



MATEMÁTICAS Y FÍSICA

PRIMERA IMAGEN DEL AGUJERO NEGRO

en el corazón de nuestra galaxia

Universitat de València (UV)

Un equipo internacional de astronomía, del que forma parte personal investigador de la UV, ha desvelado la primera imagen del agujero negro supermasivo situado en el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Este resultado proporciona evidencias contundentes de que el objeto es, de hecho, un agujero negro y aporta valiosas pistas sobre el funcionamiento de estos gigantes que, según se cree, residen en el centro de la mayoría de las galaxias.

La imagen fue producida por un equipo de investigación global llamado Colaboración del Telescopio de Horizonte de Sucesos (Event Horizon Telescope Collaboration, EHT), utilizando observaciones con una red mundial de radiotelescopios. La comunidad científica ya había estudiado estrellas orbitando alrededor de algo invisible, compacto y muy masivo en el centro de nuestra galaxia. Estas órbitas permitían postular que este objeto, conocido como Sagitario A*, es un agujero negro. La imagen publicada proporciona la primera evidencia visual directa de ello.

Este es el segundo agujero negro del que se tiene una imagen directa. Tiene una masa de 4 millones de soles y está situado a solo unos 27.000 años-luz de la Tierra.

«Un trocito de esta imagen lleva sello valenciano», afirma Iván Martí, investigador GenT de la Generalitat Valenciana en la UV y autor de los algoritmos de calibración que permitieron la participación del telescopio milimétrico ALMA (el más sensible del mundo) en estas observa-

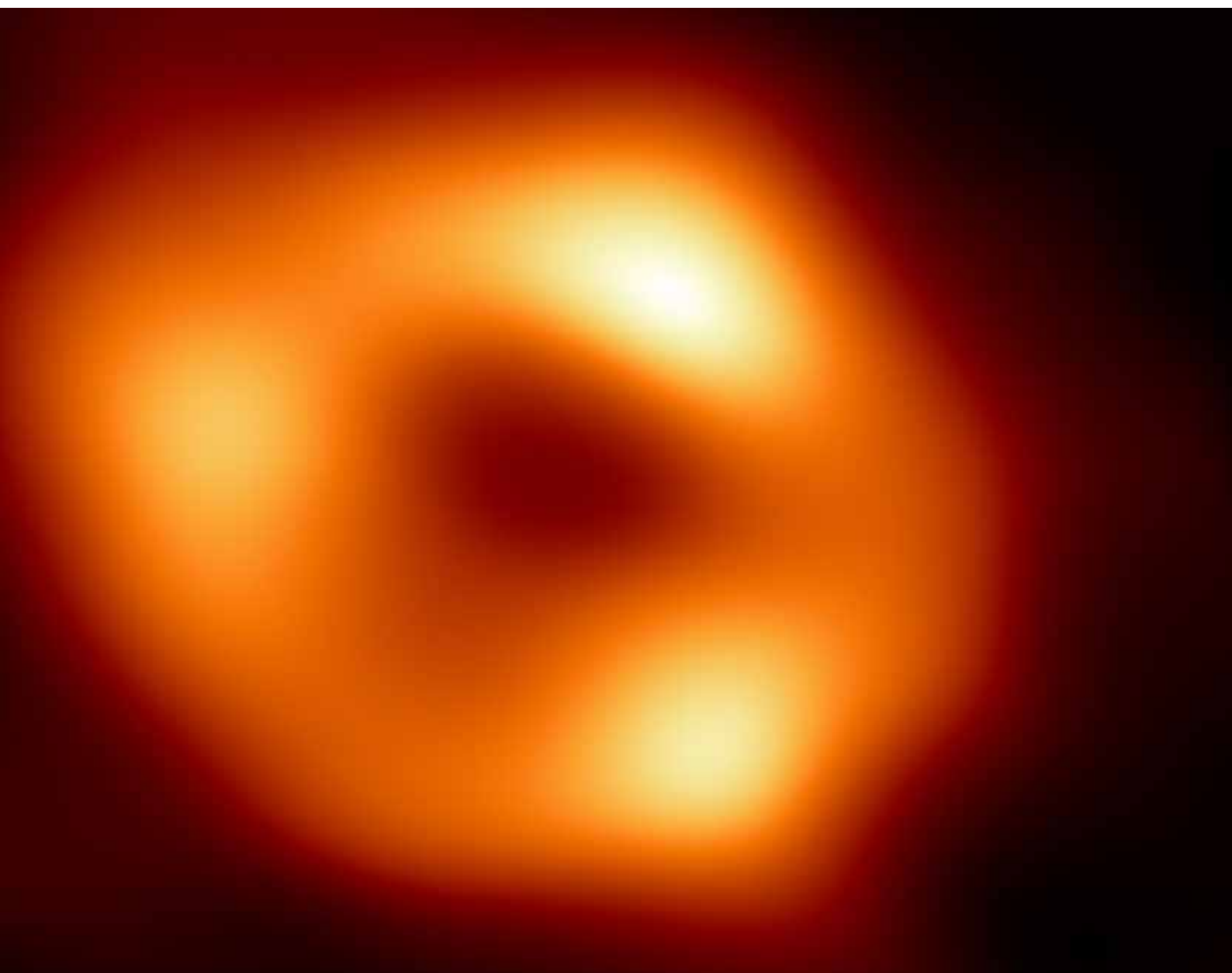
ciones. El equipo valenciano ha contribuido al análisis de la reconstrucción de la imagen con uno de los varios algoritmos desarrollados en el EHT.

«El tamaño aparente del anillo de este agujero negro es similar al de una pelota de tenis en la Luna», afirma Alejandro Mus, estudiante GenT en la UV y uno de los investigadores que hizo posible la corrección de los efectos del plasma interestelar en la imagen del agujero negro. Para obtener la imagen de un objeto tan minúsculo en el cielo, el equipo del EHT creó una red de ocho radiotelescopios, combinados para formar un único telescopio virtual del tamaño de la Tierra. El EHT observó Sagitario A* durante varias noches, recopilando datos durante muchas horas seguidas, de forma similar a como una cámara fotográfica tradicional haría una imagen con un tiempo de exposición muy largo.

«Algo reseñable en estos resultados es la gran coincidencia entre el tamaño del anillo de luz y las predicciones de la teoría de la Relatividad General de Einstein», declara el científico del proyecto, Geoffrey Bower, del Instituto de Astronomía y Astrofísica de la Academia Sinica de Taipei. «Estas observaciones sin precedentes representan un gran paso adelante en nuestro conocimiento de lo que sucede en el centro mismo de nuestra galaxia». Los resultados se publican en un número especial de la revista *The Astrophysical Journal Letters*.

«Aunque nuestro centro galáctico está mucho más cerca que M87* (el primer agujero negro

*Esta es la primera imagen captada del agujero negro que se sitúa en el corazón de nuestra galaxia.
Foto: EHT Collaboration.*



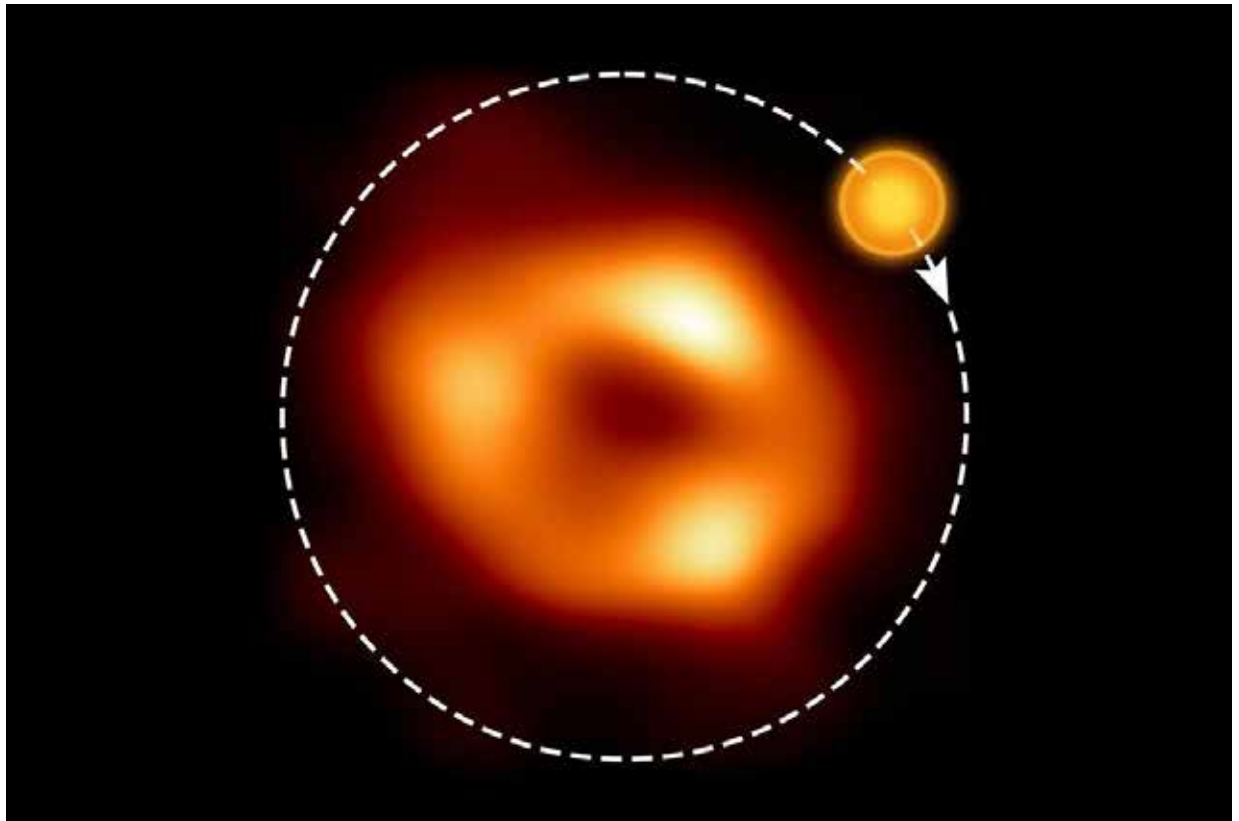
con imagen publicada por el EHT, en 2019), también tiene una masa mucho menor, lo que hace a su horizonte de sucesos mucho más pequeño que el de M87* (tan sólo unos pocos minutos-luz)», añade Iván Martí. «Al ser un agujero negro tan pequeño, su brillo y su forma pueden cambiar de forma muy rápida, lo que representa serios problemas a la hora de generar su imagen con nuestros radiotelescopios».

El equipo de investigación del EHT ha desarrollado nuevas y sofisticadas herramientas que tienen en cuenta el movimiento del gas alrededor de Sagitario A*. «Tu- vimos que reinventar las técnicas de interferometría astronómica, en las que se basan los telescopios como

el EHT», afirma Alejandro Mus, cuyo proyecto de tesis GenT versa, precisamente, sobre el desarrollo de nuevos algoritmos que permitan, en un futuro próximo, obtener imágenes de mayor calidad a partir de este tipo de observaciones.

Respecto a la reconstrucción de la imagen a partir de las observaciones interferométricas del EHT, el telescopio IRAM-30m de Sierra Nevada (en España) jugó un importante papel. «IRAM-30m fue el único de toda Europa que pudo participar en estas observaciones. Este telescopio ha aportado valiosa información para la reconstrucción de la imagen de Sagitario A*», afirma Rebecca Azulay, que participó en las observaciones desde el telescopio.

Imagen del agujero negro supermasivo Sagitario A* como lo ve EHT, junto a una ilustración que indica el lugar donde el modelado de los datos de ALMA predice el punto caliente y su órbita alrededor del agujero negro. Foto: EHT Collaboration, ESO/M. Kornmesser (Agradecimiento: M. Wielgus).



MOVIMIENTO ORBITAL cerca del horizonte de sucesos de un agujero negro

Un equipo internacional, con participación de la Universitat de València (UV), ha identificado la señal de una burbuja de gas caliente orbitando las inmediaciones de Sagitario A* (el agujero negro supermasivo del centro de nuestra galaxia). La observación se realizó con el telescopio ALMA (Atacama large mm/submm Array). La burbuja orbitó a solo unos pocos minutos-luz del agujero negro, lo que puede ayudar a comprender mejor cómo se comporta la materia en estas enigmáticas regiones tan cercanas al horizonte de sucesos.

«Tuvimos la suerte de que ALMA comenzara a observar Sagitario A* justo después de que se produjera un estallido de rayos X, causado por el calentamiento de una burbuja de gas muy cerca del agujero negro», ha explicado Iván Martí, del Departamento de Astronomía y Astrofísica de la Universitat de València (UV). «Tras calibrar los datos con unos algoritmos desarrollados en la UV, nos dimos cuenta de que habíamos detectado una enigmática señal relacionada con aquel estallido de rayos X. ¡Fue una experiencia extraordinaria!», ha señalado el investigador.

«Creemos que estamos viendo una burbuja de gas muy caliente orbitando a Sagitario A* a una distancia similar a la que separa a Mercurio del Sol, pero con un periodo de solo unos 70 minutos», ha indicado Maciek Wielgus, del Instituto Max-Planck de Radioastronomía, y primer autor del artículo que se publica en la revista *Astronomy & Astrophysics*. Las observaciones confirman algunos de los descubrimientos previos realizados por GRAVITY, el instrumento de ESO en el Very Large Telescope, que observa en el infrarrojo. Según los datos de ALMA, combinados con GRAVITY, estos brotes se relacionan con conglomerados de gas que orbita al 30 % de la velocidad de la luz, en dirección horaria y con una inclinación muy pequeña respecto de la visual con la Tierra.

«En el futuro, deberíamos poder combinar distintos instrumentos, como el EHT, GRAVITY y ALMA, para observar estos fenómenos a distintas frecuencias; conseguir esto marcaría un antes y un después en nuestra comprensión de la Física que hay detrás de estos enigmáticos brotes de energía en el Centro Galáctico», concluye Iván Martí.

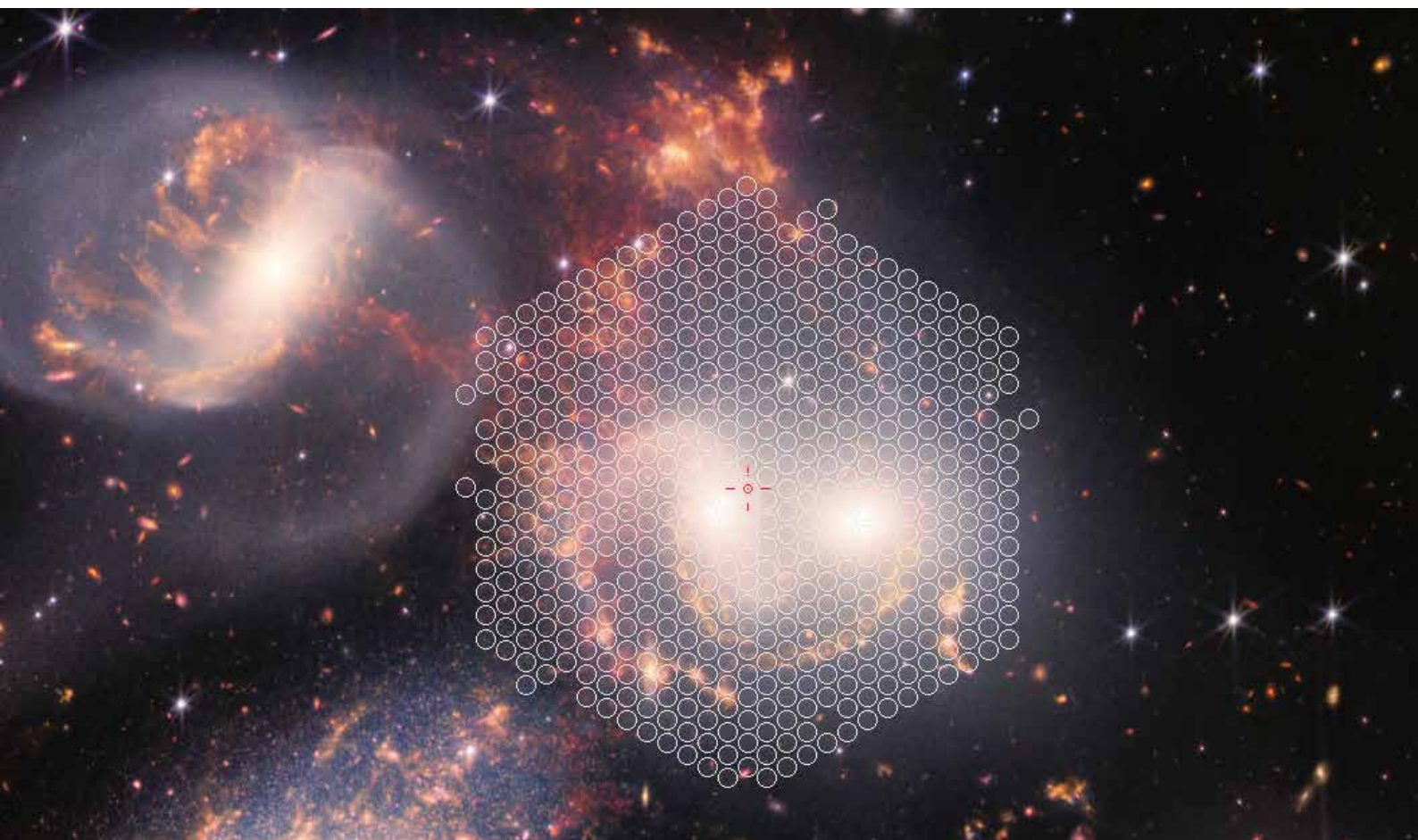
OBSERVACIONES DEL WEAVE

para el estudio de la evolución y colisión de galaxias

WEAVE, potente espectrógrafo multifibra de nueva generación instalado en el Telescopio William Herschel (WHT) en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, está generando datos de alta calidad. Las observaciones de primera luz se llevaron a cabo con su haz de fibras de gran unidad de campo integral (LIFU), uno de los tres sistemas de fibras de WEAVE. Cuando se utiliza la LIFU, 547 fibras ópticas estrechamente empaquetadas transmiten la luz en un área hexagonal del cielo al espectrógrafo, donde se analiza y registra.

Más de 500 astrónomos de toda Europa, entre los que se encuentra un grupo de la Universidad de Alicante (UA), han organizado ocho grandes sondeos utilizando WEAVE, cubriendo estudios de evolución estelar, ciencia de la Vía Láctea, evolución de galaxias y cosmología. En sinergia con el satélite Gaia de la Agencia Espacial Europea, el modo MOS de WEAVE se utilizará para obtener espectros de varios millones de estrellas en el disco y el halo de nuestra galaxia anfitriona, permitiendo la arqueología de la Vía Láctea. Se estudiarán galaxias cercanas y lejanas, algunas detectadas por el radiotelescopio LOFAR, para conocer la historia de su crecimiento. Y los cúasares se utilizarán como faros para cartografiar la distribución espacial y la interacción del gas y las galaxias cuando el Universo sólo tenía alrededor del 20 % de su edad actual.

Ignacio Negueruela, Amparo Marco y Sara Rodríguez, integrantes del grupo de Astrofísica Estelar de la UA, son miembros del equipo científico del instrumento y están involucrados activamente en la concepción, preparación y desarrollo de uno de los ocho grandes cartografiados que se llevarán a cabo con WEAVE. Dentro del equipo, se coordina a otras siete personas de distintas instituciones. Esta parte del proyecto WEAVE proporcionará decenas de miles de espectros de diferentes objetos estelares y contribuirá al estudio de miles de estrellas masivas, tanto estrellas tipo OB como supergigantes rojas, localizadas a lo largo del Plano Galáctico norte y, específicamente, en la región de formación estelar del Cisne.



DESCUBREN UN EFECTO QUE DEFINE LA DETECCIÓN

de neutrinos para estudiar el cosmos

Instituto de Física Corpuscular (UV-CSIC)

Un estudio del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto de la Universitat de València (UV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y la Universidad de Harvard muestra, por primera vez, la producción de un tipo de neutrinos procedentes de fenómenos extremos. El trabajo, portada en *Physical Review Letters*, supone un cambio para los modelos en los que se basan los futuros experimentos de Física que buscan estas partículas elementales.

Los neutrinos son las partículas elementales más abundantes del Universo. También son las más difíciles de detectar porque sus propiedades hacen que apenas interactúen con la materia ordinaria. Por eso mismo, contienen un mensaje directo del lugar donde se originan, en fenómenos extremos del Universo como estallidos de supernovas. Al igual que se pueden utilizar ondas gravitacionales para estudiar los agujeros negros, se podrían emplear neutrinos para estudiar estos fenómenos.

Varios experimentos tienen como objetivo detectar estos neutrinos extragalácticos, que llegan a la Tierra con energías miles de veces superiores a las observadas en aceleradores de partículas como el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del European Organization for Nuclear Research (CERN). En particular, el neutrino tauónico, uno de los tres tipos de neutrinos conocidos, es el principal foco de atención para la mayoría de los experimentos que se diseñan actualmente. Esto se debe a que los neutrinos tauónicos tienen unas propiedades singulares que permiten detectarlos más fácilmente.

En este trabajo, Alfonso García, investigador Marie Curie en el IFIC y en Harvard, junto a Pavel Zhelnin, Ibrahim Safa y Carlos Argüelles-Delgado, todos ellos investigadores del Departamento de Física y Laboratorio de Física de Partículas y Cosmología de la Universidad de Harvard, han mostrado, por primera vez, que otro tipo de neutrinos pueden producir neutrinos tauónicos cuando cruzan la Tierra, lo cual es significativo y no había sido tenido en cuenta hasta ahora.

Además, han podido demostrar que la próxima generación de experimentos se verá afectada por este fenómeno. Por ello, los expertos destacan la necesidad de diseñar experimentos que puedan observar no sólo neutrinos tauónicos, sino también otro tipo de neutrinos.

Respuesta positiva de la comunidad científica

El estudio de los neutrinos de alta energía se está convirtiendo en un tema muy atractivo gracias a experimentos como IceCube o ANTARES. «Estamos teniendo una respuesta muy positiva de la comunidad científica sobre este trabajo, ya que el fenómeno estudiado resalta la necesidad de crear un ecosistema de experimentos si queremos entender el origen de los neutrinos de alta energía», explica García.

Este trabajo surge en el marco del proyecto europeo UNOS (*Unifying Neutrino Observatories Searches*), financiado por fondos europeos asociados al programa Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA).



Imagen del detector IceCube, que utiliza el hielo de la Antártida para detectar neutrinos de muy alta energía. Foto: IceCube Collaboration/University Wisconsin–Madison/National Science Foundation.

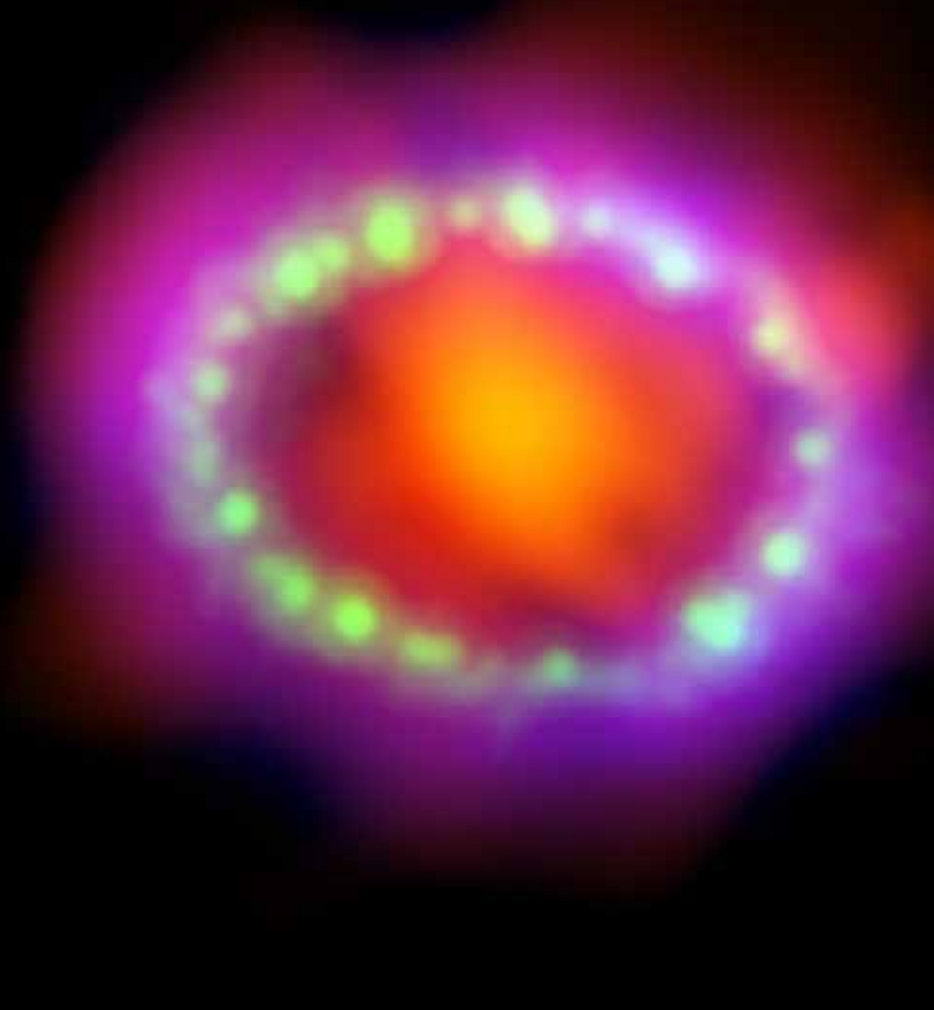


Gracias a este proyecto, investigadores del grupo del grupo de KM₃NeT/ANTARES del IFIC y el Departamento de Física de la Universidad de Harvard están colaborando en varios estudios sobre neutrinos de alta energía.

«Ver nuestro trabajo en la portada de una revista que ha publicado muchos de los grandes descubrimientos en el campo de la Física de Partículas es algo muy especial», asegura el investigador del IFIC.

Astrónomos combinaron observaciones de tres observatorios diferentes (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, en rojo; Hubble, en verde; Chandra X-ray Observatory, en azul) para producir esta colorida imagen de múltiples longitudes de onda de los remanentes de la Supernova 1987A.
Foto: NASA, ESA, A. Angelich (NRAO, AUI, NSF).

PRESENTAN UNA NOVEDOSA TÉCNICA PARA MEDIR LA MASA ABSOLUTA DE LOS NEUTRINOS A PARTIR DE EXPLOSIONES DE SUPERNOVAS



Un equipo del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto de la Universitat de València (UV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), prevé que las supernovas pueden ser una fuente para determinar la masa de los neutrinos. Así lo explica un estudio teórico publicado en la revista *Physical Review Letters*. La confirmación experimental de la propuesta se lleva a cabo en el marco de la colaboración internacional DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment), cuyo futuro detector observará, para este trabajo, neutrinos procedentes de explosiones de supernovas.

Los neutrinos son conocidos como las partículas más elusivas. Por sus propiedades únicas, pueden viajar sin obstáculos a lo largo de su trayectoria hasta que, excep-

cionalmente, interactúan con otras partículas y generan señales observables. Neutrinos procedentes de supernovas –en concreto, de SN 1987A, situada en la Gran Nube de Magallanes– han sido observados anteriormente por los detectores de neutrinos de agua Kamiokande-II, IMB y Baksan. La importancia de esta detección fue reconocida con el Premio Nobel de Física de 2002 a Masatoshi Koshiba.

Las supernovas, concretamente las de colapso del núcleo, son acontecimientos astrofísicos impresionantes que se producen cuando muere una estrella masiva y emite cantidades ingentes de energía. El colapso se desarrolla en pocos segundos y casi toda la energía que se desprende es liberada a través de neutrinos y antineu-

La detección de una veintena de antineutrinos procedentes de SN 1987A ya permitió poner una primera cota superior a la masa de los neutrinos.

Futuro brillante para la detección de neutrinos de supernovas

En este trabajo, el equipo de investigación del IFIC –Federica Pompa, Francesco Capozzi, Olga Mena y Michel Sorel– sugiere que el futuro detector DUNE podría ser el primero en captar el estallido de la primera fase del colapso de la supernova, la neutronización, cuya señal es visible solo en neutrinos y no en antineutrinos. DUNE puede observar estos neutrinos electrónicos a partir de sus interacciones con los núcleos de argón del detector.

La detección de los neutrinos procedentes de la neutronización juega un papel relevante en la medición la masa de dichas partículas, ya que estas constituyen un «reloj estándar» para la medida del retraso en el tiempo de vuelo de los neutrinos. Esto implica que, ante el colapso de una supernova, DUNE podría alcanzar una sensibilidad a la masa de los neutrinos cinco veces mayor que lo obtenido hasta el momento, lo que hace que esta técnica sea bastante competitiva con las búsquedas directas de masa de neutrinos en experimentos llevados a cabo en laboratorios.

Conocer la masa de los neutrinos revolucionaría la física moderna, pues supondría aceptar que los neutrinos tienen masa, algo que no reconoce el Modelo Estándar.

El IFIC en DUNE

El experimento DUNE está dedicado a estudiar los fenómenos de oscilación de neutrinos utilizando un haz producido por un acelerador de partículas fabricado por el ser humano. El experimento también presenta otras oportunidades para el campo de investigación. Entre ellas, la física de neutrinos procedentes de supernovas, del Sol o de rayos cósmicos.

El equipo del IFIC forma parte de la colaboración DUNE desde su creación en 2015. A nivel teórico, los investigadores del centro valenciano han estado realizando contribuciones destacadas a la física del experimento, en particular en el área de búsquedas de física más allá del Modelo Estándar. A nivel experimental, la contribución del IFIC, y de DUNE-España en general, está centrada en la construcción de dos subsistemas de los detectores de argón líquido de DUNE: el sistema de detección de luz y el sistema de monitorización de temperaturas.

trinos, cuya detección ayudaría a los físicos a ampliar sus conocimientos sobre estas partículas elementales y, en general, sobre el Universo.

«Una de las propiedades de los neutrinos que se pueden estudiar con supernovas es el valor absoluto de su masa, hasta ahora desconocido», señala Federica Pompa, doctoranda en el IFIC y autora de correspondencia de este trabajo. «Cuanto más masivos son los neutrinos, menos velocidad de propagación en el espacio interestelar tendrán, lo que inducirá un retraso temporal en su detección en la Tierra. Por esta razón, una medida precisa de la energía y del tiempo de detección de los neutrinos de supernova en nuestros detectores puede proporcionar una medida de su masa».



DETECTAN EL MAYOR RETRASO TEMPORAL JAMÁS MEDIDO ENTRE LAS IMÁGENES MÚLTIPLES DE UN CUÁSAR

Un equipo internacional de investigación liderado por la Universitat de València (UV) ha medido un retraso temporal de 6,73 años, el más largo jamás detectado para una lente gravitatoria, entre las imágenes múltiples de un cuásar. Obtenido tras 14,5 años de observación en el observatorio FLWO del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (EE. UU.), el resultado permitirá mejorar el conocimiento sobre los cúmulos de galaxias y la materia oscura que contienen.

Los cúmulos de galaxias son las estructuras gravitacionalmente ligadas más grandes del universo y pueden llegar a contener miles de galaxias. Además de galaxias y gas, están formados en su mayor parte por materia

oscura –imperceptible mediante detección directa de luz– de naturaleza todavía desconocida. Obtener nuevos datos sobre cómo está distribuida ayuda a mejorar el conocimiento sobre la evolución y estructura del Universo, una de las principales metas de la astrofísica y de la cosmología moderna.

Para su estudio, los modelos cosmológicos se sirven a menudo de los cuásares –los objetos astronómicos más brillantes del universo– y de las «lentes gravitatorias». El efecto lente gravitatoria se produce cuando un objeto masivo se encuentra entre nosotros y un objeto brillante. El objeto masivo deforma el espacio-tiempo y varía la trayectoria de los rayos de luz que lo atraviesan.

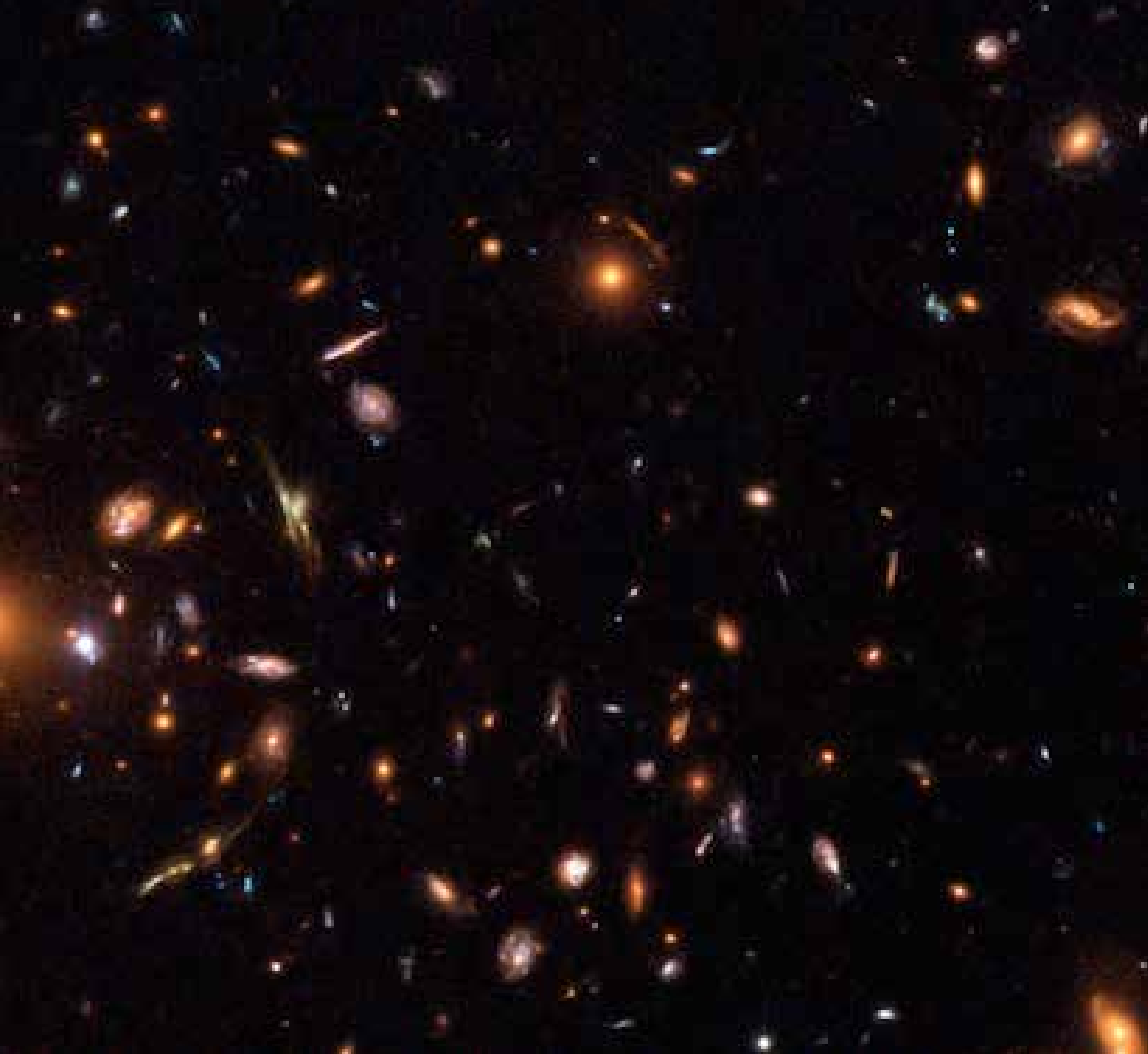


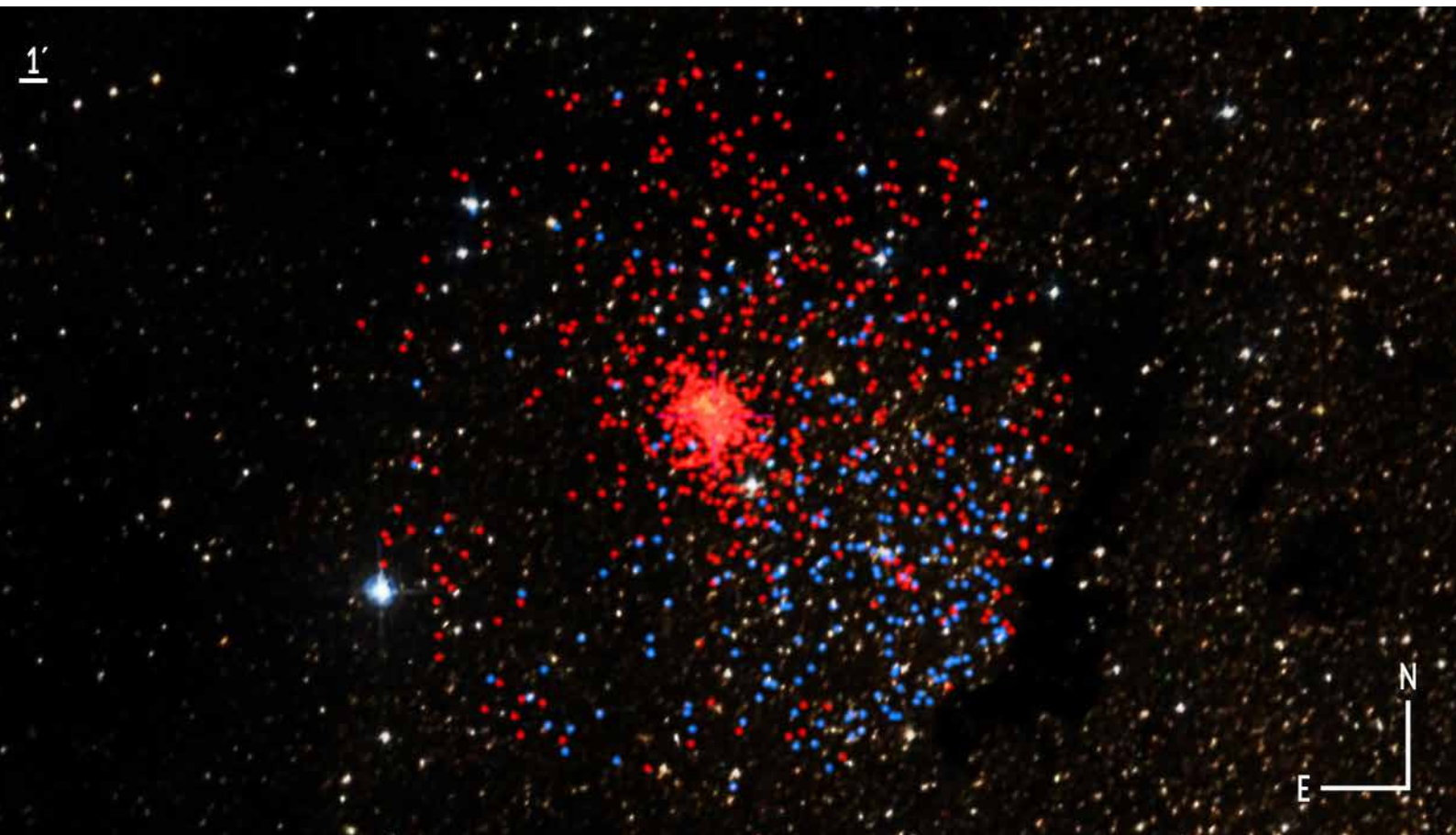
Imagen del cúmulo lente SDSS J1004+4112, cuyo campo gravitatorio ha curvado los rayos de luz procedentes de un único cuásar distante dando lugar a cuatro imágenes que se aprecian como puntos blancos muy brillantes en torno al centro del cúmulo.

Al observar un cuásar distante a través de una galaxia o cúmulo de galaxias, si el efecto lente es lo suficientemente intenso se forman varias imágenes del mismo cuerpo celeste, tal como se observa en la fotografía del sistema lente SDSS J1004+4112 –objeto de este estudio– captada en 2005 por el Telescopio Espacial Hubble.

El estudio, publicado en la revista *The Astrophysical Journal*, presenta nuevas curvas de luz para las cuatro imágenes brillantes del sistema lente gravitatoria SDSS J1004+4112.

«Las cuatro imágenes del cuásar corresponden realmente a un único cuásar cuya luz es curvada en su

trayectoria hacia nosotros por el campo gravitatorio del cúmulo de galaxias», señala el catedrático del departamento de Astronomía y Astrofísica y director del Observatorio Astronómico de la UV, José Antonio Muñoz. «Como la trayectoria que han seguido los rayos de luz para formar cada imagen es distinta, las observamos en diferentes instantes de tiempo; en este caso, tenemos que esperar 6,73 años para que la señal que observamos en la primera imagen se reproduzca en la cuarta», añade. «Medir estos retrasos temporales ayuda a conocer mejor las propiedades de las galaxias y los cúmulos de galaxias, su masa y la distribución de la misma, además de aportar nuevos datos para la estimación de la constante de Hubble», explica Muñoz.



EL CÚMULO WESTERLUND 1: un vivero de estrellas gigantes entre tinieblas

Las estrellas tienden a formarse en cúmulos, o grupos de entre diez y varios miles que, aunque presentan diferencias evolutivas, comparten la misma edad y composición. Entre los cúmulos que alberga la Vía Láctea destaca, en sus regiones internas, el jovencísimo cúmulo Westerlund 1 (Wd 1) que, con una edad inferior a los diez millones años está considerado el más masivo de nuestra Galaxia. Su población constituye un laboratorio idóneo para el estudio de las estrellas masivas que, sin embargo, se halla oculta tras una región polvorienta que dificulta su estudio. Ahora, un grupo científico ha conseguido atravesar esas «tinieblas», estimar la distancia del cúmulo con gran precisión y analizar la población estelar circundante.

La población de estrellas asociada a Wd 1 abarca todo tipo de estrellas masivas. Algunas muestran fases evolutivas raras y diferentes vías de interacción en sistemas binarios, lo que convierte este grupo de estrellas en la muestra idónea para desentrañar los procesos evolutivos de las estrellas gigantes. Sin embargo, la determinación precisa de las masas y edades de las estrellas depende de los parámetros derivados para el cúmulo, y hasta ahora una de las principales incógnitas residía en su distancia, además del efecto de la extinción de la luz debida al polvo en esas regiones.

«Wd 1 es uno de los objetos más interesantes de nuestra Galaxia. Debido a la enorme cantidad de polvo a lo largo de nuestra línea de visión, incluso un telescopio tan avanzado como Gaia tiene dificultad para darnos datos de alta calidad. Ha sido necesario aplicar un complejo tratamiento estadístico a las observaciones para poder dar un valor tan preciso de la distancia. Pero Gaia nos ha proporcionado mucha más información, ya que nos ha revelado el auténtico tamaño del cúmulo y nos ha permitido identificar estrellas en él que no se conocían», señala Ignacio Negueruela, catedrático de Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Alicante (UA), que encabeza estudio.

SEGUNDO ASTEROIDE

troyano terrestre tras una década de búsqueda

Un equipo internacional de astrónomos dirigido por el investigador Toni Santana-Ros, de la Universidad de Alicante (UA) y del Instituto de Ciencias del Cosmos de la Universitat de Barcelona (ICCUB), ha confirmado la existencia del segundo asteroide troyano terrestre conocido hasta ahora, el 2020 XL5, después de una década de búsqueda. Los resultados del estudio han sido publicados en la revista *Nature Communications*.

Todos los objetos celestes que vagan por nuestro Sistema Solar notan la influencia gravitatoria de otros cuerpos masivos que lo forman, incluyendo el Sol y los planetas. Para cada sistema de cuerpos, como por ejemplo el sistema Tierra-Sol, existen cinco puntos donde podemos situar un tercer objeto de manera estacionaria. Estas regiones se denominan puntos lagrangianos (punto de Lagrange) y son zonas de gran estabilidad. Un asteroide que orbite alrededor de los puntos lagrangianos L4 o L5 del sistema Sol-Tierra recibiría el nombre de asteroide Troyano terrestre.

Los resultados publicados confirman que el 2020 XL5 es el segundo asteroide troyano terrestre transitorio conocido hasta ahora, y todo indica que este asteroide permanecerá troyano –es decir, estará situado en el punto de Lagrange– durante 4000 años, motivo por el cual se le califica como transitorio. Los investigadores han proporcionado

una estimación de las dimensiones del objeto (alrededor de un kilómetro de diámetro), –más grande que el asteroide troyano terrestre conocido hasta ahora, el 2010 TK7, con 0,3 kilómetros de diámetro– y han realizado un estudio del impulso que necesitaría un cohete para poder llegar al asteroide desde la Tierra.

Aunque ya hace décadas que se sabe que hay asteroides troyanos en otros planetas como Venus, Marte, Júpiter, Urano y Neptuno, no fue hasta el año 2011 cuando se encontró el primero y, hasta ahora, único asteroide troyano terrestre. Los astrónomos han descrito muchas estrategias de observación para poder detectar nuevos troyanos de esta clase. «Ha habido muchos intentos previos de encontrar troyanos terrestres, incluyendo los estudios *in situ*, como la búsqueda dentro de la región L4 que llevó a cabo la nave espacial OSIRIS-REx de la NASA, o la busca en la región L5, llevada a cabo por la misión Hayabusa-2 de la JAXA», explica Toni Santana-Ros, autor de la publicación, y añade que «todos los esfuerzos dedicados hasta ahora no habían descubierto ningún otro miembro de esta población».

«Los troyanos terrestres podrían convertirse en bases ideales para una exploración avanzada del Sistema Solar o, incluso, podrían convertirse en una fuente de recursos», apunta Santana-Ros.

Recreación artística de 2020 XL5, el segundo asteroide troyano terrestre cuya existencia ha sido confirmada.
Foto: CITO/NOIRLab/NSF/AURA/T. da Silva/Spacengine.



LEYES DE DEFENSA DE LA TIERRA

frente a la amenaza de impacto de un cometa

La investigadora de la Universitat de València (UV), Elisa Simó, y el investigador de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Eloy Peña, han publicado un trabajo en la revista científica *Acta Astronautica* en el que analizan los marcos normativos sociales que habría que crear si un cometa se dirigiera a la Tierra. Simó, principal autora del artículo, es investigadora y profesora de Derecho en la UV; y Peña, coautor del trabajo, es ingeniero Aeroespacial e investigador de la UAB y del Instituto de Ciencias del Espacio, que depende del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

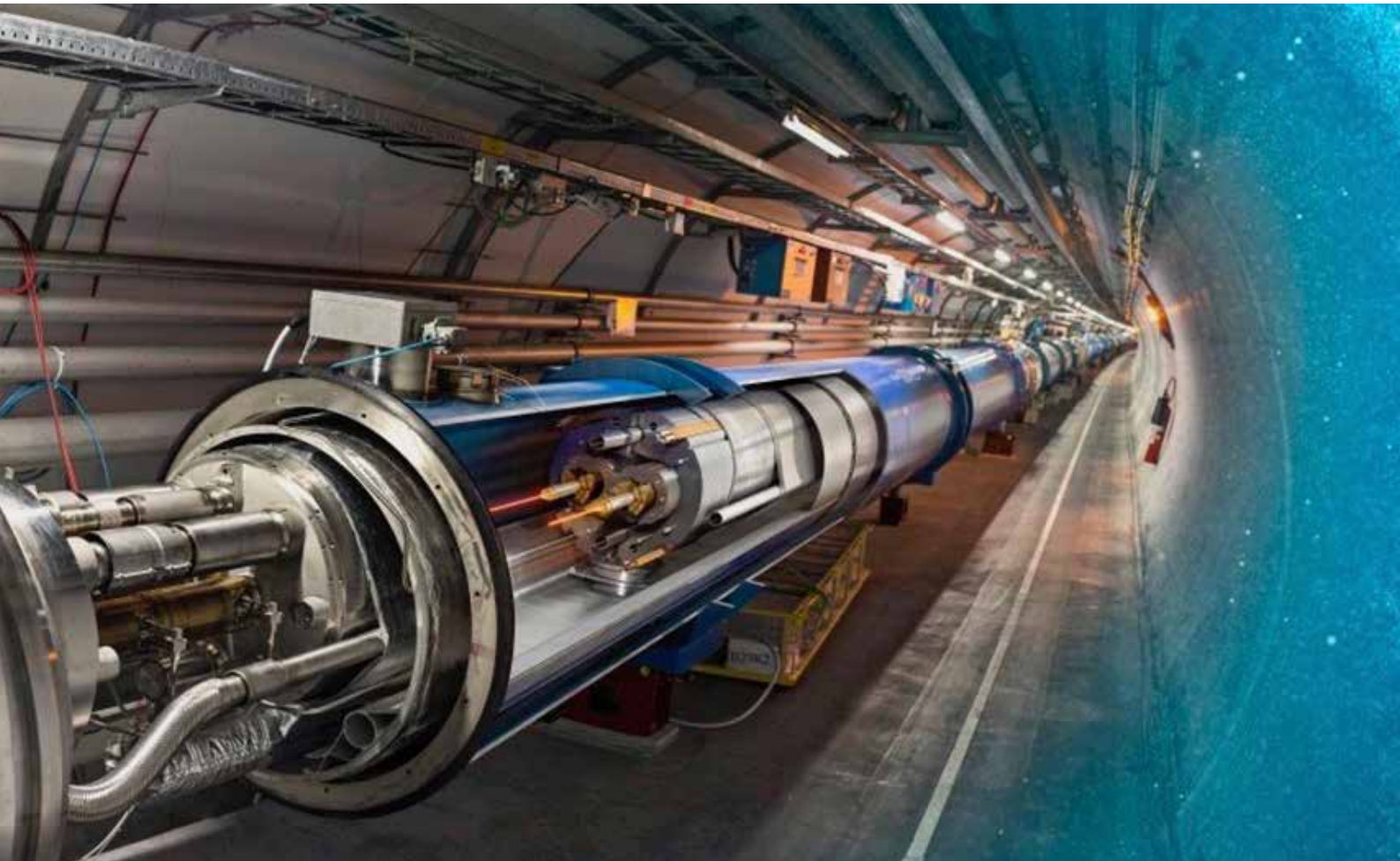
Simó y Peña han analizado las consecuencias político-jurídicas que tendría el impacto de un cometa. Una de sus principales aportaciones ha sido acuñar el término «refugiados de impacto». Tal como explica la investigadora, en un hipotético contexto de colisión de un asteroide contra la Tierra, han examinado diferentes escenarios y sus implicaciones político-jurídicas: desde un conflicto de intereses por los métodos utilizados (nuclear o daños a terceros), los monopolios de poder en la toma de decisiones y las posibles compensaciones a los actores «salvadores», hasta fenómenos migratorios a causa de la alerta de impacto y la configuración de Estados sin territorio.

En la actualidad, no hay un marco normativo preventivo en caso de que se produjera una catástrofe de este tipo ni ningún procedimiento jurídico y político que avale la técnica de desviación.

La investigación está enmarcada en un análisis riguroso de las capacidades científico-técnicas actuales en Defensa Planetaria. Uno de los puntos fuertes del estudio es la confluencia de dos áreas aparentemente muy alejadas como son el Derecho y la Astrofísica.

Según Simó y Peña, lejos de la caricatura hollywoodiense de los escenarios apocalípticos, para la comunidad científica no solo es una cuestión de relevancia, sino de preocupación. Una muestra de esto es la misión espacial DART, lanzada para hacer un ensayo de desviación de un asteroide. Se estima que un 10 % de los objetos potencialmente peligrosos están todavía por descubrir y que la probabilidad de un asteroide con capacidad de producir un impacto contra la Tierra es de un 1 % en los próximos 50 años.





LA MASA DEL QUARK FONDO

puede cambiar a energías muy altas

El Modelo Estándar de la física de partículas, la teoría que mejor describe la materia visible del Universo, es la que predice que muchas de las propiedades de las partículas tienen valores diferentes según la energía a la que se observen. Esto ocurre también con la masa de las partículas elementales y lo ha confirmado un grupo de investigadores teóricos y experimentales del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto de la Universitat de València (UV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), gracias al acelerador de partículas más potente del mundo, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN (European Organization for Nuclear Research). Allí han observado cómo un bosón de Higgs se desintegra en quarks fondos, uno de los constituyentes fundamentales de la materia.

Los investigadores del IFIC, en colaboración con investigadores de las Universidades de Viena (Austria) y Tohoku (Japón), y el Instituto Paul Scherrer (Suiza), han medido la masa del quark fondo con una precisión del 14 %, y han confirmado, además, que es más ligero a energías más altas. El valor obtenido es compatible con las predicciones del Modelo Estándar y descarta la hipótesis de que la masa no cambie con la energía. Este trabajo, presentado por Marcel Vos, investigador del IFIC, se ha publicado en la revista *Physical Review Letters*.

«Demostrar que las masas de las partículas elementales cambian en función de la energía del experimento es, en primer lugar, una prueba clara de su comportamiento cuántico. Medir ese cambio con gran precisión permite, por un lado, someter a un test de estrés la validez de las predicciones del Modelo Estándar y, por otro, intuir la posible existencia de nuevas partículas o fuerzas en caso de que los datos se desvíen de la evolución esperada», señala Germán Rodrigo, investigador del IFIC.

EL EXPERIMENTO MOEDAL **PRESENTA RESULTADOS**

sobre los monopolos magnéticos

Instituto de Física Corpuscular (UV-CSIC)

Un grupo internacional de investigación donde participa el Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto de la Universitat de València (UV) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha dado un paso de gigante en la búsqueda experimental de los monopolos magnéticos, unas partículas elementales hipotéticas predichas por varias teorías, pero todavía no observadas. Para ello, han explorado un mecanismo de producción de la materia propuesto por Julian Schwinger, un físico estadounidense ganador del Premio Nobel en 1965. Los resultados de este estudio han sido publicados en la prestigiosa revista *Nature*.

Para avanzar en el descubrimiento de esta escurridiza partícula, los científicos trabajan en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN (European Organization for Nuclear Research), concretamente, en el experimento Monopole and Exotics Detector (MoEDAL), cuyo objetivo principal es la búsqueda directa del monopolio magnético entre otras partículas exóticas. Estas partículas se caracterizan por tener un solo polo magnético, una peculiar propiedad jamás observada. Confirmar su existencia sería transformador para la física, puesto que se abriría un nuevo camino más allá del Modelo Estándar, la teoría actualmente aceptada para describir el mundo microscópico, y se simetrizarían las ecuaciones Maxwell, que describen las leyes del electromagnetismo.

Vasiliki Mitsou, investigadora del IFIC y líder del grupo MoEDAL de València, es también la coordinadora de análisis del mencionado ex-

perimento. Ha liderado todos los pasos para la obtención de estos nuevos resultados y ha sido una de las revisoras internas del artículo de la colaboración.

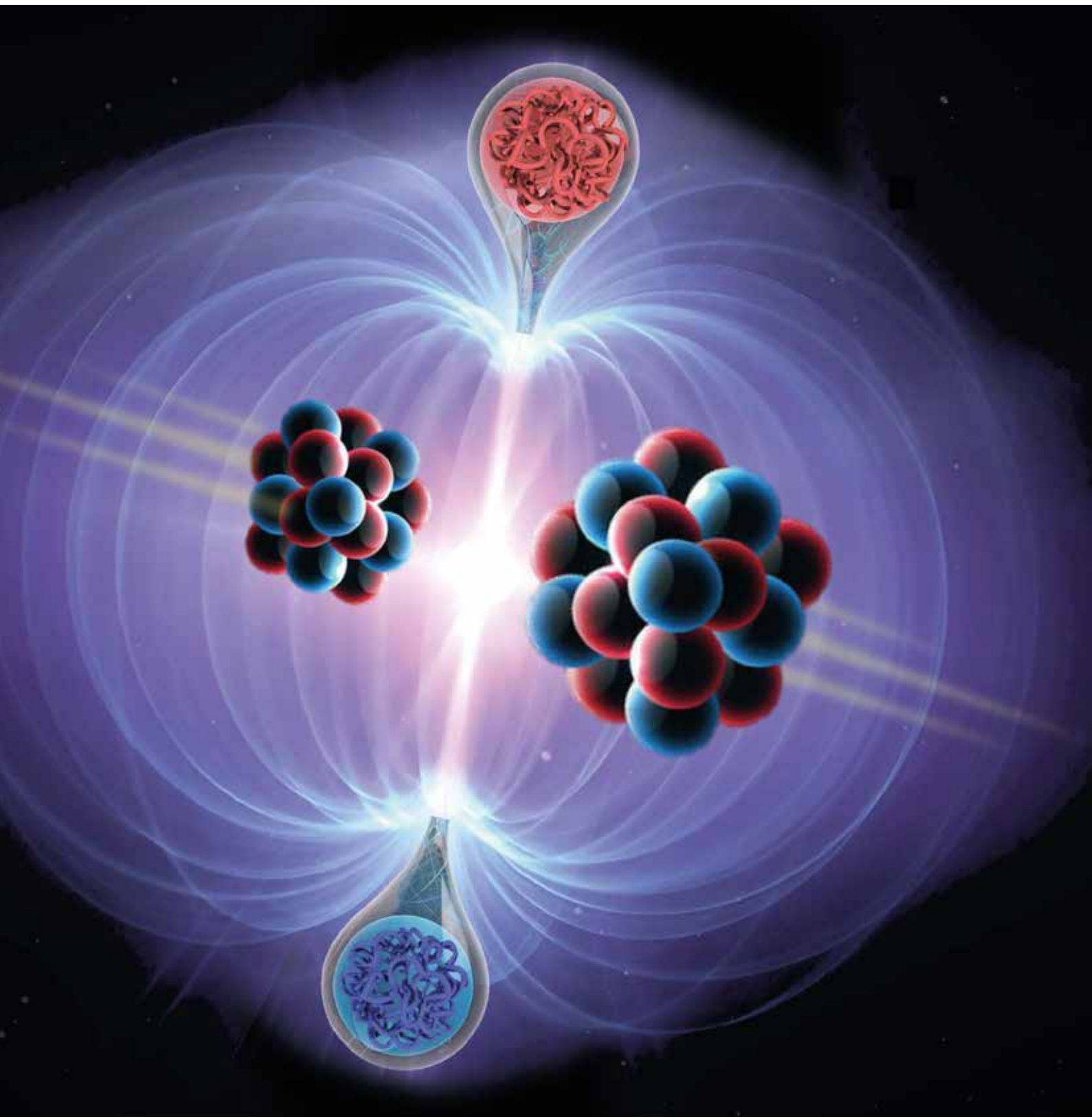
Tal y como señala Vasiliki Mitsou, «la sinergia entre físicos experimentales y teóricos en MoEDAL ha permitido, por primera vez, la búsqueda de monopolos de tamaño finito, y ha inaugurado, también, el uso del potente campo magnético presente en las colisiones de iones pesados en el LHC. Ese mecanismo Schwinger permite calcular probabilidades de producción de monopolos físicamente válidas».

El acelerador más grande y poderoso del mundo, el LHC

El experimento busca la producción de monopolos magnéticos en las colisiones de iones pesados en el acelerador de partículas más grande y poderoso del mundo, el LHC. Las colisiones generan fuertes campos magnéticos, los cuales podrían dar lugar a la creación espontánea de monopolos magnéticos a través del mecanismo de Schwinger (fenómeno por el cual la materia se crea por un fuerte campo eléctrico).

Para detectar monopolos magnéticos, los investigadores de MoEDAL han utilizado un magnetómetro superconductor para escanear los módulos detectores expuestos a las colisiones de plomo-plomo del LHC en busca de señales de carga magnética atrapada. Al no haberse encontrado ninguna señal de este tipo, los investigadores pudieron excluir la existencia de

Recreación ilustrada de la producción de un par de monopolos magnéticos mediante el campo magnético creado por la colisión de dos iones pesados. Foto: James Pinfold.



monopolos con una masa inferior a 75 GeV, para cargas magnéticas que van desde 1 a 3 unidades base de carga magnética.

El experimento planea tomar más datos y aumentar su sensibilidad para detectar monopolos más pesados y con mayor carga magnética en un futuro próximo.



CORRELACIONES CUÁNTICAS

y su efecto en la energía de los materiales magnéticos

Un equipo de investigación integrado por la investigadora Chiara Biz, de la Universitat Jaume I de Castelló (UJI), y Mauro Fianchini y José Gracia, de la empresa MagnetoCat, S.L., ha constatado que las interacciones de intercambio de espín cuántico (QSEI) son responsables de las propiedades intrínsecas inusuales de los catalizadores magnéticos, al detectarse su influencia en la estructura, conductividad electrónica y actividad catalítica.

Durante el estudio, el equipo ha demostrado y descrito el sentido de las correlaciones cuánticas mediante una novedosa adaptación de los diagramas de Feynman. Esto ha permitido entender por qué los catalizadores con un predominio de interacciones ferromagnéticas son el futuro para la incipiente economía del hidrógeno. La descripción de este fenómeno sirve en general para comprender los catalizadores fuertemente correlacionados y abre nuevas vías de estudio para la mejora en el diseño de nuevos catalizadores y tecnologías.

La aportación de esta investigación sobre el magnetismo orbital y los potenciales del espín (momento magnético intrínseco del electrón), no se limita únicamente al ámbito académico, sino que, al estar entrelazada con la eficiencia de los procesos electrocatalíticos y las tecnologías para la producción y uso de hidrógeno verde, tiene un enorme impacto en el desarrollo de un mundo más limpio y sostenible.

El estudio publicado en la revista *ACS Catalysis* explica que las interacciones de espín cuántico (QSEI) son especialmente relevantes para la configuración con electrones desapareados y que su comprensión es esencial para el entendimiento completo de las propiedades específicas de las estructuras magnéticas que contribuyen significativamente a la remodelación de la estructura energética, orbital y catalítica e influyen en el transporte iónico y de electrones.

CONTROL ACÚSTICO DE FOTONES integrados en un chip para tecnologías cuánticas

Un equipo internacional de investigación en el que participa el Instituto de Ciencia de los Materiales (ICMUV) de la Universitat de València (UV) ha conseguido controlar fotones individuales e integrarlos en un chip con gran precisión para su aplicación en tecnologías cuánticas acústicas o redes fotónicas integradas. El método, realizado mediante ondas sonoras a nanoescala, supondrá un avance en el camino hacia las tecnologías cuánticas híbridas. El hallazgo aparece publicado en la revista *Nature Communications*.

Las ondas de luz y sonido son la columna vertebral tecnológica de las comunicaciones modernas. Mientras que las fibras ópticas y el láser forman la World Wide Web, las ondas sonoras de dimensiones nanométricas se utilizan para procesar la transmisión inalámbrica entre *smartphones*, tabletas y portátiles. Extender estas tecnologías a los sistemas cuánticos, con el fin de construir redes de comunicación cuántica seguras, es un reto.

El equipo internacional del que forman parte los investigadores Mauricio M. de Lima y Dominik D. Bühler ha conseguido utilizar ondas sonoras para conmutar fotones individuales generados en un chip. Este método, demostrado aquí por primera vez, permite usar los fotones como constituyentes de q-bits, de manera que puedan utilizarse para tecnologías cuánticas acústicas o redes complejas de fotónica cuántica integrada.

«El principio de funcionamiento de nuestro chip ya lo conocíamos en lo que respecta a la luz láser convencional, pero ahora, al utilizar fotones individuales, hemos conseguido realizar el tan ansiado avance hacia las tecnologías cuánticas», comenta Mauricio M. de Lima, que coordina los trabajos en España. «Mediante el uso de ondas sonoras aplicadas durante la propagación de la luz en guías de ondas, somos capaces de conmutar directamente los fotones entre dos salidas del chip a una velocidad sin precedentes», añade Dominik Bühler, doctorando en la UV durante la investigación.



FÍSICA CENTENARIA QUE RESISTE TODO INTENTO DE DEMOSTRACIÓN... HASTA HOY



El cambio climático es una realidad cada vez más acuciante y reducir la huella climática de los medios de transporte es uno de los grandes desafíos. Una de las claves para lograrlo es bajar su resistencia aerodinámica, de la que la gran responsable es lo que se conoce como turbulencia de pared, responsable de hasta el 5 % del CO₂ vertido por la humanidad cada año. El problema es que

la física de los flujos turbulentos es todavía un problema abierto.

Un equipo de investigadores de la Universitat Politècnica de València (UPV) y de la Universidad Técnica de Darmstadt han abierto un nuevo camino para el estudio de la turbulencia: han conseguido aplicar la teoría de simetría



de Lie, clave en el avance de la física en el siglo XX, pero que, hasta ahora, no había podido ser utilizada en este ámbito.

«Aunque conocemos las ecuaciones que controlan el movimiento de los fluidos desde hace más de 150 años, su resolución es imposible salvo en casos sencillos. Así,

para simular los flujos de aire alrededor de un avión comercial se necesitaría una memoria RAM equivalente a 3 meses de Internet», destaca Sergio Hoyas, catedrático de Ingeniería Aeroespacial e investigador del Instituto de Matemática Pura y Aplicada (IUMPA) de la UPV.

El camino adoptado hace más de 140 años fue separar el flujo medio de la turbulencia y, también, modelar mediante fórmulas matemáticas su efecto, permitiendo así una resolución rápida de muchos problemas de la vida diaria mediante programas informáticos. Debido a su importancia económica, estos modelos mueven miles de millones de euros al año. El trabajo de los investigadores de la UPV y Darmstadt va más allá. Publicado en las revistas *Physical Review Letters* y *Physical Review Fluids*, y dentro del proyecto HUMBLE RTI2018-102256-B-I00, los investigadores muestran cómo usar la teoría de Lie para obtener resultados sobre el comportamiento estadístico del flujo sin tener que resolver las ecuaciones de la mecánica de fluidos, lo que simplifica el estudio y amplía sus aplicaciones problemas más complejos, con sus consecuencias económicas también.

«Nuestros resultados muestran el camino para obtener leyes de comportamiento estadístico del fluido, abriendo ese nuevo camino al estudio de la turbulencia. Además, los resultados pueden ser añadidos a los modelos existentes, mejorándolos y haciéndolos más precisos, lo que deriva en un mejor diseño de los materiales y, por tanto, una menor resistencia aerodinámica y, en último término, un menor impacto medioambiental», destaca Hoyas.

Con este trabajo, el equipo de científicos de la UPV y de Darmstadt ha demostrado matemáticamente, y a partir únicamente de leyes de conservación, una de las leyes de crecimiento de la velocidad más conocidas de la turbulencia, «pero que, en más de 100 años, se había resistido a una demostración».

50 millones de horas de CPU

Para poder validar estas leyes se ha realizado una simulación de flujo turbulento, para lo que se han empleado simultáneamente 6200 procesadores del superordenador SuperMuc del LRZ alemán y un total de 50 millones de horas de CPU, generándose una base de datos de 100 TB.

Estos datos están siendo ya utilizados por varios grupos para comprender mejor la turbulencia. De hecho, sus primeros resultados han permitido corregir el valor de varias constantes que estaban establecidas en la literatura.

MODELO MATEMÁTICO PARA REDUCIR EFECTOS

adversos en laparoscopias abdominales

Universitat de València (UV)

Especialistas de la UV han trabajado un modelo matemático para reducir los efectos adversos en una laparoscopia, intervención quirúrgica que se realiza en el abdomen o la pelvis a través de pequeñas incisiones con la ayuda de una cámara.

La laparoscopia requiere la insuflación del abdomen con dióxido de carbono para conseguir un espacio de trabajo que permita la manipulación de los instrumentos quirúrgicos. Aunque las directrices internacionales recomiendan trabajar durante la laparoscopia con la mínima presión intraabdominal (IAP), para garantizar un espacio de trabajo adecuado, la práctica habitual sigue siendo fijar inicialmente el valor sin más ajustes, independientemente de la cantidad de volumen intraabdominal (IAV) generado.

Operar con una IAP muy elevada aumenta la morbilidad perioperatoria, puesto que provoca una disminución de la perfusión sanguínea abdominal, un mayor dolor posoperatorio, lesiones peritoneales y un mayor riesgo de complicaciones pulmonares.

Un artículo publicado en la revista *Sort* pretende modelizar el comportamiento del IAV a partir de un modelo bayesiano y, con esto, conseguir un espacio de trabajo quirúrgico óptimo y minimizar la presión administrada al paciente durante la cirugía laparoscópica en el abdomen. Los autores del trabajo son Gabriel Calvo, doctorando y becario FPU del Ministerio de Universidades en el Departamento de Estadística e Investigación Operativa de la UV; Carmen Armero, catedrati-

ca en Estadística e Investigación Operativa de la UV; Virgilio Gómez-Rubio, profesor de la Universidad de Castilla-la Mancha; y también Guido Mazzinari, especialista en Anestesiología y Reanimación en el Hospital Universitario y Politécnico La Fe (València) y miembro del grupo de investigación Medicina Peroperatoria, Anestesiología y Reanimación.

Este es el primer paso, en un enfoque de medicina de precisión, para conocer la insuflación de presión óptima en la cirugía laparoscópica. Este proceso podría ser escalable y llevarse a cabo de forma recursiva durante toda la duración de la intervención quirúrgica para garantizar que, incluso si las condiciones cambian, se podría proporcionar un campo quirúrgico óptimo al cirujano mientras se expone al paciente a la menor presión posible.

Aunque el efecto individuo influye demasiado en el comportamiento del volumen generado dentro de la cavidad abdominal, se pueden extraer dos conclusiones. En primer lugar, se observa que existen diferencias entre hombres y mujeres pacientes en la presión idónea que se tendría que insuflar en el procedimiento.

Los datos indican que el punto óptimo de la presión es ligeramente superior en mujeres que en hombres. Además, a mayor edad de los pacientes, mayor es la cantidad de presión que se necesita.

Finalmente, para aumentar la precisión y disminuir la influencia individual en el modelo, se





registrarán otras variables que pueden explicar el comportamiento del volumen intraabdominal y se incluirán en el modelo para reducir la incertidumbre sobre las estimaciones y predicciones. Los investigadores tienen previsto perfeccionar el modelo con mediciones antropométricas. Están registrando no sólo la altura y el peso,

sino también la circunferencia de cintura y cadera, y la altura sagital del abdomen para disponer de superficie abdominal, volumen y demasiado corporal con el fin de actualizar el modelo con estos nuevos datos.