significantly softer than the proton spectrum. This results in protons overtaking helium nuclei and becoming the largest cosmic ray component at $E \simeq 0.7$ PeV. A second crossing of the two spectra is observed at $E \simeq 5$ PeV, above the proton knee, when helium nuclei overtake protons to become the largest cosmic ray component again. These results have important implications for our understanding of the Galactic cosmic ray sources.

เรารายงานผลการวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีคอสมิกชนิดฮีเลียมในช่วงพลังงาน 0.16 – 13 PeV ด้วยการหักลบสเปกตรัมของโปรตอนออกจากสเปกตรัมของอนุภาคมวลเบา (โปรตอนและฮีเลียม) โดยใช้ข้อมูลจาก LHAASO ลักษณะพลังงานของฮีเลียมมีการแข็งขึ้นที่พลังงานประมาณ 1.1 PeV ตามมาด้วยการอ่อนลงที่ประมาณ 7 PeV แสดงถึงลักษณะของ "เข่า" ของสเปกตรัมตามที่เรารู้จัก เมื่อเทียบกับโปรตอนแล้ว ที่พลังงานต่ำฮีเลียมมีสเปกตรัมที่อ่อนกว่าโปรตอนอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้โปรตอนกลายเป็นอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อนับตั้งแต่พลังงานประมาณ 0.7 PeV ขึ้นไป แต่ที่พลังงานประมาณ 5 PeV ฮีเลียมกลับมาเป็นองค์ประกอบของรังสีคอสมิกที่มีปริมาณมากที่สุดอีกครั้ง ผลการวัดที่ละเอียดแม่นยำนี้มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจรังสีคอสมิกในกาแลกซีของเรา


All-spectrum LHAASO(2024)
Helium AMS-02(2021)
Helium DAMPE(2021)
Helium LHAASO
Protons AMS-02(2021)
Protons DAMPE(2019)
Protons LHAASO
EPOS-LHC
(a)
Helium
NUCLEON(2019)
CALET(2023)
CREAM-III(2017)
IceTop SIBYLL 2.1(2019)
KASCADE SIBYLL 2.1(2005)
KASCADE QGSJET 01(2005)
$E_k^{2.75}dN/dE$ (GeV$^{1.75}$m^{-2}sr^{-1}s^{-1})
(b)
Ratio (H/He)
AMS-02
DAMPE
LHAASO
E_k (GeV)