ALMA revela una galaxia starburst oculta vinculada a un neutrino de alta energía

Una lente gravitacional permitió a un equipo de astrónomos estudiar una galaxia compacta y oscurecida por polvo, observada tal como era hace 11 mil millones de años, que constituye la contraparte más plausible identificada para un evento de neutrino de IceCube.

Un equipo científico utilizó el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) para revelar la estructura oculta de una galaxia con intensa formación estelar, tal como se observaba hace casi 11 mil millones de años. Ubicada en la misma región del cielo que un neutrino de alta energía detectado por el Observatorio de Neutrinos IceCube, esta galaxia es la contraparte electromagnética más plausible identificada hasta ahora de dicho evento.

Designada oficialmente como JCMT0402–0424 y apodada “Shadow Blaster,” la galaxia está tan profundamente oscurecida por polvo que resulta casi invisible en longitudes de onda ópticas. Las observaciones de ALMA mostraron que su luz fue magnificada y distorsionada por la gravedad de una galaxia masiva en primer plano, lo que la dividió en cuatro imágenes separadas. Al combinar los datos de alta resolución de ALMA con modelos de lente gravitacional, el equipo de investigación reconstruyó la estructura real de la galaxia e investigó el gas denso que alimenta su intensa formación estelar.

Un mensajero cósmico de origen incierto

Los neutrinos son partículas elementales eléctricamente neutras que interactúan muy débilmente con la materia. Pueden viajar a través de gas, polvo y campos magnéticos casi sin alterarse, transportando información directamente desde

algunos de los entornos más energéticos del universo.

El 22 de septiembre de 2021, IceCube —instalado en las profundidades del hielo antártico— detectó un evento de neutrino de alta energía designado IC 210922A, con una energía estimada de aproximadamente 750 teraelectronvoltios, muy por encima de lo que pueden producir la mayoría de los procesos astronómicos conocidos. Telescopios de todo el mundo examinaron la región de localización del neutrino en distintas longitudes de onda, sin encontrar ningún transitorio convincente en rayos gamma, rayos X u ópticos que pudiera explicar el evento.

Las observaciones de seguimiento con el James Clerk Maxwell Telescope identificaron una fuente submilimétrica excepcionalmente brillante en la región. El Submillimeter Array refinó su posición, y posteriormente ALMA aportó la resolución y la información espectral necesarias para revelar su naturaleza física. El equipo de investigación estimó que la probabilidad de encontrar, por azar, una galaxia submilimétrica tan inusualmente brillante dentro de la región de localización de IceCube es de aproximadamente 1% o menos. Si bien esto no establece una asociación física definitiva, la coincidencia posicional y la ausencia de una alternativa igualmente plausible convierten a Shadow Blaster en la candidata más sólida como contraparte en este campo.

ALMA descubre cuatro imágenes de una misma galaxia oculta

ALMA observó Shadow Blaster en las Bandas 3, 4 y 5. Sus observaciones de continuo de mayor resolución permitieron distinguir la fuente en cuatro imágenes distintas, dispuestas alrededor de una galaxia elíptica en primer plano. Esta configuración es producida por lente gravitacional fuerte: la gravedad de la galaxia en primer plano curva y magnifica la luz proveniente de la galaxia de fondo, mucho más distante, actuando como un telescopio cósmico natural.

Utilizando las cuatro imágenes de ALMA junto con observaciones ópticas e infrarrojas de la galaxia en primer plano, el equipo modeló el efecto de lente y reconstruyó la apariencia verdadera de Shadow Blaster. El análisis reveló un componente extendido de formación estelar de aproximadamente 1.700 años luz de extensión, junto con un componente aún más compacto que no fue posible distinguir individualmente. La magnificación producida por la lente gravitacional permitió a ALMA examinar escalas espaciales que, de otro modo, habrían sido extremadamente difíciles de observar con este nivel de detalle.

Un starburst compacto y rico en gas

ALMA detectó varias líneas de emisión producidas por monóxido de carbono y carbono atómico neutro. Estas mediciones permitieron establecer un corrimiento al rojo preciso de 2,988, lo que significa que la radiación observada inició su viaje cuando el universo tenía apenas unos pocos miles de millones de años de edad. Este período, conocido como "Mediodía Cósmico," corresponde a la era en que las galaxias formaron estrellas a su tasa más alta a nivel global.

Las mediciones de líneas moleculares permitieron examinar la excitación y el movimiento del gas dentro de Shadow Blaster. Las observaciones no mostraron evidencia clara de que la energía emitida esté dominada por un núcleo galáctico activo de gran potencia; por el contrario, las propiedades del gas son consistentes con un episodio intenso y compacto de formación estelar. Tras corregir por la magnificación gravitacional, el equipo de investigación estimó que la galaxia forma cientos de masas solares de estrellas por año, con grandes cantidades de gas y polvo concentradas en su región central compacta.

Esta densidad es relevante para la pregunta sobre los neutrinos: crea un entorno en el que los rayos cósmicos energéticos pueden colisionar repetidamente con la materia

circundante, generando partículas de vida corta que decaen en rayos gamma y neutrinos. Los starbursts densos y polvorientos podrían así actuar como “calorímetros” de rayos cósmicos, atrapando partículas energéticas el tiempo suficiente para que gran parte de su energía se convierta en partículas secundarias.

Una posible población de fuentes ocultas de neutrinos

La señal de neutrinos esperada de una sola galaxia starburst oscurecida por polvo es modesta, por lo que el estudio no afirma que Shadow Blaster haya sido establecida de manera concluyente como la fuente de IC 210922A. Sin embargo, la combinación de la ubicación, rareza, estructura compacta y núcleo starburst rico en gas de esta galaxia refuerza la posibilidad de una asociación. El resultado también sugiere que galaxias similares podrían contribuir colectivamente al fondo difuso de neutrinos de alta energía observado en todo el cielo.

Los modelos de población presentados en el estudio indican que las galaxias starburst compactas y polvorientas podrían explicar aproximadamente un 15%, y como máximo alrededor de un 20% en los modelos considerados, del flujo difuso de neutrinos astrofísicos en el rango de decenas de teraelectronvoltios hasta petaelectronvoltios. Esta contribución sería significativa, aunque secundaria, lo que implica que probablemente varias clases distintas de objetos astronómicos son responsables de los neutrinos detectados por observatorios como IceCube.

El hallazgo demuestra cómo la astronomía de múltiples mensajeros puede combinar señales de partículas con observaciones en todo el espectro electromagnético. También destaca la capacidad de ALMA para revelar el gas denso, el polvo y las estructuras compactas ocultas dentro de galaxias que no pueden estudiarse adecuadamente solo con luz visible.

Información adicional

Esta investigación se presenta en el artículo “Compact dusty starbursts at cosmic noon linked to high-energy neutrinos,” de Y. Urata et al., publicado en Nature Astronomy.

Este artículo está basado en el comunicado de prensa original publicado por el Observatorio Astronomico Nacional de Japon (NAOJ), socio de ALMA en representacion de Asia del Este.

El Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), una instalación astronómica internacional, es una asociación entre el Observatorio Europeo Austral (ESO), la Fundación Nacional de Ciencia de EE. UU. (NSF) y los Institutos Nacionales de Ciencias Naturales de Japón (NINS) en cooperación con la República de Chile. ALMA es financiado por ESO en representación de sus estados miembros, por NSF en cooperación con el Consejo Nacional de Investigaciones de Canadá (NRC) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Taiwán (NSTC), y por NINS en cooperación con la Academia Sinica (AS) de Taiwán y el Instituto de Ciencias Astronómicas y Espaciales de Corea del Sur (KASI).

La construcción y las operaciones de ALMA son conducidas por ESO en nombre de sus estados miembros; por el Observatorio Radioastronómico Nacional (NRAO), gestionado por Associated Universities, Inc. (AUI), en representación de Norteamérica; y por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ) en nombre de Asia del Este. El Joint ALMA Observatory (JAO) tiene a su cargo la dirección general y la gestión de la construcción, así como la puesta en marcha y las operaciones de ALMA.