



Hochenergetischer Jet in der Galaxie M87 setzt seltenen Gammastrahlenausbruch frei

Ein internationales Forscherteam unter Beteiligung von MPIfR-Wissenschaftlern präsentiert die Ergebnisse einer großen Beobachtungskampagne des supermassereichen Schwarzen Loch im Zentrum von M87, an der über 25 boden- und weltraumgestützte Teleskope, darunter EHT und GMVA, beteiligt waren. Sie zeigen einen spektakulären Strahlungsausbruch bei mehreren Wellenlängen, der von dem energiereichen relativistischen Jet aus dem Zentrum dieser Galaxie ausgeht. Die Studie ist die erste Beobachtung eines hochenergetischen Gammastrahlungsausbruchs seit über einem Jahrzehnt.

Millimeter-VLBI-Netzwerke wie das Event Horizon Telescope (EHT) und das Global mm-VLBI Array (GMVA) - letzteres koordiniert vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) - sind weltumspannende Zusammenschaltungen von Radioteleskopen. Sie werden regelmäßig kombiniert, um die innersten Strukturen von Galaxienkernen zu beobachten und um die unmittelbare Umgebung supermassereicher schwarzer Löcher zu untersuchen und abzubilden.

„Wir hatten das Glück, während der Multi-Wellenlängen-Kampagne des EHT einen Gammastrahlenausbruch von M87 zu entdecken - das erste derartige Ereignis seit über einem Jahrzehnt“, sagt Giacomo Principe, Koordinator der Veröffentlichung und Forscher an der Universität Triest. „Dieses seltene Ereignis ermöglichte es uns, die Region zu lokalisieren, aus der die Gammastrahlenemission kommt. Bereits erfolgte und künftige Beobachtungen mit einem noch empfindlicheren EHT-Array werden entscheidende Einblicke in die Physik um das supermassereiche Schwarze Loch von M87 liefern und die Verbindung zwischen Scheibe und Jet sowie den Ursprung der Gammastrahlenphotonen erforschen.“

Messier 87, auch bekannt unter den Bezeichnungen Virgo A oder NGC 4486, ist das hellste Objekt im Virgo-Galaxienhaufen, einer der größten gravitativ gebundenen Strukturen im Universum. Der von den Forschern untersuchte relativistische Jet ist von überraschender Größe: seine Länge übersteigt den Ereignishorizont des Schwarzen Lochs um das Zehnmillionenfache (7 Größenordnungen) - das entspricht dem Unterschied zwischen der Größe eines Bakteriums und dem größten bekannten Blauwal.

Der Helligkeitsausbruch im Gammabereich dauerte etwa drei Tage. Das Emissionsgebiet hat eine Größe von weniger als drei Lichttagen (ca. 170 Astronomische Einheiten (AE), wobei 1 AE die Entfernung von der Sonne zur Erde angibt). Dabei handelt es sich um einen der leuchtstärksten Ausbrüche hochenergetischer Photonen - weit oberhalb der Energien, die von Radioteleskopen aus der Region des Schwarzen Lochs üblicherweise nachgewiesen werden.

„Durch die Zusammenarbeit von drei abbildenden Hochenergie-Teleskopnetzwerken konnten Gammastrahlungsbeobachtungen bei sehr hohen Energien in dichter zeitlicher Abfolge sowohl während eines stationären Zustands als auch während eines seltenen kurzzeitigen Flares - dem ersten seit über einem Jahrzehnt - durchgeführt werden“, erklärt Alexander Hahn vom Max-Planck-Institut für Physik, ein Mitautor der Studie. „Kombiniert mit gleichzeitigen Multi-Wellenlängen-Daten bei niedrigeren Energien, bieten diese Beobachtungen

entscheidende Einblicke in die extremen Prozesse, die diese kosmischen Ereignisse antreiben.“

Während der Kampagne entdeckte das LAT-Instrument an Bord des Fermi-Weltraumobservatoriums einen Anstieg des hochenergetischen Gammastrahlenflusses bei Energien, die bis zu Milliarden Mal höher sind als das sichtbare Licht. Die Chandra- und NuSTAR-Satelliten sammelten daraufhin hochwertige Daten im Röntgenbereich. Radiobeobachtungen mit VLBI-Netzwerken wie dem GMVA, dem Very Long Baseline Array (VLBA) und dem East Asian VLBI Network (EAVN) zeigen einen relativistischen Jet und eine scheinbare jährliche Änderung des Positionswinkels des Jets innerhalb weniger Millibogensekunden vom Kern der Galaxie.

„Die Radiobildgebung erlaubt es den Astronomen, die strukturelle und zeitliche Entwicklung des Jets mit einer noch nie dagewesenen Winkelauflösung zu verfolgen“, sagt Thomas Krichbaum vom MPIfR. „In dieser Kampagne haben die Radiodaten nicht nur die Geometrie des Jets bestimmt, sondern dienen auch als wichtige Referenz für die Korrelation der Gammastrahlenemission mit der relativistischen Jetdynamik.“

Die VLBI-Beobachtungen zeigen Veränderungen in der Position der Asymmetrie des Rings (Ereignishorizont des Schwarzen Lochs) und der Position des Jets. Dies deutet auf einen physikalischen Zusammenhang zwischen diesen Strukturen auf sehr unterschiedlichen Skalen hin. „Das erste Bild aus der Beobachtungskampagne von 2017 zeigte, dass die Emission des Rings ungleichmäßig war, mit helleren Bereichen, die Asymmetrien anzeigen. Nachfolgende Beobachtungen aus dem Jahr 2018 bestätigten diese Ergebnisse und zeigten, dass sich der Positionswinkel der Asymmetrie verschoben hatte“, sagt Daryl Haggard, Professor an der McGill University und Ko-Koordinator der EHT-Arbeitsgruppe für die ergänzenden Multiwellenlängen-Beobachtungen.

Dies ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie sich Radio- und Hochenergiebeobachtungen der gewaltigsten Objekte im Universum gegenseitig ergänzen. Das MPIfR beteiligt sich an diesem Projekt mit Messungen, die sowohl mit dem GMVA als auch dem EHT durchgeführt wurden. Die entsprechenden Radiodaten wurden unter anderem im Korrelatorrechner des MPIfR in Bonn analysiert. Die an den Teleskopnetzwerken beteiligten Radioteleskope des MPIfR sind das 100-Meter-Teleskop in Effelsberg und das 12-Meter-Teleskop APEX in Chile. Das IRAM/30-Meter-Teleskop auf dem Pico Veleta, Spanien, das in den letzten Kampagnen durch das IRAM/NOEMA-Teleskop-Array in den französischen Alpen ergänzt wurde, verbessert die Empfindlichkeit der durchgeführten Beobachtungen spürbar.

„Diese VLBI-Beobachtungskampagne hat das erste Bild hervorgebracht, das sowohl den Schatten des Schwarzen Lochs als auch den Jet in M87 zeigt. Es wurde bereits im April 2023 vorgestellt, und jetzt können wir sehen, dass die koordinierten Beobachtungen, die im Rahmen der zweiten globalen EHT-Kampagne durchgeführt werden, eine Reihe von neuen, aufregenden Ergebnissen liefert“, sagt Eduardo Ros, Astronom am MPIfR und europäischer Planer für die GMVA-Beobachtungen.

J. Anton Zensus, Direktor am MPIfR und Gründungsvorsitzender der EHT-Kollaboration, fasst zusammen: „Der Beitrag von Spitzentechnologie in der Radioastronomie, in Koordination mit verschiedenen Beobachtungseinrichtungen auf der Erde und darüber hinaus, zeigt hier in besonderer Weise, wie Multifrequenz-Studien von Objekten wie Messier 87 den Weg für die Förderung zukünftiger Forschung und potenzielle Durchbrüche im Verständnis des Universums ebnet.“

Weitere Informationen

An der EHT-Kollaboration sind mehr als 400 Forschende aus Afrika, Asien, Europa, Nord- und Südamerika beteiligt, davon rund 270 als Autoren der vorliegenden Arbeit. Die internationale Zusammenarbeit zielt darauf ab, die detailliertesten Bilder von Schwarzen Löchern mit einem virtuellen Teleskop in Erdgröße aufzunehmen. Unterstützt durch beträchtliche internationale Anstrengungen verknüpft das EHT bestehende Teleskope mit neuartigen Techniken, um ein grundlegend neues Instrument mit dem höchsten bisher erreichten Winkelauflösungsvermögen zu schaffen.

Das EHT-Konsortium besteht aus 13 beteiligten Instituten: Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, University of Arizona, Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian, University of Chicago, East Asian Observatory, Goethe-Universität Frankfurt, Institut de Radioastronomie Millimétrique, Large Millimeter Telescope, Max-Planck-Institut für Radioastronomie, MIT Haystack Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, Perimeter Institute for Theoretical Physics und Radboud-Universität.

Zum EHT-Teleskopnetzwerk, das bei 1,3 mm Wellenlänge arbeitet, gehörten für die 2018er Beobachtungen ALMA, APEX, das 30-Meter-Teleskop von IRAM, das NOEMA-Observatorium von IRAM, das James-Clerk-Maxwell-Teleskop (JCMT), das Large Millimeter Telescope (LMT), das Submillimeter Array (SMA), das Submillimeter-Teleskop (SMT), das Südpol-Teleskop (SPT), das Kitt-Peak-Teleskop (KP) und das Grönland-Teleskop (GLT). Das GMVA, das an benachbarten Tagen bei einer Wellenlänge von 3,5 mm beobachtete, umfasste auch das 100-m-Radioteleskop in Effelsberg. Die Daten vom GMVA und (teilweise) vom EHT wurden am Korrelator des MPIfR in Bonn bearbeitet. Ein weiterer Teil der EHT-Daten wurde am MIT/Haystack Observatory in Westford, MA, USA, korreliert. Weitere Analysen wurden im Rahmen der weltweiten EHT-Zusammenarbeit durchgeführt.

Die zweite EHT- und Multi-Wellenlängen-Kampagne im Jahr 2018 nutzte mehr als zwei Dutzend hochkarätige Beobachtungseinrichtungen, darunter das Fermi-LAT der NASA, das Hubble-Weltraumteleskop, die NuSTAR-, Chandra- und Swift-Teleskope sowie die drei weltweit größten Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope Arrays (H.E.S.S., MAGIC und VERITAS). Diese Observatorien sind sowohl für Röntgenphotonen als auch für hoch- bzw. höchstenergetische Gammastrahlen empfindlich.

Autoren der Veröffentlichung vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie sind: Jae-Young Kim, Ru-sen Lu, sowie Walter Alef, Rebecca Azulay, Uwe Bach, Anne-Kathrin Baczeko, Silke Britzen, Gregory Desvignes, Sergio A. Dzib, Ralph Eatough, Christian M. Fromm, Michael Janssen, Joana A. Kramer, Michael Kramer, Thomas P. Krichbaum, Mikhail Lisakov, Jun Liu, Kuo Liu, Andrei P. Lobanov, Nicholas R. MacDonald, Nicola Marchili, Karl M. Menten, Cornelia Müller, Hendrik Müller, Gisela Ortiz-Leon, Georgios Filippou Paraschos, Felix Poetzel, Eduardo Ros, Helge Rottmann, Alan L. Roy, Tuomas Savolainen, Lijing Shao, Pablo Torne, Efthalia Traianou, Jan Wagner, Robert Wharton, Maciek Wielgus, Gunther Witzel, J. Anton Zensus, und Guang-Yao Zhao.

contact for scientific information:

Dr. Thomas P. Krichbaum
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn
Fon: +49 228 525-295
E-mail: tkrichbaum@mpifr-bonn.mpg.de

Prof. Dr. J. Anton Zensus
Direktor und Leiter der Forschungsabteilung Radioastronomia/VLBI
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn
Fon: +49 228 525-298 (Sekretariat)
E-mail: azensus@mpifr-bonn.mpg.de

Prof. Dr. Eduardo Ros
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn
Fon: +49 228 525-125
ros@mpifr-bonn.mpg.de

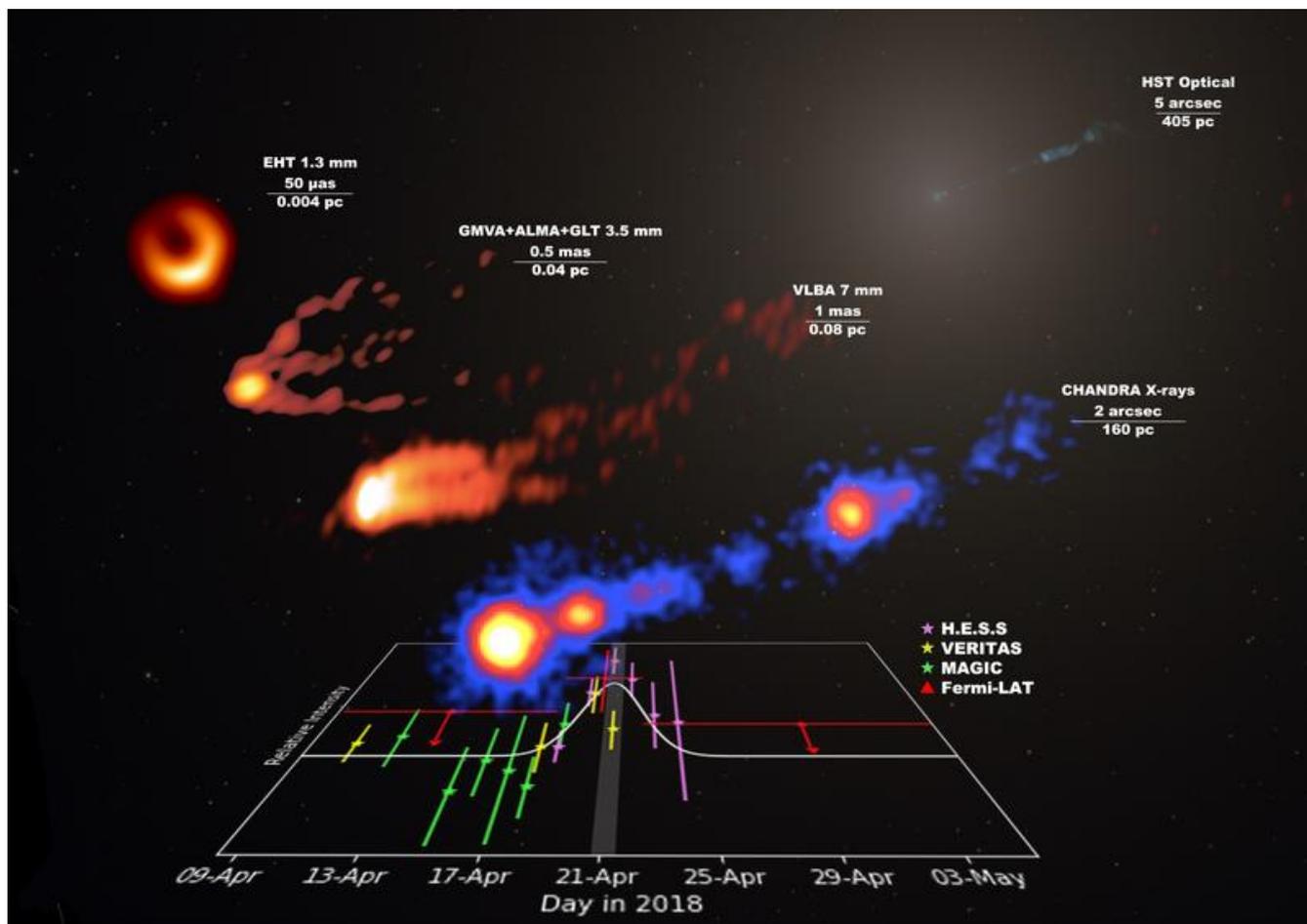
Original publication:

"Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2018 EHT Campaign including a Very High Energy Flaring Episode", by The Event Horizon Telescope- Multi-wavelength science working group, The Event Horizon Telescope Collaboration, The Fermi Large Area Telescope Collaboration, H.E.S.S. Collaboration, MAGIC Collaboration, VERITAS Collaboration, and EAVN Collaboration. In: A&A, 692, A140 (2024). DOI: 10.1051/0004-6361/202450497

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2024/12/aa50497-24.pdf>

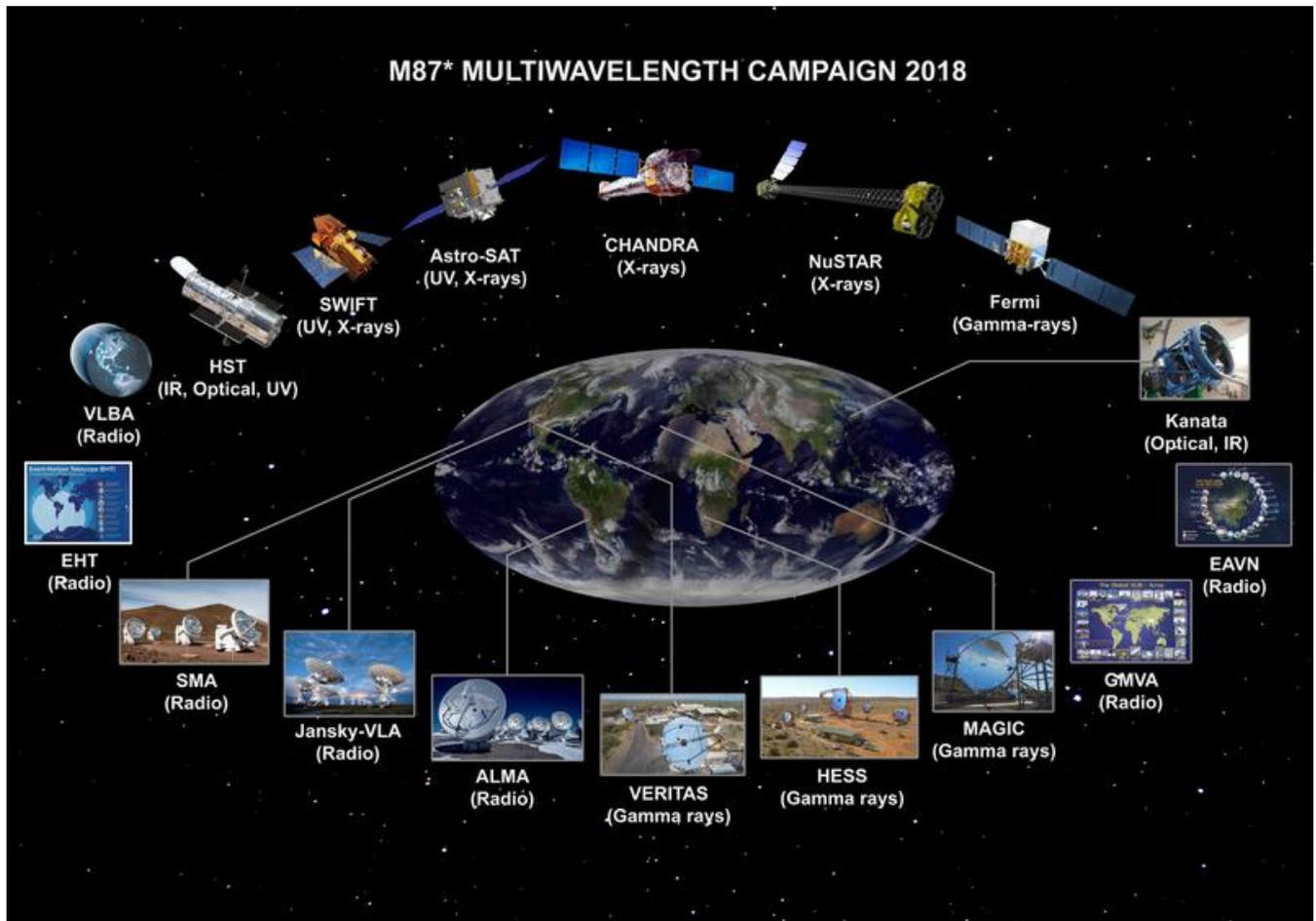
Preprint: <https://arxiv.org/abs/2404.17623>

URL for press release: <https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2024/12>



Lichtkurve des Gamma-flares (unten) und Bilder des M87-Jets (oben) in verschiedener Auflösung von der Kampagne 2018 im Radio- und im Röntgenbereich. Die Teleskope, der Wellenlängenbereich und der Maßstab sind oben rechts für jedes Teilbild angegeben.

EHT-, Fermi-LAT-, H.E.S.S.-, MAGIC-, VERITAS- and EAVN-Kollaborationen



Die Observatorien und Teleskope, die an der Multifrequenz-Kampagne 2018 zur Entdeckung des hochenergetischen Gammastrahlenausbruchs des Schwarzen Lochs M87* beteiligt waren. EHT-, Fermi-LAT-, H.E.S.S.-, MAGIC-, VERITAS- and EAVN-Kollaborationen