



Estudio en radio de dos fuentes de muy alta energía

A. Petriella^{1,2}, L. Duvidovich¹ & E. Giacani^{1,3}

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

² Ciclo Básico Común, UBA, Argentina

³ Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA, Argentina

Contacto / apetriella@iafe.uba.ar

Resumen / Se presentan resultados preliminares del estudio hacia HESS J1857+026 y HESS J1912+101, dos fuentes TeV de naturaleza incierta. Con el objetivo de identificar los posibles objetos astrofísicos aceleradores de partículas, se analizan nuevas observaciones en el continuo de radio obtenidas con el Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) y se estudia la distribución del medio interestelar utilizando datos públicos de la emisión del gas neutro y molecular. Respecto de HESS J1857+026, se sugiere que podría estar asociada a una superburbuja, la cual contribuiría a la emisión γ . Por su parte, la morfología de cáscara de HESS J1912+101 en el rango de los TeV podría deberse a la superposición de varias fuentes diferentes y no a un único remanente de supernova.

Abstract / We present preliminary results about the study of the TeV sources of unknown nature HESS J1857+026 and HESS J1912+101. We aim to identify the astrophysical objects responsible of particle acceleration using new radio continuum observations obtained with the Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) and we analyze the distribution of the interstellar medium using public data of the neutral hydrogen and molecular gas emissions. We suggest that HESS J1857+026 could be associated with a superbubble, which may contribute to the γ -ray emission. We found that the shell morphology of HESS J1912+101 could be produced by the superposition of different sources rather than by a single supernova remnant.

Keywords / ISM: individual objects (HESS J1857+026, HESS J1912+101) — radio continuum: ISM — ISM: supernova remnants — ISM: clouds

1. Introducción

Presentamos resultados preliminares del estudio hacia las fuentes de rayos γ HESS J1857+026 y HESS J1912+101, cuya identificación es aún objeto de debate, con el objetivo de dilucidar la naturaleza de las mismas.

HESS J1857+026 es una fuente TeV extendida, inicialmente identificada como una nebulosa de viento de púlsar (NVP) debido a la presencia del púlsar de radio PSR J1856+0245 (Hessels et al., 2008). Observaciones con MAGIC (MAGIC Collaboration et al., 2014) muestran que para energías mayores a 1 TeV esta fuente se resuelve en dos objetos separados, denominados MAGIC J18572+0263 (MAG1) y MAGIC J18572+0297 (MAG2). Estos autores proponen que MAG1 sería la NVP alimentada por PSR J1856+0245, mientras que MAG2 no posee un origen astrofísico definido pero podría estar asociada con una cáscara de CO y/o una región III. En la banda de radio, las observaciones en 1.4 GHz del VLA Galactic Plane Survey (VGPS, Stil et al. 2006), con una sensibilidad (rms) de ≈ 2 mJy beam⁻¹, no muestran emisión proveniente de la NVP ni del remanente de supernova (RSN) asociados con el púlsar.

HESS J1912+101 ha sido identificada como una cáscara en el rango de los TeV, motivo por el cual se la considera una candidata a RSN. El púlsar PSR J1913+10122, ubicado hacia el centro de la cáscara, podría ser el objeto compacto creado en la explosión de supernova. Su et al. (2017) reportan la detección de gas molecular a una velocidad de ≈ 60 km s⁻¹, compatible

con la distancia al púlsar de ≈ 4.6 kpc, cuya distribución y características cinemáticas han sido atribuidas a un evento expansivo, posiblemente un RSN. A la fecha no se ha detectado la contraparte en radio de la cáscara TeV, sin embargo Reich & Sun (2019) identificaron emisión altamente polarizada que podría provenir de un RSN muy evolucionado. En un escenario alternativo, Zhang et al. (2020) sugieren que HESS J1912+101 sería la contraparte en el rango de los TeV de una NVP alimentada por dicho púlsar y formaría parte del grupo de los “TeV halos”, es decir, nebulosas muy extendidas en las altas energías y alimentadas por púlsares de edad intermedia. Sin embargo, Zeng et al. (2021) realizan un estudio espectral con observaciones GeV y TeV, del cual concluyen que la emisión γ de HESS J1912+101 tendría un origen hadrónico y podría provenir de un RSN en una etapa avanzada de evolución.

2. Observaciones

La fuente HESS J1857+026 se observó con el Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) en banda L (1.5 GHz) con la configuración C (proyecto VLA 18B-001). Se observó también una región de 0.2° en dirección al púlsar PSR J1856+0245 en banda C (6.0 GHz). La fuente HESS J1912+101 fue observada con el JVLA en banda L con la configuración D (proyecto VLA 18A-093). También se observó en banda C una región centrada en el púlsar PSR J1913+1011. Las escalas angulares máximas para ambas configuraciones en bandas L y C son

16' y 4', respectivamente. Para ambas fuentes, las observaciones se procesaron con el VLA CASA CALIBRATION PIPELINE y se aplicó un filtrado (*flagging*) adicional de las visibilidades para mejorar la calidad de los datos. Las imágenes finales se obtuvieron con la rutina TCLEAN de CASA.

Además, se investigó la distribución del medio interestelar (MIE) hacia ambas fuentes utilizando datos del hidrógeno neutro (HI) extraídos del VGPS. Para el estudio de HESS J1912+101 se utilizaron además datos del ^{13}CO ($J=1-0$) extraídos del Galactic Ring Survey (Jackson et al., 2006) e imágenes de la emisión infrarroja en las bandas de 8.0 μm y 24.0 μm de *Spitzer*.

3. Resultados

3.1. HESS J1857+026

En la Fig. 1 se muestra la nueva imagen hacia HESS J1857+026 en 1.5 GHz, con contornos de la emisión γ por debajo de 1 TeV. A pesar de la alta resolución angular y sensibilidad de los nuevos datos en radio ($\text{rms} \approx 0.7 \text{ mJy beam}^{-1}$), no se encontró evidencia de una cáscara asociada a la emisión TeV y tampoco emisión en la posición del púlsar PSR J1856+0245 ni emisión extendida de una posible NVP por encima de 2 mJy beam^{-1} (equivalente a 3 veces el rms). Las fuentes extendidas que se observan en la imagen corresponden al RSN G35.6–0.4 y a regiones HII (ver el catálogo wise*). Los nuevos datos obtenidos en 6.0 GHz tampoco muestran emisión extendida que pudiera representar la NVP alimentada por el púlsar.

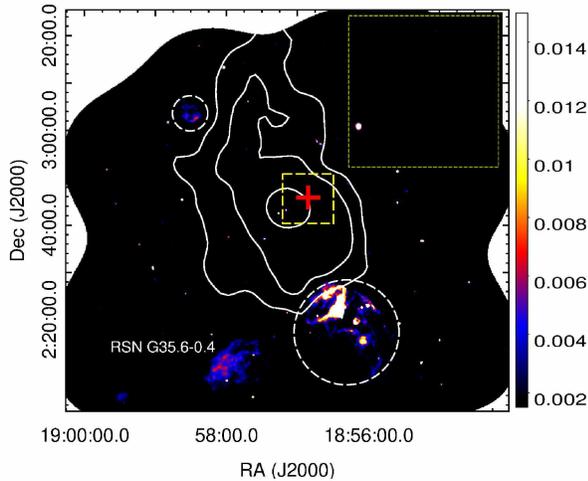


Figura 1: Imagen en 1.5 GHz hacia HESS J1857+026, con contornos de la emisión TeV. La cruz indica la posición de PSR J1856+0245 y los círculos las regiones HII catalogadas. La escala se expresa en Jy beam^{-1} . El recuadro amarillo grande muestra una ampliación de la imagen hacia la posición del púlsar (recuadro pequeño). La imagen obtenida tiene una resolución de $\approx 17'' \times 15''$.

Se analizó la distribución del HI en dirección de la emisión TeV y se halló una cavidad de gas neu-

*<http://astro.phys.wvu.edu/wise/>

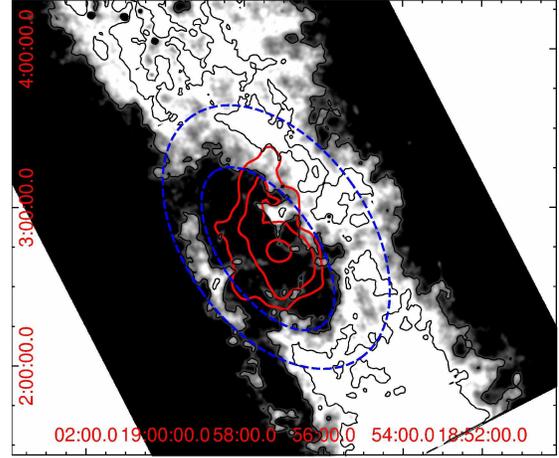


Figura 2: Emisión del HI integrada entre 80 y 100 km s^{-1} hacia HESS J1857+026. Se muestran en rojo los contornos de la emisión TeV. Las elipses delimitan la región de integración usada para estimar los parámetros físicos de la cáscara de HI.

tro rodeada de una cáscara en el rango de velocidades $\approx 80 - 100 \text{ km s}^{-1}$ (ver Fig. 2). A partir de la velocidad central de esta estructura ($\approx 90 \text{ km s}^{-1}$), aplicando el modelo de rotación galáctica de Persic et al. (1996), se obtienen las distancias cinemáticas de 5.5 y 8.5 kpc. La distancia lejana es, dentro de los errores, compatible con la distancia a PSR J1856+0245, por lo cual se la adopta como distancia a la cavidad de HI.

La distribución del HI, formando una cavidad rodeada de una cáscara, es similar a las de las supercáscaras detectadas en nuestra Galaxia. Estas estructuras se forman como consecuencia de la acción sobre el MIE de los vientos de cúmulos de estrellas de gran masa. Para caracterizar esta estructura, se estimó la masa de la cáscara suponiendo que el HI se encuentra en equilibrio termodinámico local: $M = 1.3 \times 10^{-3} D_{\text{kpc}}^2 \Omega \Delta T dv M_{\odot}$, donde D_{kpc} es la distancia en kpc, Ω el área de la cáscara en sr, ΔT es la temperatura de brillo promedio sobre la cáscara corregida por la temperatura del fondo, y dv es el intervalo de integración en velocidad. Se integró la emisión de la cáscara en la región delimitada por las elipses de la figura. Siguiendo el procedimiento descrito en Suad et al. (2019), se estimó una temperatura de fondo a partir de la masa barrida en la cáscara y la masa faltante en la cavidad. La masa de la cáscara es $M \approx 3.3 \times 10^4 M_{\odot}$. Si la velocidad de expansión de la cáscara es $v_c \approx 10 \text{ km s}^{-1}$ (la mitad de intervalo de velocidades donde se detecta emisión del HI asociada con la misma), la energía cinética es de $\approx 3.3 \times 10^{49} \text{ erg}$ y la edad dinámica $t_c = R_c/v_c \approx 8 \times 10^6$ años, donde se utilizó un radio efectivo para la cáscara $R_c = 80 \text{ pc}$.

Las dimensiones, masa barrida, energía cinética y edad dinámica de la cáscara de HI son similares a las halladas en otras supercáscaras en la Galaxia (Suad et al., 2019). Concluimos que esta estructura de gas neutro habría sido creada por los vientos de estrellas de gran masa.

3.2. HESS J1912+101

En la nueva imagen en 1.5 GHz hacia HESS J1912+101 (no se muestra en este trabajo) no se detecta emisión asociada con la cáscara TeV ni emisión proveniente de PSR J1913+1011 o de una NVP a su alrededor por encima de 3 mJy beam^{-1} (equivalente a 3 veces el rms obtenido). Las observaciones en 6.0 GHz hacia el púlsar muestran una estructura extendida, algo desplazada respecto del mismo (ver Fig. 3). La imagen del infrarrojo de *Spitzer* no muestra emisión extendida en coincidencia con esta estructura en radio. La ausencia de emisión infrarroja indicaría un origen no térmico para la emisión en radio, sugiriendo que podría ser una NVP alimentada por PSR J1913+1011.

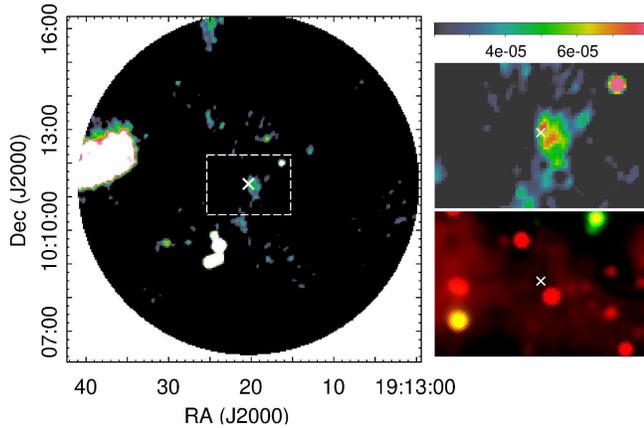


Figura 3: *Panel izquierdo*: imagen en 6.0 GHz hacia PSR J1913+1011, indicado con una cruz. La resolución es de $\approx 11'' \times 9''$ y el ruido (rms) de $\approx 10 \mu\text{Jy beam}^{-1}$. *Panel superior derecho*: imagen ampliada del recuadro con escala en Jy beam^{-1} . *Panel inferior derecho*: emisión infrarroja ($8.0 \mu\text{m}$ en rojo y $24.0 \mu\text{m}$ en verde) hacia el recuadro.

A partir del análisis de la distribución del material molecular y atómico hacia HESS J1912+101, en el rango de velocidades $\approx 54 - 66 \text{ km s}^{-1}$ se encontraron varias nubes en coincidencia con los máximos de la emisión TeV del este y oeste (para el ^{13}CO) y del sur (para el HI) (Fig. 4). En particular, el máximo del oeste de la emisión TeV se superpone con emisión del gas molecular y con una región HII (indicada en la figura con el círculo verde punteado).

4. Conclusiones

Se detectó una supercáscara de HI coincidente con la fuente HESS J1857+026. Si bien no es posible llegar a una conclusión definitiva sobre el origen de la emisión TeV, este hallazgo sustenta un escenario cada vez más aceptado en el cual los rayos cósmicos (responsables de la emisión γ) no serían en su mayoría acelerados por RSNs aislados, sino más bien por los efectos combinados de los vientos de estrellas de gran masa y de RSNs en el interior de superburbujas (Parizot et al., 2004).

Respecto de HESS J1912+101, se detectó emisión extendida en 6.0 GHz alrededor del púlsar PSR

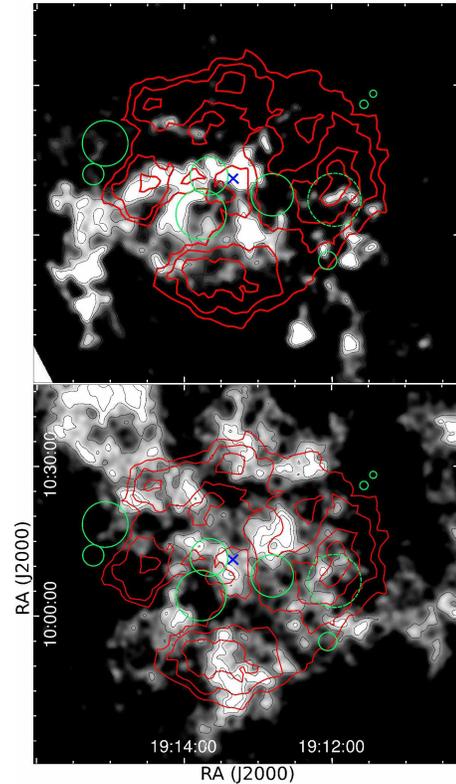


Figura 4: *Panel superior*: emisión del ^{13}CO integrada en el rango $\approx 54 - 66 \text{ km s}^{-1}$, con contornos rojos de la emisión TeV. Los círculos verdes indican las regiones HII del catálogo WISE y la cruz azul la posición de PSR J1913+1011. *Panel inferior*: emisión del HI integrada en el mismo rango de velocidades.

J1913+1011, probablemente de origen no térmico, que podría representar la NVP. Si HESS 1912+101 fuera el RSN formado junto con el púlsar (cuya edad es de $\approx 10^5$ años), sería un objeto muy evolucionado que ya se habría disipado en el MIE, siendo indetectable con los nuevos datos en radio, pese a la alta sensibilidad de las observaciones. Del estudio del MIE, se concluye que al menos una parte de la emisión γ podría estar asociada a la actividad de formación estelar de regiones HII. En este contexto, la morfología de tipo cáscara de HESS J1912+101 podría ser consecuencia de la superposición de varias fuentes diferentes.

Referencias

- Hessels J.W.T., et al., 2008, ApJL, 682, L41
 Jackson J.M., et al., 2006, ApJS, 163, 145
 MAGIC Collaboration, et al., 2014, A&A, 571, A96
 Parizot E., et al., 2004, A&A, 424, 747
 Persic M., Salucci P., Stel F., 1996, MNRAS, 281, 27
 Reich W., Sun X.H., 2019, Res. Astron. Astrophys., 19, 045
 Stil J.M., et al., 2006, AJ, 132, 1158
 Su Y., et al., 2017, ApJ, 845, 48
 Suad L.A., et al., 2019, A&A, 624, A43
 Zeng H., et al., 2021, arXiv e-prints, arXiv:2102.03465
 Zhang H.M., et al., 2020, ApJ, 889, 12