Ultrahigh-energy gamma-ray emission associated with black hole–jet systems

การเปล่งรังสีแกมมาพลังงานสูงยิ่งยวดที่มาจากระบบของหลุมดำและลำอนุภาค

Zhen Cao, the LHAASO Collaboration (including W. Mitthumsiri, P. Pattarakijwanich, D. Ruffolo and A. Sáiz),
National Science Review 12, mwaf496 (2025)

Black holes (BHs), one of the most intriguing objects in the universe, can manifest themselves through electromagnetic radiation initiated by the accretion flow. Some stellar-mass BHs drive relativistic jets when accreting matter from their companion stars, forming microquasars. Non-thermal emission from the radio to teraelectronvolt gamma-ray band has been observed from microquasars, indicating the acceleration of relativistic particles. Here we report detection of four microquasars (SS 433, V4641 Sgr, GRS 1915+105, MAXI J1820+070) of spectra extending to the ultrahigh-energy (UHE; photon energy E > 100 TeV) band, and one microquasar (Cygnus X-1) with a spectrum approaching 100 TeV, using the Large High Altitude Air Shower Observatory. Notably, the total emission associated with SS 433 cannot be interpreted with a single leptonic component. In the UHE band, its emission is in spatial coincidence with a giant atomic cloud, which is consistent with a hadronic origin. An elongated source is discovered from V4641 Sgr with the spectrum continuing up to 800 TeV. The detection of UHE gamma rays demonstrates that accreting BHs and their environments can operate as extremely efficient accelerators of particles up to 1 PeV, suggesting that microquasars are important contributors to Galactic cosmic rays, especially around the ‘knee’ region.

หลุมดำสามารถเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้จากการที่สสารไหลเข้าไป หลุมดำที่มีมวลประมาณดาวฤกษ์เปล่งรังสีพลังงานสูงเมื่อสสารจากดาวฤกษ์ที่โคจรคู่กันไหลเข้าไปที่รู้จักกันในชื่อของไมโครเควซาร์ รังสีที่หลุมดำนี้ปลดล่อย มีตั้งแต่ระดับคลื่นวิทยุไปถึงรังสีแกมมาพลังงานสูง ในงานชิ้นนี้เรารายงานการตรวจพบไมโครเควซาร์ 4 วัตถุ ที่เปล่งพลังงานไปถึงย่านรังสีแกมมาพลังงานสูงยิ่งยวด (>100 TeV) และ 1 วัตถุที่เปล่งพลังงานไปย่านพลังงานสูงมาก (~100 TeV) ด้วยเครื่องมือวัด Large High Altitude Air Shower Observatory เราพบว่าการเปล่งด้วยกระบวนการเชิงเลปตอนแบบเดียวไม่สามารถจะอธิบายข้อมูลได้ จึงต้องใช้กระบวนการเชิงแฮดรอนร่วมด้วย เรายังพบว่าบริเวณที่มีการเปล่งรังสีของบางวัตถุมีลักษณะยืดยาวออกและมีพลังงานสูงถึงระดับ 800 TeV ผลนี้แสดงให้เห็นว่าหลุมดำและบริเวณโดยรอบสามารถเป็นแหล่งกำเนิดชั้นดีของรังสีคอสมิกภายในกาแลกซีไปถึงระดับ PeV ได้

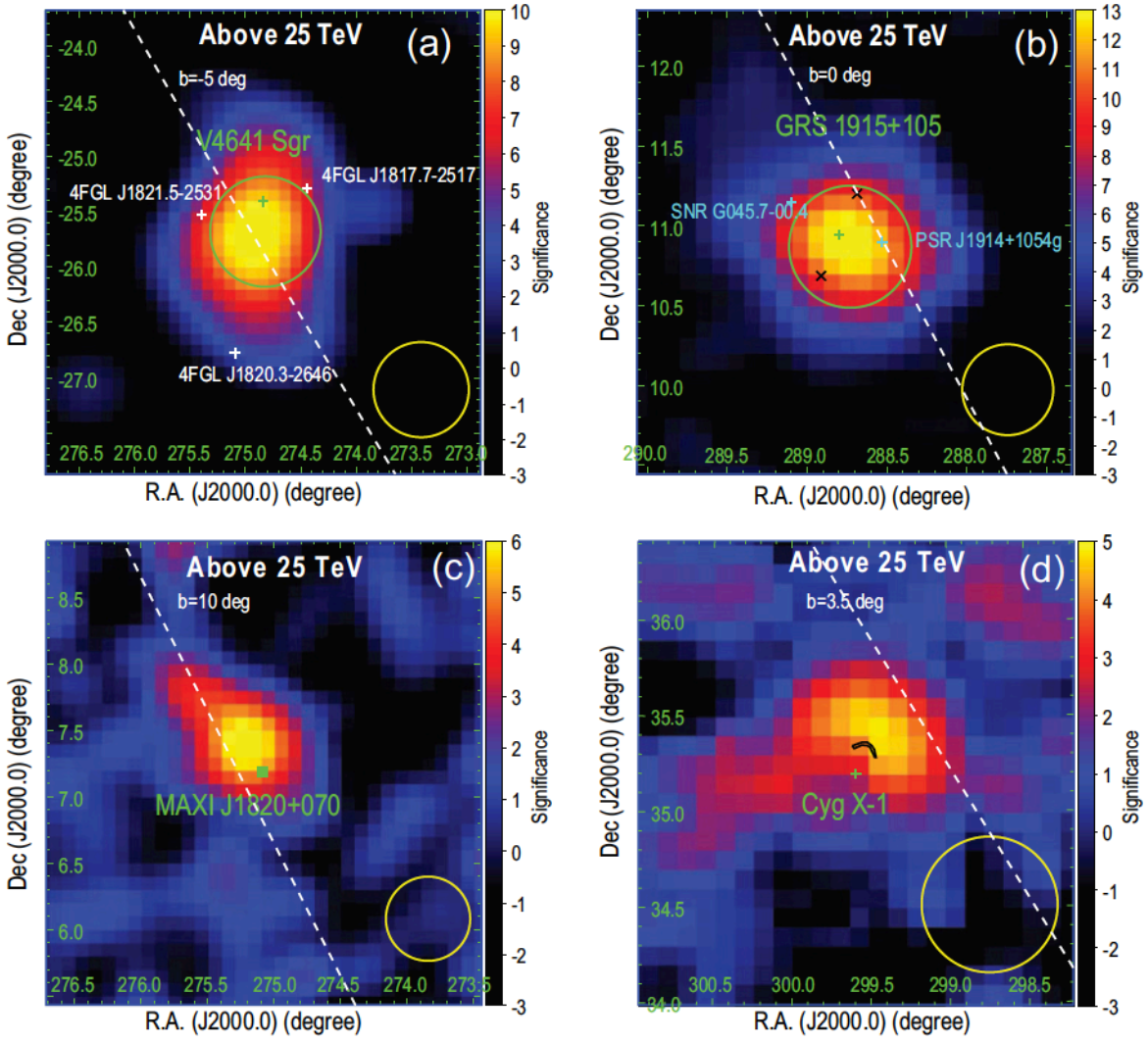

Figure 2. Significance maps of four other LHAASO-measured microquasars besides SS 433: (a) V4641 Sgr, (b) GRS 1915+195, (c) MAXI J1820+070 and (d) Cygnus X-1 at energies above 25 TeV, with surrounding sources being subtracted. In each panel, the green cross marks the position of the BH of each microquasar. The green circles in (a) and (b) exhibit 68% containment radii of the LHAASO sources, whereas no green circles are shown in (c) and (d) because of the point-like nature of the associated LHAASO sources. In (a), Fermi-LAT 4FGL-DR4 gigaelectronvolt gamma-ray sources within the 3σ significance region of V4641 Sgr are shown with white crosses. In (b), other possible counterparts to the observed teraelectronvolt emission are shown with cyan crosses. The black cross represents the hot spots observed by ALMA. The black arc in (d) represents the bow-like radio structure inflated by the jet of Cygnus X-1 [30]. The yellow circle in each panel shows the corresponding 68% containment radii of LHAASO PSF. The dashed white lines indicate the direction of the galactic plane.