

An ultrahigh-energy γ -ray bubble powered by a super PeVatron

ฟองรังสีแกมมาพลังงานสูงยิ่งยวดที่ได้รับพลังงานจากเพวตรอน

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

Science Bulletin, Volume 69, Issue 4, p. 449-457, February 2024

We report the detection of a γ -ray bubble spanning at least 100 deg² in ultra-high energy (UHE) up to a few PeV in the direction of the star-forming region Cygnus X, implying the presence super PeVatron(s) accelerating protons to at least 10 PeV. A log-parabola form with the photon index $\Gamma(E) = (2.71 \pm 0.02) + (0.11 \pm 0.02) \times \log_{10}(E/10\text{TeV})$ is found fitting the gamma-ray energy spectrum of the bubble well. UHE sources, "hot spots" correlated with very massive molecular clouds, and a quasi-spherical amorphous γ -ray emitter with a sharp central brightening are observed in the bubble. In the core of $\sim 0.5^\circ$, spatially associating with a region containing massive OB association (Cygnus OB2) and a microquasar (Cygnus X-3), as well as previously reported multi-TeV sources, an enhanced concentration of UHE γ -rays is observed with 2 photons at energies above 1 PeV. The general feature of the bubble, the morphology, and the energy spectrum, are reasonably reproduced by the assumption of a particle accelerator in the core, continuously injecting protons into the ambient medium.

เรารายงานการค้นพบฟองรังสีแกมมาที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 องศาในทิศทาง Cygnus X ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเกิดดาวใหม่เป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงถึงการมีอยู่ของแหล่งกำเนิดรังสี PeVatron ที่เร่งโปรตอนได้ถึง 10 PeV สเปกตรัมของฟองรังสีแกมมาที่พบสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ log-parabola โดยมีดัชนีโฟตอน $\Gamma(E) = (2.71 \pm 0.02) + (0.11 \pm 0.02) \times \log_{10}(E/10\text{TeV})$ ภายในฟองนี้ มีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานสูงยิ่งยวดที่มีตำแหน่งสอดคล้องกับเมฆโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีการปล่อยรังสีแกมมาในรูปแบบกลมที่สว่างขึ้นในบริเวณกึ่งกลางที่ใจกลางของฟองนี้มีการปล่อยรังสีแกมมาพลังงานสูงยิ่งยวดในปริมาณมาก ซึ่งเกี่ยวข้องกับบริเวณที่มีการเกิดดาวขนาดใหญ่ (Cygnus OB2) และควอซาร์ขนาดเล็ก (Cygnus X-3) รวมถึงแหล่งกำเนิดรังสี TeV ที่มีรายงานมาก่อนหน้านี้ ฟองนี้ถูกอธิบายได้ด้วยสมมติฐานว่ามีกระบวนการเร่งอนุภาคที่ใจกลางที่ทำการปล่อยโปรตอนพลังงานสูงเข้าสู่สสารโดยรอบอย่างต่อเนื่อง

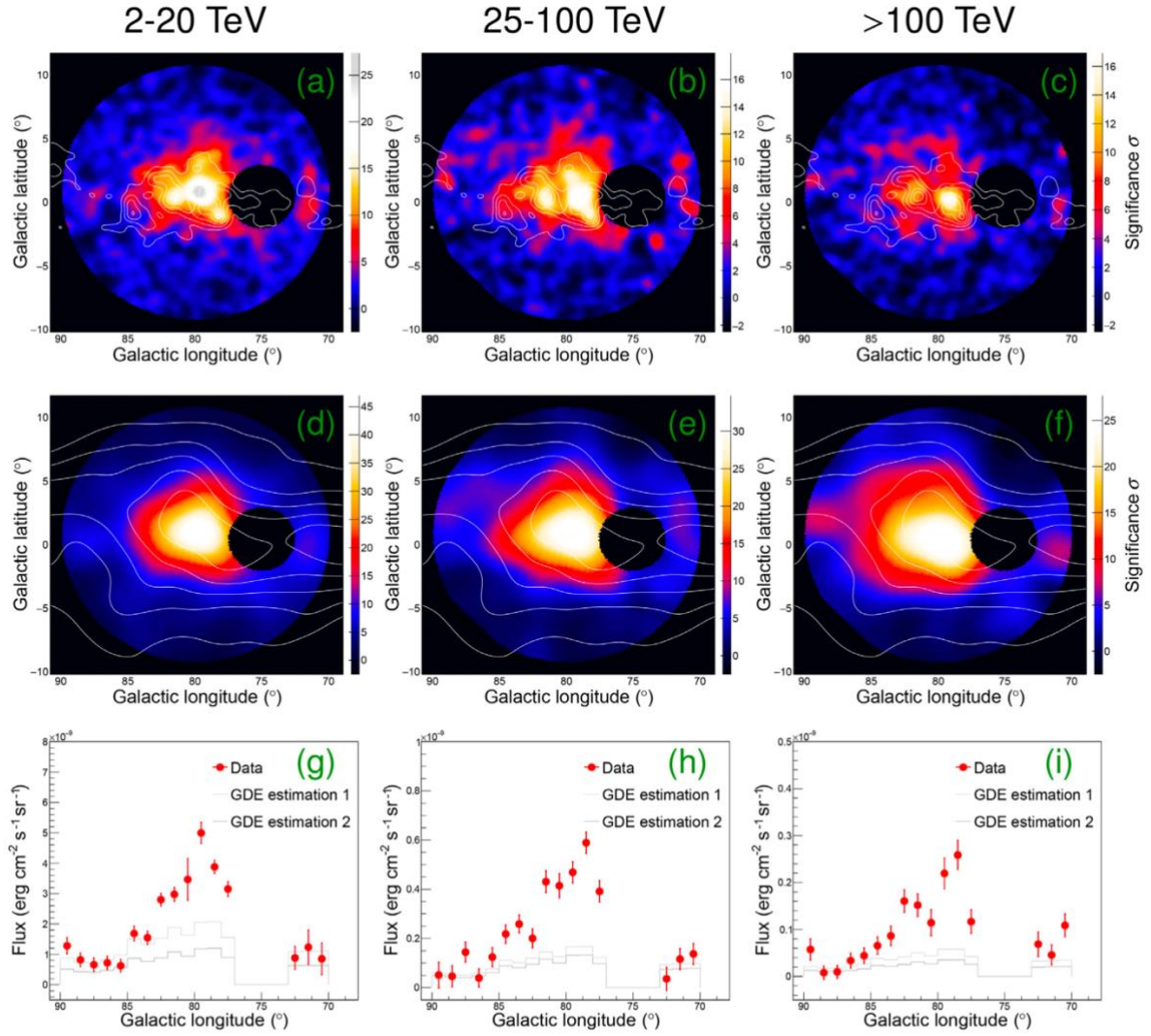


Fig. 2. (Color online) The Cygnus bubble in 3 decades of photon energy. The top two rows show the two-dimensional significance maps of the Cygnus bubble in the region of interest, which are smoothed with a Gaussian kernel of $\sigma=0.3^\circ$ (upper row) and $\sigma=1^\circ$ (middle row). All individual sources including the SNR γ -Cygni are removed. One-dimensional angular distributions of the photons in the bubble are displayed in the lower row. From left to right, the columns of panels are for photon energies in the ranges of 2–20, 25–100, and >100 TeV, respectively. The structures of the bubble at different energies are visible in the upper panels (a–c). Hot spots are revealed at energies above 25 TeV associated with the local molecular cloud distribution, which is indicated by the contours. The broad structure of the bubble in the middle row of panels (d–f) has a good association with the local HI gas distribution, which is indicated by the contours. This structure covers a very wide region, i.e., 10° from the core. The distribution of γ -ray emission in Galactic longitude with a latitude range from -2° to 2° is displayed in the lower panels (g–i). The GDE estimation 1 and 2 are derived from inner and outer galaxy region separately.