

A1. JWST: lanza la imagen IR más profunda del espacio

James Webb publica la imagen IR más nítida jamás tomada desde el espacio

James Webb publica la imagen IR más nítida jamás tomada desde el espacio.

Se ha alcanzado otro hito de alineación y el telescopio está superando las expectativas.

Traducción del artículo de Alison Klesman | Publicado: viernes, 18 de marzo de 2022, en Astronomy.com.



Figura 1. NIRCAM, JWST. Imagen de evaluación del telescopio James Webb y el instrumento NIRCAM. Fuente: NASA/STScI. Cada punto en la imagen es una galaxia ¡!.

A principios de febrero, los ingenieros de la NASA comenzaron a alinear de forma remota los 18 segmentos hexagonales del espejo principal del telescopio espacial James Webb, que se había plegado para el lanzamiento. El objetivo de este meticuloso proceso de tres meses de duración es posicionar perfectamente los segmentos del espejo entre sí, creando una superficie única y lisa de 6,5 metros de ancho que puede reunir y enfocar la luz del cosmos distante. Puede recordar instantáneas anteriores que marcaron hitos

anteriores. Por ejemplo, el segundo de los siete hitos se marcó con una toma tomada antes de que los espejos estuvieran fríos a principios de febrero, los ingenieros de la NASA comenzaron a alinear de forma remota los 18 segmentos hexagonales del espejo principal del telescopio espacial James Webb, que se había plegado para el lanzamiento. El objetivo de este meticuloso proceso de tres meses de duración es posicionar perfectamente los segmentos del espejo entre sí, creando una superficie única y lisa de 6,5 metros de ancho que puede reunir y enfocar la luz del cosmos distante. Puede recordar instantáneas anteriores que marcaron hitos anteriores. Por ejemplo, el segundo de los siete hitos se marcó con una toma tomada antes de que los espejos estuvieran completamente alineados; presentaba múltiples imágenes de una sola estrella. Ahora, la NASA ha anunciado que se ha completado el quinto hito principal de alineación. Este paso, llamado puesta en fase fina, ayudó a identificar y corregir pequeñas diferencias entre los segmentos individuales del espejo para enfocar el universo infrarrojo con nitidez y claridad. Y funcionó: JWST tomó recientemente la imagen de prueba infrarroja de arriba, que se enfoca en la estrella 2MASS J17554042+6551277, utilizando su cámara de infrarrojo cercano (NIRCam). La estrella no solo es un único punto claro de luz, sino que la óptica del telescopio es tan sensible que las estrellas de fondo más débiles, e incluso las galaxias, son claramente visibles. (Tenga en cuenta que la imagen se obtuvo utilizando un filtro rojo para lograr un mejor contraste). Este hermoso retrato estelar, la toma infrarroja más nítida jamás tomada desde el espacio, verifica que la óptica del telescopio funciona de manera óptima. De hecho, están funcionando tan bien que los ingenieros ahora confían en que el JWST no solo cumplirá, sino que en muchos casos superará sus objetivos científicos. Quedan dos pasos importantes más para completar la alineación del espejo de JWST. Ahora está perfectamente configurado para el campo de visión de NIRCam. Pero el espejo aún debe estar alineado para los campos de visión de los otros instrumentos, que pueden ser más grandes o más pequeños, o tener una forma diferente. Finalmente, los segmentos se revisarán nuevamente para detectar desalineaciones minúsculas y cualquier problema persistente se suavizará. Una vez completado, con suerte a principios de mayo, el equipo planea pasar dos meses preparando los instrumentos para la ciencia. Si todo va bien, la NASA espera que para el verano estemos inundados de impresionantes vistas nuevas del universo. Estos retratos no solo revelarán la belleza surrealista del cosmos con detalles nítidos, sino que nos transportarán a una época en la que las primeras galaxias apenas comenzaban a dar forma al universo en el lugar que vemos hoy.

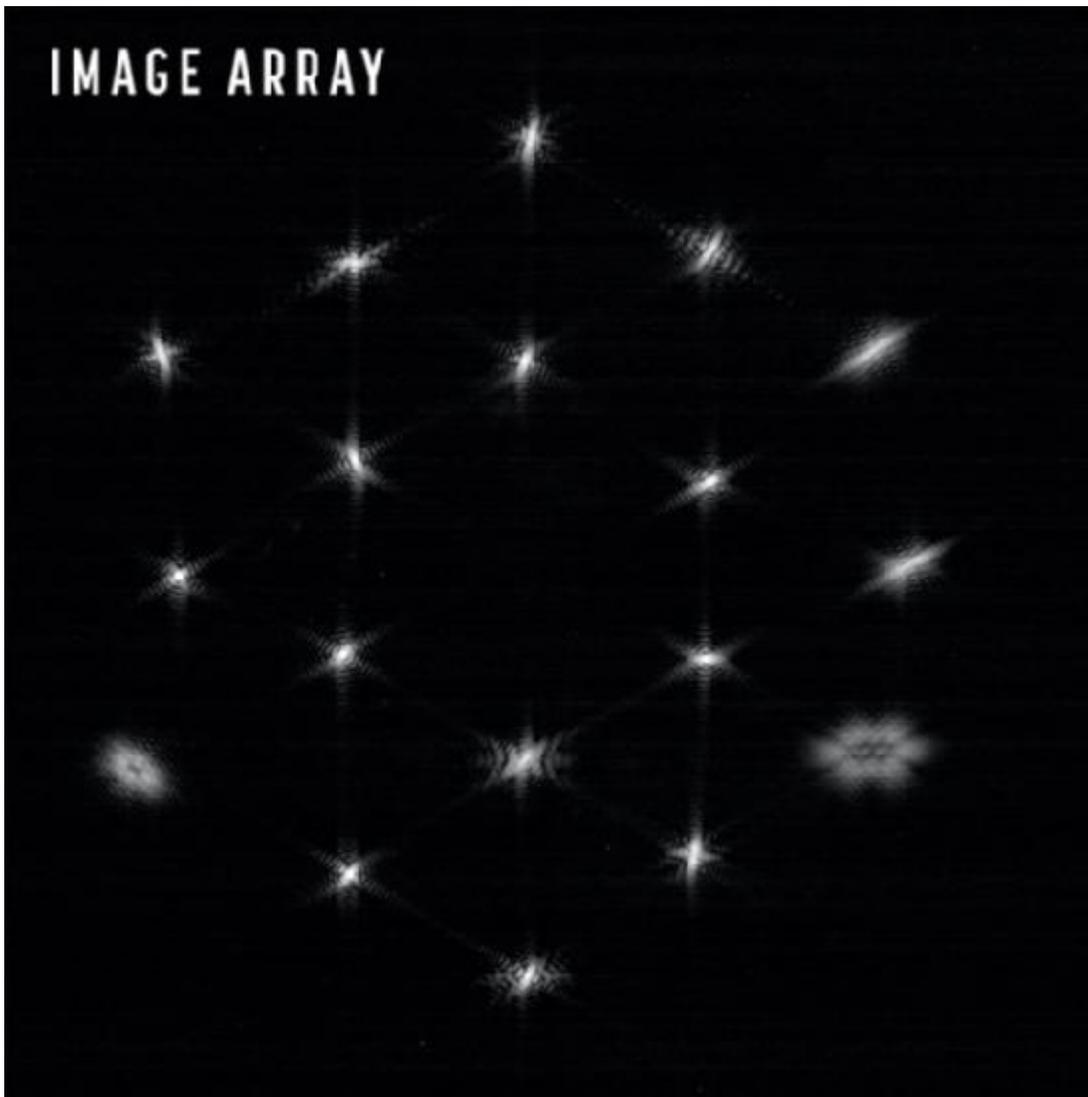


Figura 2. El alineado de los espejos, en un selfie para la historia, enfocando a una estrella. La imagen es un mosaico de 18 versiones de la misma estrella dispuesta en forma de hexágono tomada por el Telescopio Espacial James Webb. NASA/STScI/J. DePasquale.

Referencias

[1] *James Webb releases sharpest IR image ever taken from space.* Alison Klesman, para Astronomy.com, URL: <https://astronomy.com/news/2022/03/james-webb-releases-sharpest-ir-image-ever-taken-from-space>

[2] *Snapshot: The James Webb Space Telescope sees stars.* By Samantha Hill |
Published: Thursday, February 24, 2022, URL:
<https://astronomy.com/news/2022/02/snapshot-eighteen-arranged-photon-images-help-to-focus-webb-telescope>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

A2. El púlsar enana blanca AR Sco.

El púlsar enana blanca AR Scorpii



Figura 1. Impresión artística del extraño objeto AR Scorpii. En esta estrella doble única, una estrella enana blanca que gira rápidamente (derecha) impulsa electrones hasta casi la velocidad de la luz. Estas partículas de alta energía liberan ráfagas de radiación que azotan a la estrella enana roja compañera (izquierda) y hacen que todo el sistema emita pulsaciones dramáticas cada 1,97 minutos con una radiación que va desde el ultravioleta hasta la radio. Crédito: M. Garlick/Universidad de Warwick, ESA/Hubble.

Un nuevo estudio realizado por Jonathan Katz de la Universidad de Washington en St. Louis sugiere que una fuente transitoria de radio periódica descubierta recientemente,

denominada GLEAM-X J162759.5–523504.3, puede ser un raro púlsar consistente en una enana blanca. El hallazgo se detalló en un artículo publicado el 16 de marzo en el servidor de preimpresión arXiv. Los púlsares son estrellas de neutrones giratorias altamente magnetizadas que emiten un haz de radiación electromagnética. Por lo general, se detectan en forma de breves ráfagas de emisión de radio; sin embargo, algunos de ellos también se observan a través de telescopios ópticos, de rayos X y de rayos gamma. Algunos astrónomos especulan que una enana blanca magnética giratoria (WD) podría mostrar una actividad similar a la de un púlsar. Hasta la fecha, solo se ha encontrado uno de esos candidatos a "púlsar enana blanca", llamado AR Scorpii (AR Sco), ya que contiene un WD que gira rápidamente y bombardea a su compañero enano rojo con poderosos rayos de partículas eléctricas y radiación. Esto hace que el sistema se ilumine y se desvanezca dramáticamente dos veces cada dos minutos.

GLEAM-XJ162759.5–523504.3 es un púlsar descubierto recientemente con un período de giro de aproximadamente 1091 segundos. Muestra ráfagas de radio transitorias con una duración de aproximadamente un mes, mientras que los anchos de pulso varían dentro del rango de 30 a 60 segundos. Se calculó que la potencia de rotación de este púlsar es inferior a 12 octillones de erg/s, lo que resulta ser mucho menor que la luminosidad de la emisión de radio pulsada que se estima en unos 40000 octillones de erg/s.

El largo período de GLEAM-XJ162759.5–523504.3 sigue siendo un rompecabezas, ya que, por lo general, los períodos de rotación de los radio púlsares y las estrellas de neutrones individuales de otras poblaciones no superan los 20 segundos. Un estudio anterior sugirió que un período tan largo puede ser producto de la evolución a largo plazo en el modelo de disco alternativo, cuando una estrella de neutrones evoluciona con un disco alternativo y con una intensidad de campo dipolar magnético de unos pocos billones de G (Gauss) en el ecuador. Katz, en su último estudio, argumenta que las propiedades peculiares de GLEAM-XJ162759.5–523504.3 pueden explicarse por el hecho de que es un púlsar enana blanca. Al analizar los datos disponibles, se centró en la potencia radiada media de esta fuente, ya que supera el límite superior de su potencia de giro en más de un orden de magnitud.

Según Katz, esto es físicamente imposible para un objeto impulsado por rotación, ya que ningún púlsar clásico emite más del 1 por ciento de su poder de giro como emisión de radio coherente. Él asume que el escenario del púlsar WD bien podría explicar esta peculiaridad, junto con el período de rotación anómalamente largo. "Las enanas blancas

tienen momentos de inercia de $\sim 10^{50}$ g cm², unos cinco órdenes de magnitud mayores que los de una estrella de neutrones, lo que aumenta la potencia de rotación estimada a $\sim 10^{33}$ ergios/s, suficiente para alimentar la emisión de radio con plausible (<<1) eficiencia", explicó Katz.

Agregó que su hipótesis está respaldada por el factor de Lorentz inferido de la subestructura temporal de al menos uno de los pulsos de GLEAM-XJ162759.5–523504.3, que indica un gran radio de curvatura de las líneas del campo magnético si la emisión es radiación de curvatura. En sus comentarios finales, Katz señaló que su hallazgo abre la posibilidad de que muchas enanas blancas de rotación rápida y fuertemente magnetizadas puedan ser púlsares WD. Por lo tanto, sugiere observaciones de radio de baja frecuencia de tales objetivos para confirmar esto.

Referencias

[1] *Recently discovered periodic radio transient may be a rare white dwarf pulsar*, by Tomasz Nowakowski, Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-03-periodic-radio-transient-rare-white.html>

[2] J. I. Katz, *GLEAM-X J16279.5-523504.3 as a White Dwarf Pulsar*. arXiv:2203.08112v2 [astro-ph.SR], arxiv.org/abs/2203.08112

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A3. Mapeando las enanas blancas de nuestra galaxia.

Mapping the movement of white dwarfs of the Milky Way

by Lund University/ Mapeo del movimiento de las enanas blancas de la Vía Láctea por la Universidad de Lund

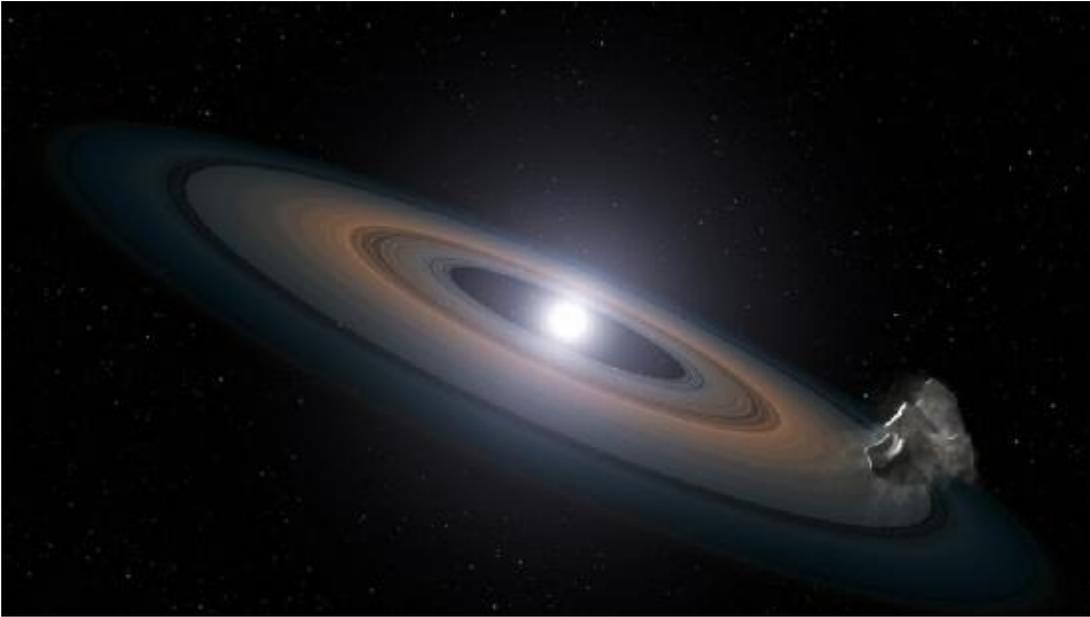


Figura 1. Ilustración de una enana blanca. Crédito: NASA, ESA, STScI y G. Bacon (STScI).

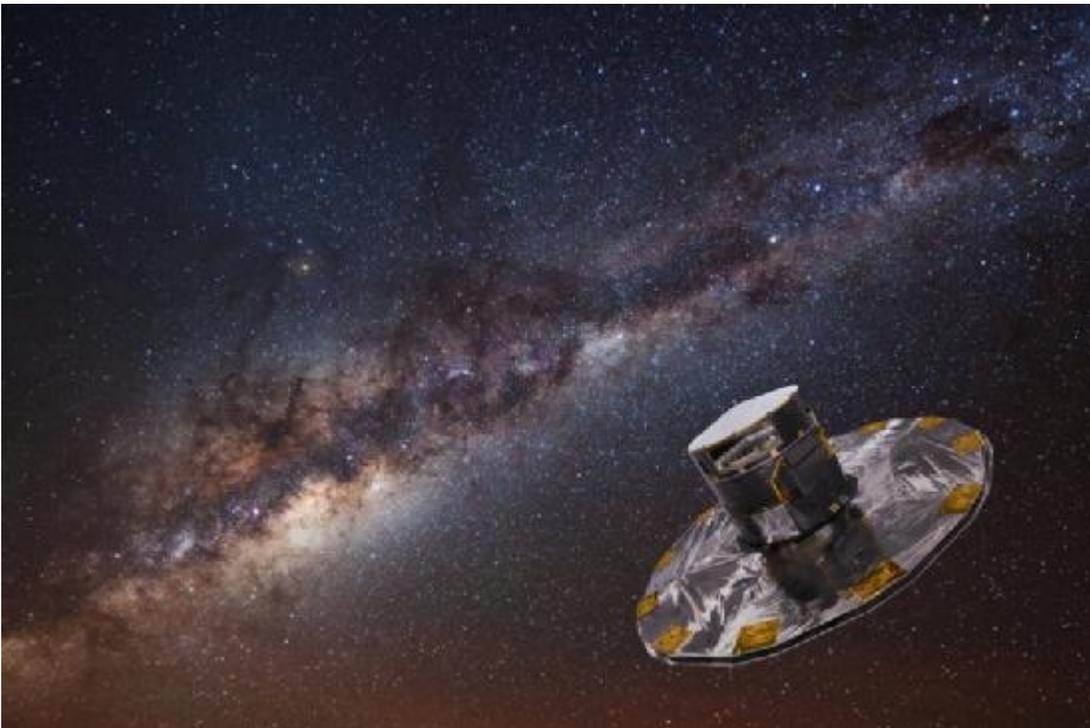


Figura 2. Ilustración de Gaia con la Vía Láctea de fondo. Crédito: ESA/ATG Medialab, ESO/S. Brunier.

Las enanas blancas alguna vez fueron estrellas normales similares al sol, pero luego colapsaron después de agotar todo su combustible. Históricamente, estos restos interestelares han sido difíciles de estudiar. Sin embargo, un estudio reciente de la

Universidad de Lund en Suecia revela nueva información sobre los patrones de movimiento de estas desconcertantes estrellas.

Las enanas blancas tienen un radio de aproximadamente el 1 por ciento del sol. Tienen aproximadamente la misma masa, lo que significa que tienen una densidad asombrosa de aproximadamente 1 tonelada por centímetro cúbico. Después de miles de millones de años, las enanas blancas se enfriarán hasta un punto en el que dejarán de emitir luz visible y se convertirán en las llamadas enanas negras.

La primera enana blanca que se descubrió fue 40 Eridani A. Es un cuerpo celeste brillante a 16,2 años luz de la Tierra, rodeado por un sistema binario que consiste en la enana blanca 40 Eridani B y la enana roja 40 Eridani C. Desde que fue descubierto en 1783, los astrónomos han tratado de aprender más sobre las enanas blancas para obtener una comprensión más profunda de la historia evolutiva de nuestra galaxia natal. En un estudio publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, un equipo de investigación puede presentar nuevos hallazgos sobre cómo se mueven las estrellas colapsadas.

"Gracias a las observaciones del telescopio espacial Gaia, por primera vez logramos revelar la distribución de velocidad tridimensional para el mayor catálogo de enanas blancas hasta la fecha. Esto nos brinda una imagen detallada de su estructura de velocidad con un detalle sin precedentes". dice Daniel Mikkola, estudiante de doctorado en astronomía en la Universidad de Lund.

Gracias a Gaia, los investigadores han medido las posiciones y velocidades de alrededor de 1500 millones de estrellas. Pero solo recientemente han podido concentrarse por completo en las enanas blancas en el vecindario solar. "Hemos logrado mapear las velocidades y los patrones de movimiento de las enanas blancas. Gaia reveló que hay dos secuencias paralelas de enanas blancas al observar su temperatura y brillo. Si las estudiamos por separado, podemos ver que se mueven de diferentes maneras, probablemente como consecuencia de que tienen diferentes masas y tiempos de vida", dice Daniel Mikkola.

Los resultados se pueden usar para desarrollar nuevas simulaciones y modelos para continuar mapeando la historia y el desarrollo de la Vía Láctea. A través de un mayor conocimiento de las enanas blancas, los investigadores esperan poder aclarar una serie de interrogantes que rodean el nacimiento de la Vía Láctea. "Este estudio es importante porque aprendimos más sobre las regiones más cercanas de nuestra galaxia. Los

resultados también son interesantes porque nuestra propia estrella, el sol, algún día se convertirá en una enana blanca como el 97 por ciento de todas las estrellas de la Vía Láctea. " concluye Daniel Mikkola.

Referencias

[1] URL: <https://phys.org/news/2022-03-movement-white-dwarfs-milky.html>

[2] Daniel Mikkola et al, *The velocity distribution of white dwarfs in Gaia EDR3*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2022). DOI: [10.1093/mnras/stac434](https://doi.org/10.1093/mnras/stac434)

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A4. El premio Abel de Matemáticas 2022: D. P. Sullivan



Figura 1. Matemáticas. Solamente se necesita papel y lápiz (y quizás computadoras, A.I., Machine Learning, Data Science e imaginación en el futuro). Crédito: CC0 Dominio público.

No existe, lamentable y sorprendentemente, un premio Nobel para las Matemáticas. Dos sustitutos para esta ausencia son la medalla Fields (para menores de 40 años), y el Premio Abel. Ecuaciones célebres, como $E = mc^2$, el teorema de Pitágoras $a^2 + b^2 = c^2$, o el último teorema de Fermat ($a^n + b^n = c^n$ no tiene solución real si $n \in \mathbb{Z}$, $n > 2$) son

mucho más largas de escribir y sintetizar sin el lenguaje matemático, que también importa en el mundo físico desde la aserción y descubrimiento de Galileo de que el mundo está hecho y escrito en lenguaje matemático.

El Premio Abel en honor a los logros en matemáticas fue otorgado el miércoles 23 de Marzo de 2022 al estadounidense Dennis Parnell Sullivan por sus contribuciones a la topología, incluido el trabajo sobre la teoría del caos, dijo la Academia Noruega de Ciencias. Sullivan, profesor de la Universidad de Stony Brook en Nueva York, recibió el honor "por sus innovadoras contribuciones a la topología en su sentido más amplio, y en particular sus aspectos algebraicos, geométricos y dinámicos".

La topología "investiga las propiedades de los objetos que no cambian cuando se deforman" y tiene "aplicaciones significativas en campos que van desde la física hasta la economía y la ciencia de datos", dijo la academia. Descrito como un "miembro carismático y animado de la comunidad matemática", Sullivan, de 81 años, se destacó por encontrar "profundas conexiones entre una deslumbrante variedad de áreas de las matemáticas".

"Sullivan se ha movido de un área a otra, aparentemente sin esfuerzo, usando ideas algebraicas, analíticas y geométricas como un verdadero virtuoso", dijo Hans Munthe-Kaas, presidente del Comité Abel, en un comunicado. Nacido en Michigan, Sullivan se mudó a una edad temprana a Houston en Texas, donde luego asistió a la Universidad Rice antes de obtener su doctorado en Princeton. A fines de la década de 1970, comenzó a trabajar en la teoría del caos. Entre sus logros en el campo estaba resolver una conjetura que había eludido a los matemáticos durante 60 años. Sullivan recibirá su premio, que incluye 7,5 millones de coronas noruegas (850000 dólares, unos 780000 euros) en una ceremonia en Oslo el 24 de mayo de 2022.

Referencias

[1] *US topology and chaos theorist wins mathematics Abel Prize*. URL: <https://phys.org/news/2022-03-topology-chaos-theorist-mathematics-abel.html>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A5. Más de 5000 exoplanetas ...ahí fuera

Más allá de los 5000 exoplanetas...

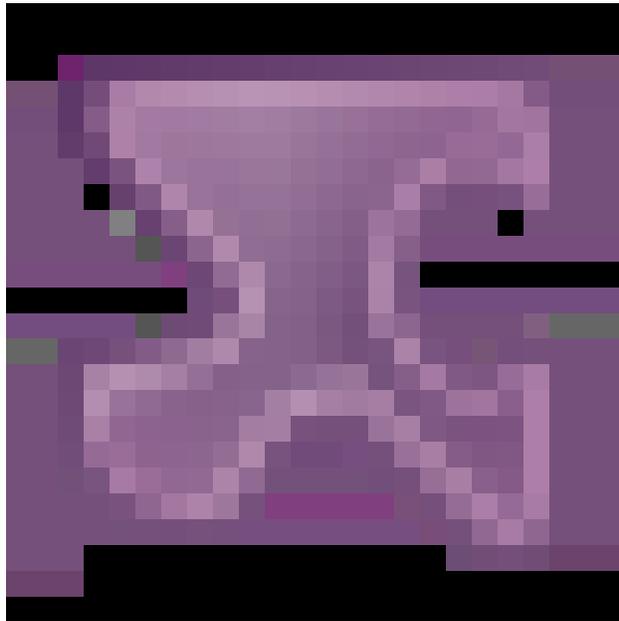


Figura 1. ¿Cómo son los planetas fuera de nuestro sistema solar, o exoplanetas? En esta ilustración se muestra una variedad de posibilidades. Los científicos descubrieron los primeros exoplanetas en la década de 1990. A partir de 2022, el recuento es de poco más de 5000 exoplanetas confirmados. Crédito: NASA/JPL-Caltech.

No hace mucho tiempo, vivíamos en un universo con solo una pequeña cantidad de planetas conocidos, todos ellos en órbita alrededor de nuestro sol. Pero una nueva serie de descubrimientos marca un punto alto científico: ahora se confirma que existen más de 5,000 planetas más allá de nuestro sistema solar.

Esta semana, el día del cumpleaños de cierto profesor de Física y Química (el 21 de Marzo), el recuento oficial de exoplanetas conocidos le dio una alegría y superó la cifra mágica de 5000. El odómetro planetario giró el 21 de marzo, con el último lote de 65 exoplanetas, planetas fuera de nuestra familia solar inmediata, agregados al Archivo de Exoplanetas de la NASA. El archivo registra los descubrimientos de exoplanetas que aparecen en artículos científicos revisados por pares y que han sido confirmados utilizando múltiples métodos de detección o mediante técnicas analíticas. Los más de 5000 planetas encontrados hasta ahora incluyen mundos pequeños y rocosos como la Tierra, gigantes gaseosos muchas veces más grandes que Júpiter y "Júpiter calientes" en órbitas abrasadoramente cercanas alrededor de sus estrellas. Hay "súper-Tierras", que son posibles mundos rocosos más grandes que el nuestro, y "mini-Neptunos", versiones

más pequeñas del Neptuno de nuestro sistema. Agregue a la mezcla planetas que orbitan dos estrellas a la vez y planetas que orbitan obstinadamente los restos colapsados de estrellas muertas.



Vídeo 1. La cuenta de exoplanetas pasa la cifra de 5000. Y sigue sumando...

"No es solo un número", dijo Jessie Christiansen, directora científica del archivo y científica investigadora del Instituto de Ciencias de Exoplanetas de la NASA en Caltech en Pasadena. "Cada uno de ellos es un mundo nuevo, un planeta completamente nuevo. Me emociono con cada uno porque no sabemos nada sobre ellos". Los astrónomos ahora han confirmado más de 5,000 exoplanetas, o planetas más allá de nuestro sistema solar. Eso es solo una fracción de los probables cientos de miles de millones en nuestra galaxia. Los conos del descubrimiento de exoplanetas se irradian desde el planeta Tierra, como los rayos de una rueda. Muchos más descubrimientos esperan. Crédito: NASA/JPL-Caltech.

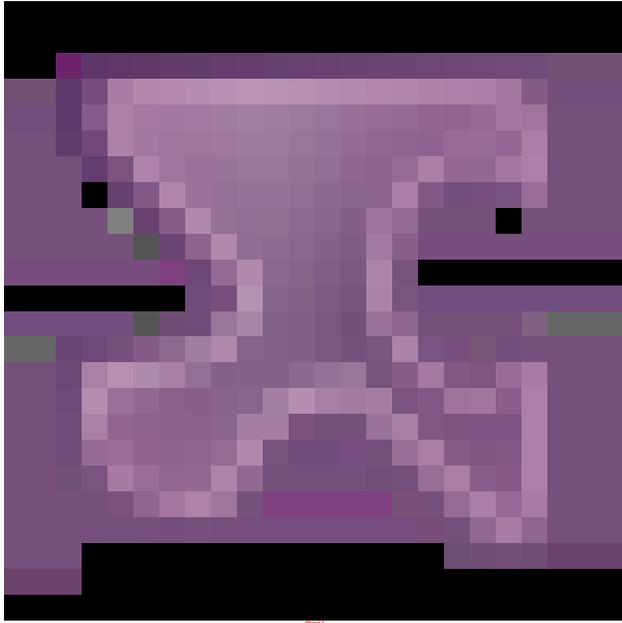
Por un lado, no hay nada especial en 5000 frente a 4900 ó 5100, pero por otro lado, cruzar este umbral es una indicación de lo lejos que hemos llegado y de lo rápido que cambiarán las cosas en el futuro. Aunque durante mucho tiempo se pensó que existían exoplanetas, no fue hasta 1992 que se descubrió el primer exoplaneta. Sorprendentemente, no orbitaba una estrella similar al Sol, sino un púlsar o remanente estelar. El planeta fue descubierto midiendo el cambio en las ráfagas de radio del púlsar. A medida que el planeta tiraba del púlsar a lo largo de su órbita, la sincronización de los pulsos se hizo ligeramente más larga o más corta debido al bamboleo orbital del púlsar.

Sabemos esto: nuestra galaxia probablemente contiene cientos de miles de millones de esos planetas. El ritmo constante del descubrimiento comenzó en 1992 con mundos nuevos y extraños que orbitaban una estrella aún más extraña. Era un tipo de estrella de neutrones conocida como púlsar, un cadáver estelar que gira rápidamente y pulsa con ráfagas de milisegundos de radiación abrasadora. La medición de ligeros cambios en el tiempo de los pulsos permitió a los científicos revelar planetas en órbita alrededor del púlsar. Encontrar solo tres planetas alrededor de esta estrella giratoria esencialmente abrió las compuertas, dijo Alexander Wolszczan, el autor principal del artículo que, hace 30 años, reveló los primeros planetas confirmados fuera de nuestro sistema solar.

"Si puedes encontrar planetas alrededor de una estrella de neutrones, los planetas tienen que estar básicamente en todas partes", dijo Wolszczan. "El proceso de producción de planetas tiene que ser muy robusto". Wolszczan, quien todavía busca exoplanetas como profesor en Penn State, dice que estamos abriendo una era de descubrimiento que irá más allá de simplemente agregar nuevos planetas a la lista. El Satélite de Sondeo de Exoplanetas en Tránsito (Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS), lanzado en 2018, continúa descubriendo nuevos exoplanetas. Su misión es similar a la de Kepler pero examina un área del cielo cuatro veces más grande. Otras misiones como Gaia también son capaces de descubrir exoplanetas. Combinado con misiones terrestres, el recuento total a partir de este escrito es de 5005 exoplanetas confirmados y 8709 mundos candidatos por verificar. Hemos descubierto planetas terrestres que orbitan estrellas enanas rojas, Júpiteres calientes que orbitan cerca de sus soles y súper-Tierras como ningún otro mundo en nuestro sistema solar. Hemos aprendido mucho en 30 años.

Pero pronto, los poderosos telescopios de próxima generación y sus instrumentos altamente sensibles, comenzando con el Telescopio Espacial James Webb lanzado recientemente, captarán la luz de las atmósferas de los exoplanetas, leyendo qué gases están presentes para identificar potencialmente signos reveladores de condiciones habitables.

El Telescopio Espacial Nancy Grace Roman, que se lanzará en 2027, hará nuevos descubrimientos de exoplanetas utilizando una variedad de métodos. La misión ARIEL de la ESA (Agencia Espacial Europea), que se lanzará en 2029, observará atmósferas de exoplanetas; una pieza de tecnología de la NASA a bordo, llamada CASE, ayudará a concentrarse en las nubes y neblinas de exoplanetas.



Vídeo 2. En esta animación, los exoplanetas están representados por notas musicales tocadas a lo largo de décadas de descubrimiento. Los círculos muestran la ubicación y el tamaño de la órbita, mientras que su color indica el método de detección. Las notas más bajas significan órbitas más largas, las notas más altas significan órbitas más cortas. Crédito: NASA/JPL-Caltech/SYSTEM Sounds (M. Russo y A. Santaguida)

"En mi opinión, es inevitable que encontremos algún tipo de vida en alguna parte, muy probablemente de algún tipo primitivo", dijo Wolszczan. La estrecha conexión entre la química de la vida en la Tierra y la química que se encuentra en todo el universo, así como la detección de moléculas orgánicas generalizadas, sugiere que la detección de la vida misma es solo cuestión de tiempo, agregó.

¿Cómo encontrar otros mundos?

La imagen no siempre se veía tan brillante. El primer planeta detectado alrededor de una estrella similar al Sol, en 1995, resultó ser un Júpiter caliente: un gigante gaseoso de aproximadamente la mitad de la masa de nuestro propio Júpiter en una órbita extremadamente cercana de cuatro días alrededor de su estrella. Un año en este planeta, en otras palabras, dura solo cuatro días.

Posteriormente, los astrónomos ópticos utilizaron un método similar, midiendo el pequeño desplazamiento Doppler de una estrella debido al bamboleo en la velocidad radial de una estrella. Durante la primera década del descubrimiento de exoplanetas, el método pulsar y el método de la velocidad radial fueron las únicas formas en que se descubrieron los exoplanetas. En 2002, se confirmaron casi 90 exoplanetas, la mayoría

de ellos orbitando estrellas de la secuencia principal. En la segunda década, se comenzaron a descubrir exoplanetas utilizando el método de tránsito. Este enfoque mide el brillo de una estrella a lo largo del tiempo, buscando una ligera caída en su brillo. Si un planeta pasa por delante de su estrella desde nuestro punto de vista, bloquea parte de la luz que vemos. Al observar caídas regulares en el brillo de una estrella, los astrónomos pueden verificar la presencia de un planeta en tránsito. Este método es bastante efectivo y para 2012 el número de planetas conocidos había aumentado a casi 800. El primer gran salto en el descubrimiento de exoplanetas fue posible gracias al Telescopio Espacial Kepler. Lanzado en 2009, la misión principal de Kepler era medir el brillo de miles de estrellas en una pequeña porción del cielo. Para 2015, Kepler había descubierto más de mil exoplanetas solo, y los astrónomos ahora podían usar análisis estadísticos para los tipos de planetas y las características orbitales más comunes en los sistemas estelares.

Más planetas de este tipo aparecieron en los datos de los telescopios terrestres una vez que los astrónomos aprendieron a reconocerlos: primero docenas, luego cientos. Fueron encontrados usando el método de "bamboleo": rastreando ligeros movimientos hacia adelante y hacia atrás de una estrella, causados por tirones gravitacionales de los planetas en órbita. Pero aun así, nada parecía probable que fuera habitable. Encontrar mundos pequeños y rocosos más parecidos al nuestro requirió el próximo gran salto en la tecnología de búsqueda de exoplanetas: el método de "tránsito". Al astrónomo William Borucki se le ocurrió la idea de conectar detectores de luz extremadamente sensibles a un telescopio y luego lanzarlo al espacio. El telescopio observaría durante años un campo de más de 170000 estrellas, en busca de pequeños descensos en la luz estelar cuando un planeta cruzara la cara de una estrella.

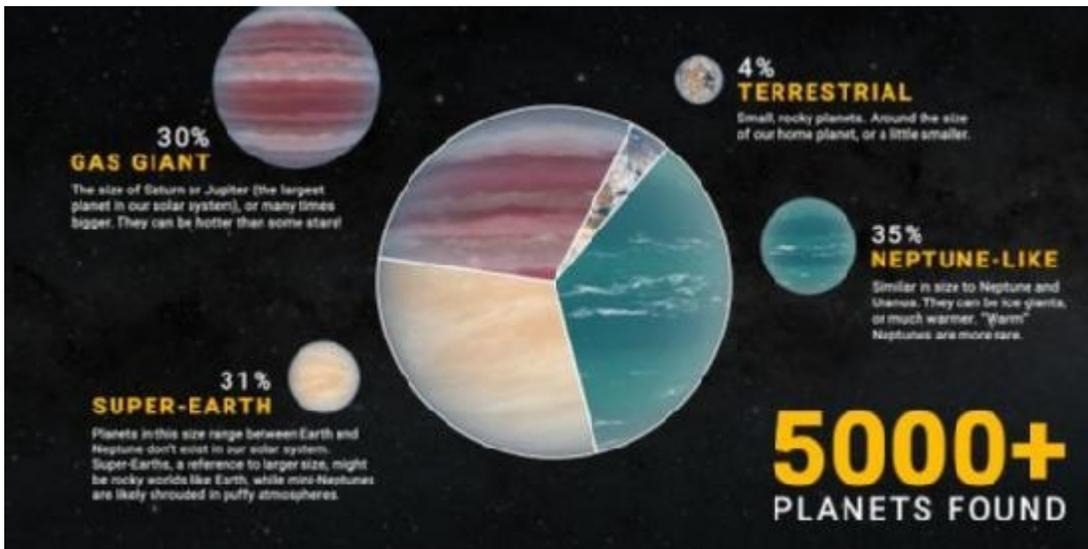


Figura 2. Los más de 5000 exoplanetas confirmados en nuestra galaxia hasta ahora incluyen una variedad de tipos, algunos que son similares a los planetas de nuestro sistema solar, otros muy diferentes. Entre estos hay una variedad misteriosa conocida como "súper-Tierras" porque son más grandes que nuestro mundo y posiblemente rocosas. [Crédito: NASA/JPL-Caltech.](https://www.nasa.gov/credit/nasa-jpl-caltech)

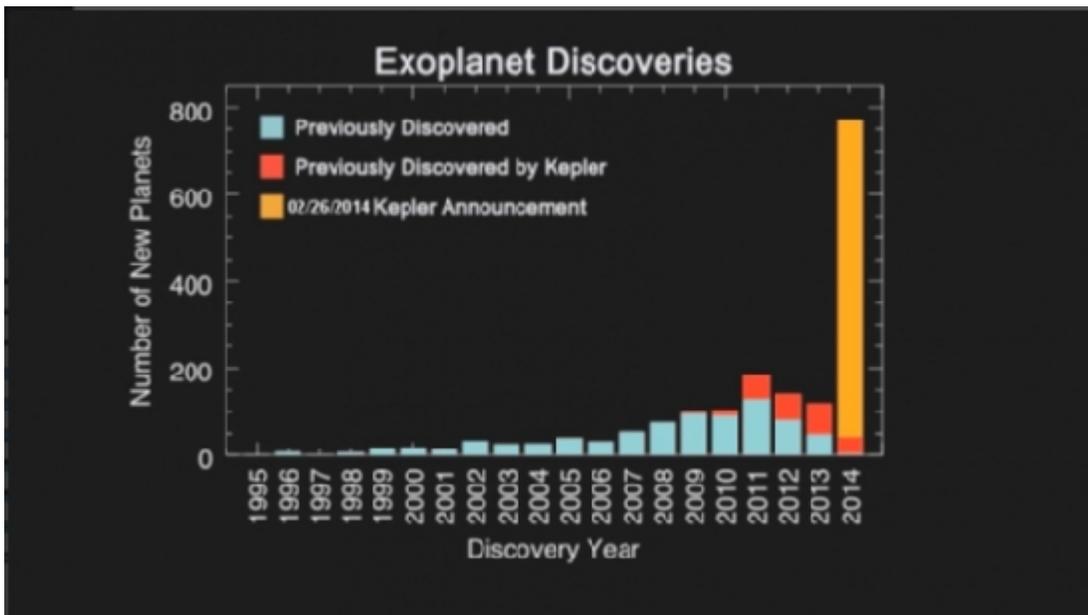


Figura 3. Kepler revolucionó los descubrimientos de exoplanetas. Crédito: NASA Ames/SETI/J Rowe.

Esa idea se realizó en el Telescopio Espacial Kepler. Borucki, investigador principal de la misión Kepler, ahora retirada, dice que su lanzamiento en 2009 abrió una nueva ventana al universo. "Tengo una verdadera sensación de satisfacción y de asombro por lo

que hay", dijo. "Ninguno de nosotros esperaba esta enorme variedad de sistemas planetarios y estrellas. Es simplemente asombroso".

Pero el verdadero salto en nuestra comprensión de los exoplanetas apenas comienza. Hay potencialmente cientos de miles de millones de planetas solo en nuestra galaxia. Nuevas misiones como el Telescopio Espacial James Webb y el Telescopio Espacial Romano Nancy Grace planeado no solo descubrirán más planetas, sino que nos permitirán sondear las atmósferas de estos mundos. Así como ahora sabemos el rango de masa y temperatura que pueden tener los planetas, pronto sabremos su variedad de cielos y si las atmósferas similares a la Tierra son comunes o raras. Incluso podemos encontrar las primeras señales de vida en otros mundos. Cinco mil planetas es un hito increíble. Pero puedes estar seguro de que llegarás a diez mil mundos antes de lo que piensas.

Referencias

[1] *Exoplanet exploration, NASA interactive site counter*, URL: <https://exoplanets.nasa.gov/discovery/discoveries-dashboard/>

[2] *It's Confirmed. We now Know of More Than 5,000 Exoplanets*, Brian Koberlein para Universe Today, 22 de Marzo de 2022. URL: <https://www.universetoday.com/155095/its-confirmed-we-now-know-of-more-than-5000-exoplanets/>

[3] *Cosmic milestone: NASA confirms 5,000 exoplanets* by Jet Propulsion Laboratory, 21 de Marzo de 2022. Disponible en Phys.org, URL: <https://phys.org/news/2022-03-cosmic-milestone-nasa-exoplanets.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A6. Monopolos magnéticos en diamantes

Un extraño monopolos observado en un diamante: cuando la teoría de cuerdas inspira la simulación cuántica, por la Universidad libre de Bruselas.



Figura 1. Crédito: Pixabay/CC0 Dominio público. ¿Son los diamantes eternos?

Los físicos teóricos introducen rutinariamente partículas y campos ficticios en sus cálculos, con el fin de completar una teoría o simplemente para hacerla más elegante. Un ejemplo llamativo se refiere al monopolio magnético imaginado por Dirac en 1931: una fuente puntual de campo magnético, que está ausente en el electromagnetismo clásico. Si bien el monopolio de Dirac nunca se observó en la naturaleza, aparece artificialmente en varios entornos físicos, en particular, en estado sólido. En 2018, Giandomenico Palumbo y Nathan Goldman (Facultad de Ciencias, ULB) propusieron un esquema experimental mediante el cual se pueden crear y observar en el laboratorio monopolos "tensores" exóticos, introducidos inicialmente en la teoría de cuerdas. Estos monopolos de tensor son fuentes puntuales de campos magnéticos generalizados (conocidos como campos de Kalb-Ramond) que viven en un espacio de cuatro dimensiones, y aparecen naturalmente en el marco matemático de la teoría de cuerdas. El resultado central de Palumbo-Goldman, publicado en *Physical Review Letters* en 2018, es que los monopolos tensoriales se pueden crear artificialmente mediante la manipulación de un sistema cuántico simple, como un átomo de tres niveles acoplado por láser. En una nueva publicación en *Science*, el equipo de Paola Cappellaro (MIT) describe la implementación experimental del modelo Palumbo-Goldman, así como la observación y caracterización del monopolio tensorial asociado. En este experimento, el equipo manipula un átomo artificial realizado por un defecto en el diamante (un centro vacante de nitrógeno o centro NV). Usando esta configuración cuántica altamente controlable, los experimentadores prepararon el monopolio sintético, midieron el campo de Kalb-

Ramond que emanaba y determinaron la carga cuantificada del monopolio (un número entero establecido por topología). Este trabajo ilustra cómo se puede explotar un simulador cuántico con vistas al estudio de estructuras físicas abstractas y complejas, introducidas inicialmente en el contexto de la física matemática.

Referencias

[1] Mo Chen et al, *A synthetic monopole source of Kalb-Ramond field in diamond*, Science (2022). Una fuente monopolar sintética del campo Kalb-Ramond en diamantes, Science (2022). DOI: [10.1126/ciencia.abe6437](https://doi.org/10.1126/ciencia.abe6437) También disponible en arXiv.org <https://arxiv.org/pdf/2008.00596.pdf>

[2] *A strange monopole observed in diamond: When string theory inspires quantum simulation*

by Université libre de Bruxelles. URL: <https://phys.org/news/2022-03-strange-monopole-diamond-theory-quantum.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A7. La velocidad del sonido en Marte.

Velocidad del sonido medida en Marte,

22 de marzo de 2022, Physics 15, 43.



Figura 1. El rover Perseverance de la NASA usa micrófonos para grabar sonidos en Marte que los investigadores han usado para medir la velocidad del sonido en ese



planeta.

Figura 2. Marte. Crédito: Pixabay/CC0. Dominio público (Credit: Pixabay/CC0 Public Domain).

Los investigadores realizaron las primeras mediciones de la velocidad del sonido en Marte, revelando que la temperatura del planeta rojo fluctúa en una escala de tiempo más rápida de lo que se pensaba.

El pasado mes de Febrero, Internet se inundó de sonidos extraterrestres después de que el rover Perseverance de la NASA transmitiera las primeras grabaciones de audio del planeta rojo. Los científicos ahora han analizado grabaciones adicionales realizadas por el rover, usándolas para medir la velocidad del sonido en Marte por primera vez. Los resultados, que fueron presentados hace dos semanas por Baptiste Chide en la 53ª Conferencia de Ciencias Planetarias y Lunares en Texas, confirman una peculiaridad predicha de la atmósfera de Marte. Los datos de sonido también proporcionan un nuevo método para medir la temperatura de la atmósfera del planeta, complementando el indicador de temperatura principal del rover. La presión atmosférica en la superficie de Marte es de 6 mbar, una pequeña fracción de la de la Tierra, y algunos científicos pensaron que la atmósfera sería demasiado delgada para propagar las ondas de sonido de manera efectiva. “Nos dijeron que no había nada que registrar en Marte”, dice Chide,

que trabaja en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, Nuevo México. “Pero claramente ese no es el caso”. La primera grabación del rover reveló un profundo ruido retumbante del viento marciano, y las grabaciones posteriores capturaron el sonido de las vibraciones de las ruedas en movimiento del rover. Las grabaciones que analizaron Chide y sus colegas son las que capturan sonidos de golpeteo cuando el rover golpea rocas con un láser. Estos disparos de láser son parte del experimento SuperCam, que investiga la geología de la superficie al registrar tanto la luz como el sonido de una roca impactada con láser. El micrófono de la SuperCam se encuentra a 2,1 m sobre la superficie del planeta. Chide y sus colegas pueden determinar la velocidad del sonido en Marte utilizando el tiempo de retraso entre el láser que golpea una roca y los toques resultantes que llegan al micrófono.

El análisis da que la velocidad del sonido en Marte es de unos 240 m/s, lo que la hace significativamente más lenta que la velocidad del sonido de 340 m/s en la Tierra. Pero la velocidad del sonido marciano no es constante en toda la gama de frecuencias medidas por el micrófono. Alrededor de los 400 Hz, la velocidad del sonido aumenta repentinamente en 10 m/s. Predicho por la teoría, este salto es una característica única en Marte: la velocidad del sonido es relativamente constante en la Tierra en frecuencias audibles para los humanos. El salto a 400 Hz podría dificultar que los humanos en Marte mantengan conversaciones o escuchen música a través de un altavoz. “Los sonidos se distorsionarían”, dice Chide, porque las frecuencias altas llegarían a tus oídos antes que las frecuencias bajas. La composición de la atmósfera de Marte, que es principalmente dióxido de carbono, agrega otra peculiaridad: las frecuencias altas están más atenuadas que las frecuencias bajas. Tratar de hablar con alguien a unos metros de distancia sonaría como si estuvieras “conversando a través de una pared”, dice Chide. “Escucharías principalmente las frecuencias graves”. Además de estudiar las propiedades del sonido, el equipo usó las grabaciones para probar la temperatura de la superficie de Marte. La velocidad del sonido se puede convertir en temperatura con relativa facilidad, dice Chide, utilizando la ley de los gases ideales y la velocidad del viento, algo que Perseverance también mide. Esas conversiones indican que la temperatura de Marte sufre fluctuaciones significativas de hasta 10 K/s. El rover tiene otro instrumento de medición de temperatura, llamado MEDA, que también detecta fluctuaciones pero con menos resolución de tiempo. “Nuestra técnica nos permite estudiar los cambios de temperatura con mucho más detalle”, dice Chide.

Ahora que el equipo ha demostrado este método de detección de la velocidad del sonido, Chide dice que "la diversión realmente comenzará". El equipo planea realizar mediciones en el transcurso de un año marciano completo para ver si la velocidad del sonido cambia durante los meses de invierno o durante la temporada de tormentas de polvo. También planean usar las grabaciones láser para probar las propiedades físicas de la roca que golpea el láser. Mirando más allá, Chide espera que estas mediciones fomenten más investigaciones sobre la propagación del sonido en diferentes planetas. "Hemos demostrado que podemos hacer ciencia atmosférica con acústica", dice Chide. "Espero que las próximas misiones a Marte, Venus y Titán incluyan micrófonos, son la próxima generación de instrumentos planetarios". –Katherine Wright. Katherine Wright es la editora adjunta de Physics APS.

Referencias

[1] *Sound Speed Measured on Mars*, March 22, 2022• Physics 15, 43. Katherine Wright. URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/43> Disponible también en pdf aquí: <https://physics.aps.org/articles/pdf/10.1103/Physics.15.43>

[2] *Analysis of sounds captured by Perseverance rover reveals speed of sound on the Red Planet*,
by Bob Yirka, Phys.org, 23 de Marzo de 2022. URL: <https://phys.org/news/2022-03-analysis-captured-perseverance-rover-reveals.html>

[3] *Listen to Audio From Perseverance*. Escucha al sonido desde el Perseverance. Sonidos de Marte, disponible en la URL de la misión Perseverance: <https://mars.nasa.gov/mars2020/multimedia/audio/>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A8. El telescopio espacial Nancy Grace Roman.

La misión Nancy Grace Roman de la NASA probará teorías competidoras de la aceleración cósmica

por Ashley Balzer, Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA.

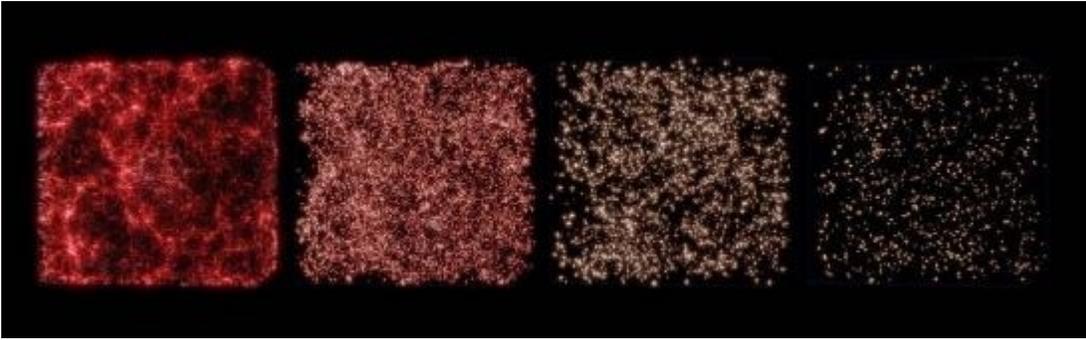
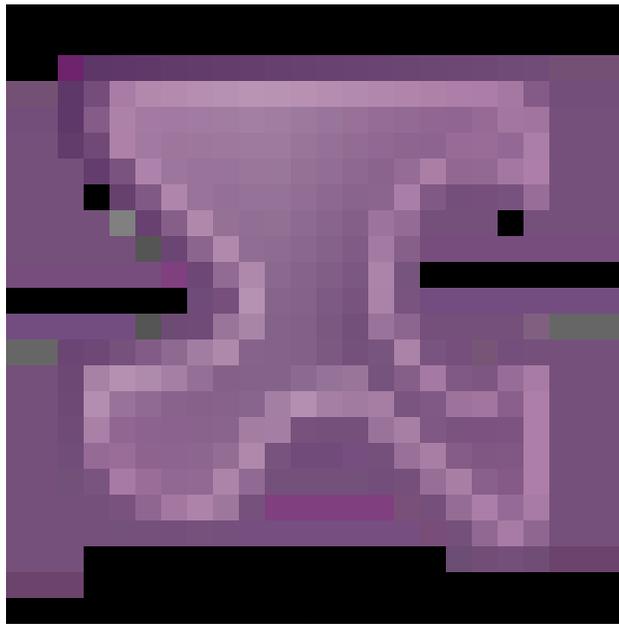


Figura 1. Estos 4 cubos muestran la distribución simulada de galaxias con corrimientos al rojo 9, 8, 5, 3, 2 y 1, con las edades cósmicas correspondientes mostradas. A medida que el universo se expande, la densidad de galaxias dentro de cada cubo disminuye, de más de medio millón en la parte superior izquierda a unas 80 en la parte inferior derecha. Cada cubo tiene unos 100 millones de años luz de diámetro. Galaxias ensambladas a lo largo de vastas hebras de gas separadas por grandes vacíos, una estructura similar a la espuma resonó en el universo actual en grandes escalas cósmicas. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/F. Reddy y Z. Zhai, Y. Wang (IPAC) y A. Benson (Observatorios Carnegie).

Un equipo de científicos ha predicho el retorno científico de uno de los estudios planificados innovadores del Telescopio Espacial Nancy Grace Roman de la NASA, que analizará millones de galaxias esparcidas por el espacio y el tiempo. Los panoramas enormes y profundos de la misión brindarán la mejor oportunidad hasta ahora para discernir entre las principales teorías sobre lo que está acelerando la expansión del universo. Roman explorará este misterio utilizando múltiples métodos, incluida la espectroscopia, el estudio de la información de color en la luz. Esta técnica permitirá a los científicos medir con precisión qué tan rápido se expandió el universo en diferentes eras cósmicas y rastrear cómo ha evolucionado el universo.

"Nuestro estudio pronostica la ciencia que permitirá la encuesta de espectroscopia de Roman y muestra cómo varios ajustes podrían optimizar su diseño", dijo Yun Wang, científico investigador principal de Caltech/IPAC en Pasadena, California, y autor principal del estudio. Como Centro Roman de Apoyo a la Ciencia, IPAC será responsable del procesamiento de datos científicos espectroscópicos de la misión, mientras que el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial en Baltimore será responsable del procesamiento de datos científicos de imágenes, la generación de catálogos y el soporte para las canalizaciones de procesamiento de datos cosmológicos. "Si bien esta encuesta está diseñada para explorar la aceleración cósmica, también

ofrecerá pistas sobre muchos otros misterios tentadores. Nos ayudará a comprender la primera generación de galaxias, nos permitirá mapear la materia oscura e incluso revelará información sobre estructuras que están mucho más cerca. a casa, justo en nuestro grupo local de galaxias". El Telescopio Espacial Nancy Grace Roman, cuyo lanzamiento está previsto para mayo de 2027, proporcionará una vista tan enorme del universo que ayudará a los científicos a estudiar los misterios cósmicos de una manera sin precedentes. Cada imagen contendrá medidas precisas de tantos objetos celestes que permitirá estudios estadísticos que no son prácticos usando telescopios con vistas más estrechas.



Vídeo 1. Este video se disuelve entre seis cubos para mostrar la distribución simulada de galaxias en corrimientos al rojo 9, 7, 5, 3, 2 y 1, con las edades cósmicas correspondientes mostradas. A medida que el universo se expande, la densidad de galaxias dentro de cada cubo disminuye, desde más de medio millón en el primer cubo hasta unas 80 en el último. Cada cubo tiene unos 100 millones de años luz de diámetro. Galaxias ensambladas a lo largo de vastas hebras de gas separadas por grandes vacíos, una estructura similar a la espuma resonó en el universo actual en grandes escalas cósmicas. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/F. Reddy y Z. Zhai, Y. Wang (IPAC) y A. Benson (Observatorios Carnegie).

Leyendo el arco iris

Casi toda la información que recibimos del espacio proviene de la luz. Roman usará la luz para capturar imágenes, pero también estudiará la luz dividiéndola en colores

individuales. Los patrones de longitud de onda detallados, llamados espectros, revelan información sobre el objeto que emitió la luz, incluida la rapidez con la que se aleja de nosotros. Los astrónomos llaman a este fenómeno "desplazamiento hacia el rojo" porque cuando un objeto retrocede, todas las ondas de luz que recibimos de él se estiran y se desplazan hacia longitudes de onda más rojas.

En la década de 1920, los astrónomos Georges Lemaître y Edwin Hubble utilizaron desplazamientos hacia el rojo para hacer el sorprendente descubrimiento de que, con muy pocas excepciones, las galaxias se alejan de nosotros y entre sí a diferentes velocidades dependiendo de su distancia. Al determinar la rapidez con la que las galaxias se alejan de nosotros, impulsadas por la incesante expansión del espacio, los astrónomos pueden averiguar qué tan lejos están: cuanto más se desplaza hacia el rojo el espectro de una galaxia, más lejos está. El estudio de espectroscopia de Roman creará un mapa 3D del universo midiendo distancias y posiciones precisas de millones de galaxias. Aprender cómo varía la distribución de las galaxias con la distancia y, por lo tanto, con el tiempo, nos dará una idea de qué tan rápido se expandió el universo en diferentes eras cósmicas. Este estudio también conectará las distancias de las galaxias con los ecos de las ondas de sonido justo después del Big Bang. Estas ondas de sonido, llamadas oscilaciones acústicas bariónicas (BAO), han crecido con el tiempo debido a la expansión del espacio y han dejado su huella en el cosmos al influir en la distribución de las galaxias. Para cualquier galaxia moderna, es más probable que encontremos otra galaxia a unos 500 millones de años luz de distancia que encontrar una un poco más cerca o más lejos. Mirando más lejos en el universo, a tiempos cósmicos anteriores, significa que esta distancia física preferida entre las galaxias, el vestigio de las ondas BAO, disminuye. Esto proporciona una medida de la historia de expansión del universo. Los corrimientos al rojo de las galaxias también codifican información sobre su movimiento debido a la gravedad de sus vecinos, llamadas distorsiones del espacio del corrimiento al rojo, lo que ayuda a los astrónomos a rastrear la historia de crecimiento de la estructura a gran escala. Aprender sobre la forma en que se ha expandido el cosmos y cómo ha crecido la estructura dentro de él a lo largo del tiempo permitirá a los científicos explorar la naturaleza de la aceleración cósmica y probar la teoría de la gravedad de Einstein sobre la edad del universo.

Energía oscura versus gravedad modificada

A medida que el universo se expande, la gravedad de la materia dentro de él debería ralentizar esa expansión. Los astrónomos se sorprendieron al saber que la expansión del universo se está acelerando porque significa que algo en nuestra imagen del cosmos está mal o está incompleto. El misterio podría explicarse agregando un nuevo componente de energía al universo, que los científicos han denominado energía oscura, o podría indicar que la teoría de la gravedad de Einstein, la teoría general de la relatividad, necesita una modificación. Cambiar las ecuaciones que describen algo tan fundamental como la gravedad puede parecer extremo, pero ya se ha hecho antes. La ley de la gravedad de Isaac Newton no pudo explicar algunas de las cosas que observaron los astrónomos, como un pequeño pero misterioso movimiento en la órbita de Mercurio. Los astrónomos finalmente se dieron cuenta de que la teoría general de la relatividad de Einstein explicaba perfectamente los problemas que habían surgido, como el cambio orbital de Mercurio. Pasar de la descripción de la gravedad de Newton a la de Einstein implicó transformar la física moderna al cambiar la forma en que vemos el espacio y el tiempo:

interconectados, en lugar de separados y constantes.

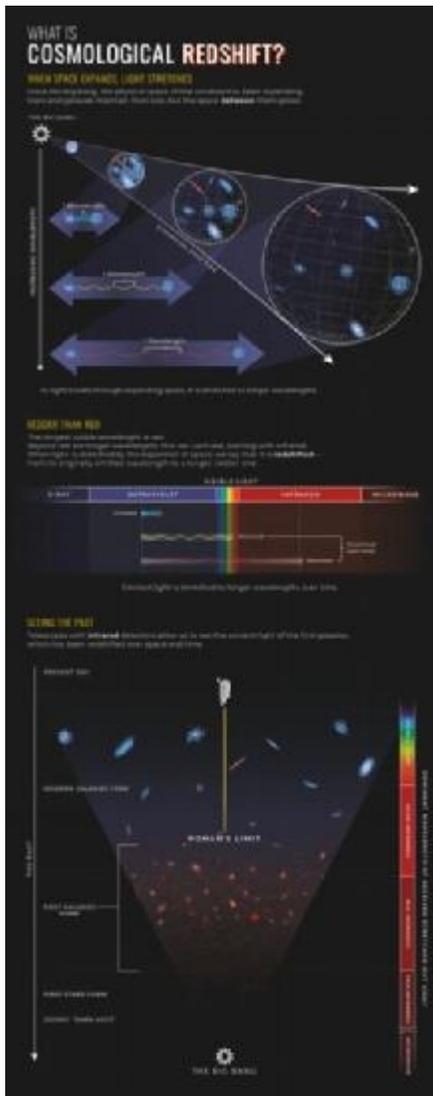


Figura 2. Este gráfico ilustra cómo funciona el corrimiento al rojo cosmológico y cómo ofrece información sobre la evolución del universo. El universo se está expandiendo, y esa expansión estira la luz que viaja por el espacio. Cuanto más se ha estirado, mayor es el corrimiento al rojo y mayor la distancia que ha viajado la luz. Como resultado, necesitamos telescopios con detectores infrarrojos para ver la luz de las primeras galaxias más distantes. [Crédito: NASA, ESA, Leah Hustak \(STScI\).](#)

La aceleración cósmica podría ser una señal de que la teoría de la gravedad de Einstein todavía no es del todo correcta. La relatividad general está extremadamente bien probada en escalas físicas sobre el tamaño de nuestro sistema solar, pero menos a medida que avanzamos a escalas cosmológicas más grandes. El equipo simuló el desempeño de Roman y demostró que las enormes y profundas imágenes en 3D del universo de la misión brindarán una de las mejores oportunidades hasta ahora para discernir entre las principales teorías que intentan explicar la aceleración cósmica. "Podemos esperar una nueva física en cualquier caso, ya sea que aprendamos que la aceleración cósmica es causada por la energía oscura o que descubramos que tenemos que modificar la teoría de la gravedad de Einstein", dijo Wang. "Roman probará ambas teorías al mismo tiempo". El Telescopio Espacial Nancy Grace Roman se administra en el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA en Greenbelt, Maryland, con la participación del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA y Caltech/IPAC en el sur de California, el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial en Baltimore y un equipo científico compuesto por científicos de varias instituciones de investigación. Los principales socios industriales son Ball Aerospace and Technologies Corporation en Boulder, Colorado; L3Harris Technologies en Melbourne, Florida; y Teledyne Scientific & Imaging en Thousand Oaks, California.

Referencias

[1] *NASA's Roman mission will test competing cosmic acceleration theories*, by Ashley Balzer, NASA's Goddard Space Flight Center. 22 de Marzo de 2022. Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-03-nasa-roman-mission-cosmic-theories.html>

[2] Yun Wang et al, The High Latitude Spectroscopic Survey on the Nancy Grace Roman Space Telescope, *The Astrophysical Journal* (2022). DOI: [10.3847/1538-4357/ac4973](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac4973)

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A9. Simetría, superconductividad y física de Mott

Nexos entre simetría, superconductividad y física de aislantes de Mott



Figura 1. Superconductor. Credit: CC0 Public Domain. Crédito: CC0, Dominio Público.

Considerada inicialmente como una curiosidad científica tras su descubrimiento en 1911 por Heike Kamerlingh Onnes, la superconductividad ha proporcionado a los físicos numerosos desafíos teóricos y sorpresas experimentales. Desde el desarrollo de la teoría de Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) en la Universidad de Illinois Urbana-Champaign en 1957 hasta el descubrimiento de la cerámica de cuprato superconductora de alta temperatura en 1987, la superconductividad sigue llamando la atención por su importancia científica y su potencial. aplicaciones

Hoy en día, la superconductividad a alta temperatura es uno de los mayores problemas sin resolver de la física de la materia condensada. Los investigadores continúan con la sólida tradición de descubrimientos revolucionarios de Illinois en este campo: los físicos de Illinois han descubierto recientemente una conexión clave entre la simetría y la física de Mott (la física subyacente a los superconductores de alta temperatura).

Estos hallazgos teóricos del investigador principal y profesor de física de Illinois Philip Phillips, la profesora de investigación de matemáticas de Illinois Gabriele La Nave y el investigador postdoctoral de física de Illinois Edwin Huang, publicados el 21 de marzo

de 2022 en la revista *Nature Physics*, representan un gran paso hacia la comprensión de la superconductividad a altas temperaturas.

De los líquidos de Fermi a las simetrías rotas

Los cupratos, una clase de superconductores de alta temperatura, tienen el récord de la temperatura de transición superconductor más alta a presión ambiental: estos son los llamados aislantes de Mott. En estos materiales, los electrones interactúan fuertemente, a diferencia de los metales normales que se mueven de forma independiente, como se describe en la teoría del líquido de Fermi. Los trabajos anteriores que abordan la física de Mott se han ocupado de las interacciones fuertes centrándose en modelos analíticamente intratables, como el modelo de Hubbard. Estos enfoques deben recurrir a simulaciones numéricas debido a la complejidad inherente de los modelos. Ahora, los investigadores de Illinois han encontrado una descripción universal más simple que explica la física de Mott con hermosos detalles. Phillips dice: "Las interacciones hacen que el problema de la superconductividad sea bastante intratable. Lo que encontramos es una solución alternativa. Encontramos una simetría simplificadora que nos permite pensar en las interacciones de una manera nueva". Los premios Nobel Philip Anderson y Duncan Haldane proporcionaron una pista sobre este método en 2001 cuando descubrieron una simetría al escribir una transformación partícula-agujero que conserva el hamiltoniano de un líquido de Fermi.

Phillips explica: "Anderson y Haldane demostraron que la teoría estándar de los metales, la teoría del líquido de Fermi, contiene una simetría oculta, que está asociada con el intercambio de partículas y agujeros para una sola especie de espín. "Los aisladores Mott a menudo se consideran cosas que no rompen ninguna simetría. Y debido a que no rompen ninguna simetría en esta vista, son difíciles de caracterizar. Lo que descubrimos es que rompen una simetría, es decir, la simetría oculta señalada por Anderson y Haldane". Esta observación resulta ser un paso crucial. La idea clave que hicieron los investigadores en el trabajo actual es que al romper esta simetría, por ejemplo, al agregar o eliminar partículas o agujeros mediante el dopaje, uno "destruye" un líquido de Fermi. Dicho de otra manera, esta observación implica que todos los modelos de aislantes de Mott deben romper esta simetría partícula-agujero.

Descubrimiento de un punto fijo

Para resolver la superconductividad en metales normales, John Bardeen y su equipo consideraron un sistema de electrones que no interactúan y desarrollaron una teoría de la

superconductividad. Para el equipo de Phillips, el objetivo era realizar una construcción análoga comenzando con un aislador Mott y desarrollando una teoría para la superconductividad a alta temperatura. Phillips explica: "Para resolver el problema de la superconductividad a alta temperatura, se debe hacer exactamente lo que Bardeen hizo con los líquidos de Fermi, es decir, metales normales. En otras palabras, se debe demostrar que existe un punto fijo y que la única deformación que destruye es superconductividad". Una vez que los investigadores reconocieron que romper la simetría oculta del líquido de Fermi conduce al aislamiento de Mott, buscaron modelos analíticamente manejables existentes que rompieran esta simetría y pudieran conducir a puntos fijos. Phillips continúa: "Luego hicimos la pregunta: '¿Cuál es el modelo más simple que rompe esta simetría?' El resultado es una sorpresa. Se trata de un modelo propuesto en 1992 que, una vez más, nadie se tomó en serio: el modelo Hatsugai-Kohmoto. Hasta hace poco, la forma más popular de abordar la superconductividad a alta temperatura y la física de Mott ha sido el modelo de Hubbard. Desafortunadamente, los resultados rigurosos para este modelo son difíciles y, a veces, imposibles de obtener. El modelo de Hubbard se puede resolver exactamente solo en el caso unidimensional. El modelo Hatsugai-Kohmoto (HK), por otro lado, es atractivo por su simplicidad. Phillips y su equipo proporcionaron previamente una solución exacta del modelo HK en aislantes de Mott dopados y demostraron que surge una superconductividad no BCS. En su última publicación, los investigadores demostraron que el modelo HK es el modelo más simple que rompe la simetría partícula-agujero. Para llevar a cabo esta tarea, los investigadores rastrearon aquellas simetrías que sobrevivieron a la transición de metal a aislante de Mott. Descubrieron que el modelo HK rompe precisamente la misma simetría oculta esbozada por Anderson y Haldane en los líquidos de Fermi, lo que demuestra que el modelo HK conduce a un aislante de Mott. En particular, demostraron que el modelo HK presenta la interacción correcta, y la única relevante, requerida para el aislamiento de Mott. Más importante aún, demostraron que la simetría rota define un nuevo punto fijo, una pieza crítica del rompecabezas para resolver el problema de la superconductividad a alta temperatura.

Para ilustrar la noción de un punto fijo, uno podría tomar un líquido de Fermi, un sistema de partículas que no interactúan, e introducir interacciones repulsivas de corto alcance. Sin embargo, se recupera un líquido de Fermi al introducir tales interacciones. Es decir, un líquido de Fermi es fijo, o estable, en el espacio de estados bajo cualquier perturbación de este tipo. Una forma de escapar de este punto fijo del líquido de Fermi

es permitir que los electrones interactúen entre sí por pares, un proceso conocido como emparejamiento de Cooper, para lograr un estado superconductor, tal como lo describieron Bardeen, Cooper y Schrieffer en 1957. Otra forma de escapar es rompiendo la simetría, que es exactamente lo que hizo el equipo de Phillips. Los autores también demostraron que el modelo Hubbard también rompe la simetría partícula-agujero. Por lo tanto, el modelo HK subsume el modelo Hubbard y sus implicaciones, ilustrando la generalidad del modelo HK. "Nuestros resultados muestran que el modelo HK es una forma general de comprender cómo se rompe un líquido de Fermi con esta simetría oculta que se señaló en 2001. Ahora entendemos que es un punto fijo, lo que nos coloca en un régimen de espacio de fase completamente diferente. de los líquidos de Fermi", señala Phillips. Este resultado es un gran descubrimiento, ya que alivia la confianza excesiva que los teóricos han tenido en modelos complicados como el modelo de Hubbard. Además, este descubrimiento es un excelente ejemplo de universalidad, ya que el modelo HK es capaz de explicar la superconductividad a alta temperatura en general. En términos más técnicos, esto significa que los modelos Hubbard y HK se encuentran en la misma clase de universalidad, un objetivo principal de la mecánica estadística y la teoría de grupos de renormalización. Por fin, una respuesta al problema de asimetría partícula-agujero El trabajo de los investigadores se enfrenta directamente a un problema esbozado por Anderson, quien señaló el fracaso de la comunidad de física de la materia condensada para abordar la ruptura de la simetría entre partículas y agujeros en sistemas fuertemente correlacionados. En sus "Últimas palabras sobre los cupratos", publicado en 2016, Anderson escribió: "Sigo desconcertado por la negativa casi universal de los teóricos a confrontar este hecho evidente de asimetría entre partículas y agujeros".

Para ilustrar la noción de un punto fijo, uno podría tomar un líquido de Fermi, un sistema de partículas que no interactúan, e introducir interacciones repulsivas de corto alcance. Sin embargo, se recupera un líquido de Fermi al introducir tales interacciones. Es decir, un líquido de Fermi es fijo, o estable, en el espacio de estados bajo cualquier perturbación de este tipo. Una forma de escapar de este punto fijo del líquido de Fermi es permitir que los electrones interactúen entre sí por pares, un proceso conocido como emparejamiento de Cooper, para lograr un estado superconductor, tal como lo describieron Bardeen, Cooper y Schrieffer en 1957. Otra forma de escapar es rompiendo la simetría, que es exactamente lo que hizo el equipo de Phillips. Los autores también

demonstraron que el modelo Hubbard también rompe la simetría partícula-agujero. Por lo tanto, el modelo HK subsume el modelo Hubbard y sus implicaciones, ilustrando la generalidad del modelo HK. "Nuestros resultados muestran que el modelo HK es una forma general de comprender cómo se rompe un líquido de Fermi con esta simetría oculta que se señaló en 2001. Ahora entendemos que es un punto fijo, lo que nos coloca en un régimen de espacio de fase completamente diferente. de los líquidos de Fermi", señala Phillips. Este resultado es un gran descubrimiento, ya que alivia la confianza excesiva que los teóricos han tenido en modelos complicados como el modelo de Hubbard. Además, este descubrimiento es un excelente ejemplo de universalidad, ya que el modelo HK es capaz de explicar la superconductividad a alta temperatura en general. En términos más técnicos, esto significa que los modelos Hubbard y HK se encuentran en la misma clase de universalidad, un objetivo principal de la mecánica estadística y la teoría de grupos de renormalización.

Por fin, una respuesta al problema de asimetría partícula-agujero

El trabajo de los investigadores se enfrenta directamente a un problema esbozado por Anderson, quien señaló el fracaso de la comunidad de física de la materia condensada para abordar la ruptura de la simetría entre partículas y agujeros en sistemas fuertemente correlacionados. En sus "Últimas palabras sobre los cupratos", publicado en 2016, Anderson escribió: "Sigo desconcertado por la negativa casi universal de los teóricos a confrontar este hecho evidente de asimetría entre partículas y agujeros".

Ahora, después de haber demostrado que el modelo HK rompe esta simetría, lo que conduce a la física de Mott, la base de la superconductividad a alta temperatura, Phillips y su equipo son optimistas de que su trabajo servirá como una plataforma controlada para delinear cómo emerge la superconductividad de un Mott dopado. aislante. Esperan usar su modelo para cerrar la brecha entre la superconductividad de los modelos HK y Hubbard, y así dar una solución al problema de la superconductividad a alta temperatura. Comentando por qué los teóricos de la materia condensada han tardado tanto en darse cuenta de la conexión simetría-punto fijo, Phillips especula: "Los físicos pensaron que la única forma de obtener la física de Mott era resolver el modelo de Hubbard, pero no es necesario un modelo tan complicado como ese. Cuando se propuso el modelo de HK, muchos lo vieron como una curiosidad y lo ignoraron. No sabían que rompía una simetría ni que creaba un punto fijo. No sabían que este modelo era bastante generalmente ofrece una puerta de entrada a la violación de la teoría del líquido de Fermi. Nadie siguió esta simetría hasta que lo hicimos nosotros.

"Esa comprensión fue el obstáculo que frenó a todos. Si se hubieran dado cuenta de esta observación clave, la gente habría resuelto el modelo HK hace mucho tiempo y habría visto que hay dos clases de superconductores: los que se encuentran en la categoría BCS y los que se encuentran en la categoría de superconductores de alta temperatura. Y eso es lo que hicimos".

Referencias

[1] *Physicists elucidate connection between symmetry and Mott physics*, by University of Illinois at Urbana-Champaign. 22 de Marzo de 2022. Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-03-physicists-elucidate-symmetry-mott-physics.html>

[2] Edwin W. Huang et al, *Discrete symmetry breaking defines the Mott quartic fixed point*, Nature Physics (2022). DOI: [10.1038/s41567-022-01529-8](https://doi.org/10.1038/s41567-022-01529-8)

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A10. Los próximos telescopios: en busca de las exotecnocivilizaciones.

Los telescopios de próxima generación podrían buscar civilizaciones inteligentes directamente

por Evan Gough, Universe Today, 24 de Marzo de 2022.

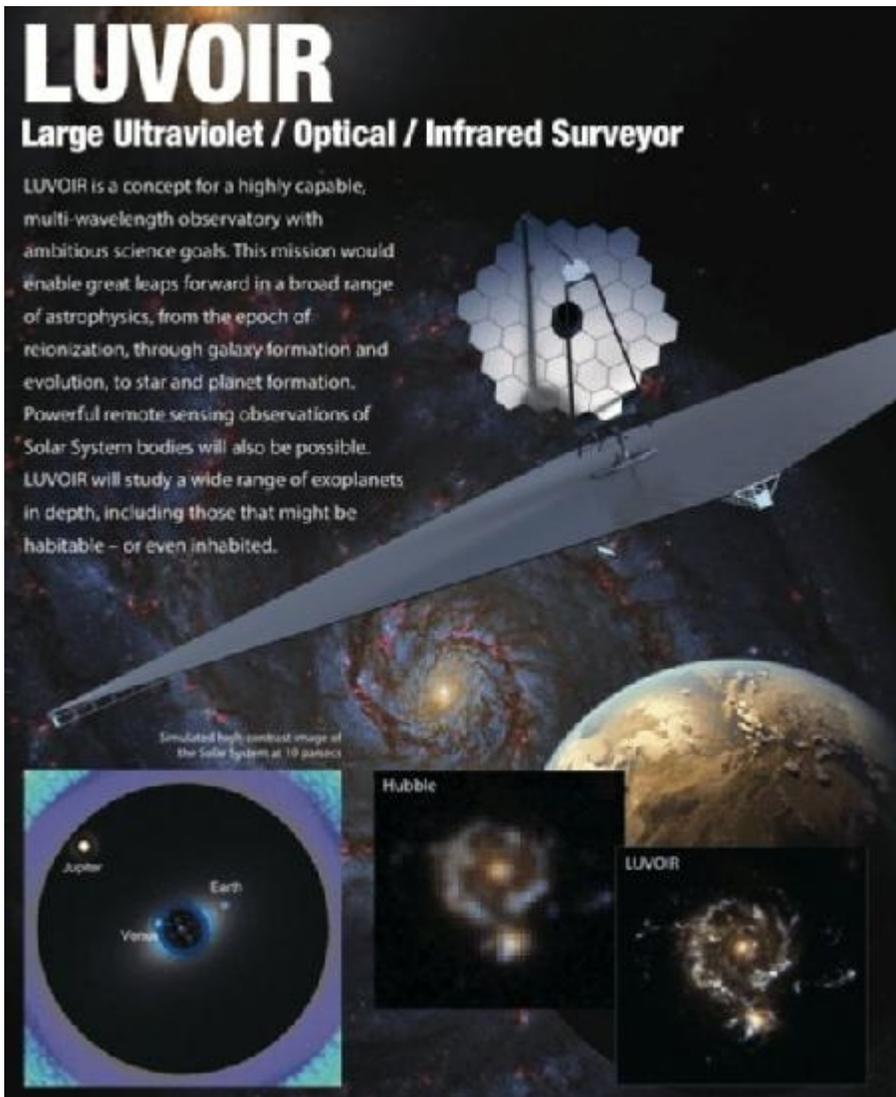


Figura 1. Un póster conceptual para la misión del telescopio LUVOIR de la NASA. LUVOIR verá en óptica, ultravioleta e infrarrojo, lo que lo convierte en un telescopio potente y versátil. Crédito: NASA/GSFC.

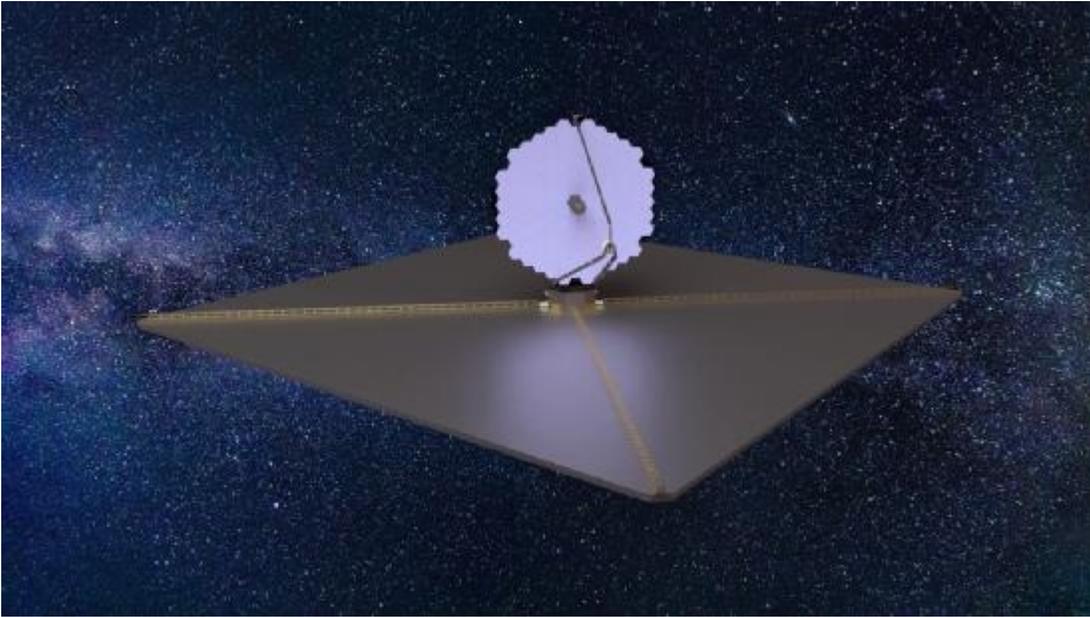


Figura 2. Una imagen artística y más escalada del concepto de telescopio LUVOIR.

Todavía estamos en los primeros días de la búsqueda de vida en otros lugares. El rover Perseverance se dirige a un paleo-delta en Marte para buscar signos fosilizados de vida bacteriana antigua. SETI ha estado observando el cielo con antenas de radio, escuchando señales de mundos distantes. Nuestros telescopios están comenzando a escanear las atmósferas de exoplanetas distantes en busca de firmas biológicas.

Pronto, daremos otro paso adelante en la búsqueda cuando nuevos y poderosos telescopios comiencen a buscar no solo vida sino también otras civilizaciones. La búsqueda de firmas biológicas está cobrando impulso. Si podemos encontrar indicios atmosféricos de vida en otro planeta o luna, cosas como el metano y el óxido nitroso y una serie de otros compuestos químicos, entonces podemos preguntarnos si los seres vivos los produjeron. Pero la búsqueda de firmas tecnológicas eleva el nivel del juego. Solo una civilización tecnológica puede producir tecnofirmas o tecnoseñales.

Las firmas tecnológicas son simplemente los efectos de la tecnología en un entorno. La luz de ciudades masivas, sustancias químicas atmosféricas particulares e incluso satélites que orbitan un planeta son firmas tecnológicas. El abuelo de todas las firmas tecnológicas es probablemente la esfera Dyson. Una esfera de Dyson es una megaestructura hipotética que rodea una estrella y captura su producción de energía solar. La idea es que a medida que crece una civilización, sus necesidades de energía se dispararán, y la única forma de reunir la energía que requiere la civilización es rodear su estrella con una esfera de recolección de energía.

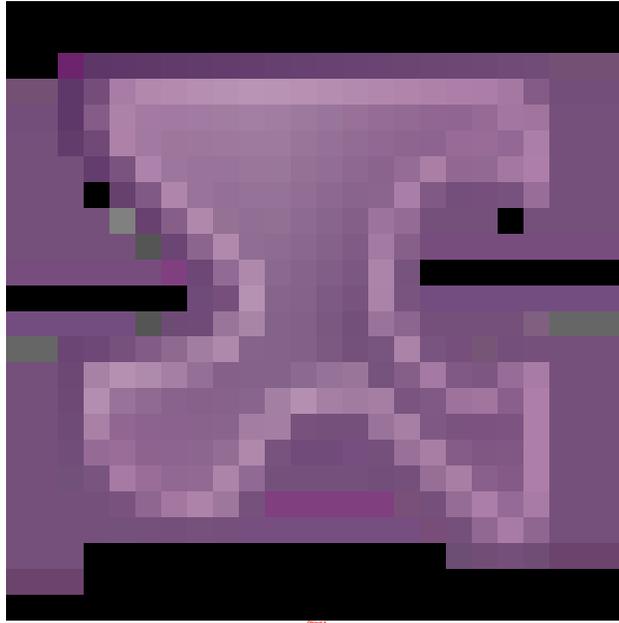
En 2021, las Academias Nacionales de Ciencias publicaron su Encuesta decadal sobre astronomía y astrofísica 2020, llamada Astro2020. Publican uno cada 10 años, y cada encuesta describe los desafíos críticos en astrofísica y astronomía para la próxima década. Astro2020 contiene varias recomendaciones que pueden avanzar en la búsqueda de tecnofirmas. Un grupo de trabajo de la NASA ha publicado un libro blanco que profundiza en la parte de firma tecnológica de Astro2020. El documento se titula "Oportunidades para la ciencia tecnológica en el Informe Astro2020"/"Opportunities for Technosignature Science in the Astro2020 Report." Proviene de Nexus for Exoplanet System Science (NExSS). NExSS es un grupo multidisciplinario que incluye científicos de la Tierra, científicos planetarios, heliofísicos y astrofísicos. Aportan un enfoque colaborativo y sintetizado a la búsqueda de biofirmas y tecnofirmas.

"Las tecnofirmas se refieren a cualquier manifestación observable de tecnología extraterrestre, y la búsqueda de tecnofirmas es parte del continuo de la búsqueda astrobiológica de biofirmas", dice el documento. "La búsqueda de firmas tecnológicas es directamente relevante para el tema 'Mundo y soles en contexto' y el programa 'Caminos hacia mundos habitables' en el informe Astro2020". El libro blanco tiene como objetivo "... demostrar la relevancia de la ciencia de la firma tecnológica para una amplia gama de misiones..." El grupo NExSS insta a la comunidad científica en general a incluir la búsqueda de firmas tecnológicas en el diseño y la implementación de proyectos como LUVOIR, ELT, infrarrojos y observatorios de rayos X y otras instalaciones similares.

LUVOIR (Large Ultraviolet Optical Infrared Surveyor) es un concepto de telescopio de la NASA en dos tamaños propuestos. LUVOIR-A es un diseño de espejo de 15 metros y LUVOIR-B es un diseño de ocho metros. Gracias a sus capacidades de múltiples longitudes de onda, es un diseño poderoso y versátil con muchas aplicaciones. Estaría situado en L2 pero sería útil como lo fue el Hubble. ASTRO2020 se centra en el aspecto de firma biológica de LUVOIR en la búsqueda de planetas habitables, pero menciona firmas tecnológicas un par de veces. Los autores de este nuevo white paper apuntan que LUVOIR sería una herramienta eficaz en la búsqueda de tecnofirmas. "La contaminación industrial representa una clase de componentes atmosféricos en la Tierra que posiblemente podrían ser firmas tecnológicas si se observan en los espectros de un exoplaneta", escriben. "Un ejemplo es el dióxido de nitrógeno (NO_2), que tiene grandes fuentes en la Tierra a partir de la combustión que son mayores que las fuentes no antropogénicas".

El NO_2 es un buen caso de estudio en escenarios de detección. Los niveles elevados de NO_2 en la atmósfera de un planeta pueden indicar actividad industrial. Pero también hay fuentes naturales, y cualquier detección debería estudiarse cuidadosamente en caso de falsos positivos. Este es el mismo problema al que se enfrentan las detecciones de firmas biológicas: deben ser inequívocas. Pero ya sea que una señal sea un falso positivo o no, primero debe detectarse. Los autores del libro blanco creen que LUVOIR puede detectar NO_2 y, para fortalecer su caso, citan estudios previos que muestran que LUVOIR podría detectar con éxito NO_2 en las atmósferas de los exoplanetas. "Un estudio realizado por Kopparapu et al. (2021) mostró que las características de absorción de NO_2 ... podrían detectarse con el Topógrafo Infrarrojo Óptico Ultravioleta Grande. Kopparapu et al. (2021) descubrió que un telescopio similar a LUVOIR de 15 m podría detectar la Tierra-niveles similares de NO_2 para un planeta alrededor de una estrella similar al Sol a 10 PC (~33 años luz) con ~400 horas de observación".

El libro blanco también aborda cómo LUVOIR podría detectar firmas tecnológicas más útiles, como señales láser y balizas ópticas. "Las balizas ópticas podrían proporcionar un medio rentable de comunicación dirigida entre sistemas exoplanetarios, que podrían codificarse y transmitirse a través de pulsos rápidos de nanosegundos", afirma el documento. LUVOIR también podría ayudar con esto al colocar "... restricciones en la prevalencia de balizas ópticas y otras señales de láser pulsado". Los autores combinan la detección de balizas ópticas con la detección y caracterización de planetas rocosos habitables y dicen que LUVOIR es una herramienta poderosa para estas detecciones. "Misiones espaciales como el telescopio IR/O/UV podrían proporcionar restricciones de detectabilidad sobre la prevalencia de las balizas ópticas en los sistemas exoplanetarios", escriben. "... las balizas ópticas de potencia relativamente baja podrían detectarse con el telescopio IR/O/UV para la mayoría o todos los objetivos donde también es posible la caracterización de planetas rocosos dentro de la ZH".



Vídeo 1. Buscando tecnoseñales o tecnofirmas de civilizaciones extraterrestres (en inglés).

Los telescopios extremadamente grandes (ELT) también pueden desempeñar un papel en la búsqueda de firmas tecnológicas. Un ELT es un telescopio con un espejo primario de más de ocho metros. Ocho metros es una limitación de diseño porque los espejos de los telescopios más grandes son pesados y se deforman. Los ELT sortean esa limitación física con espejos segmentados. El European Extremely Large Telescope (E-ELT) es el ejemplo más conocido de un ELT y debería ver su primera luz en 2027, pero el libro blanco menciona explícitamente otros dos ELT. Uno es el Telescopio Magallanes Gigante (GMT), y el otro es el Telescopio de Treinta Metros (TMT). Juntos, los ELT que vean la primera luz durante la próxima década serán poderosos motores para el avance de los objetivos científicos. El libro blanco amplía el papel de los ELT en la búsqueda de firmas tecnológicas. "El GMT y el TMT son proyectos en curso que se han estado desarrollando durante muchos años", dice el documento. "Estas instalaciones terrestres podrían ser capaces de caracterizar las atmósferas de los planetas terrestres descubiertos por misiones como TESS y CHEOPS en longitudes de onda ópticas e infrarrojas cercanas".

Las enanas rojas son el tipo de estrella más predominante, pero su luz es más tenue, lo que las convierte en objetivos más desafiantes. El GMT y el TMT deberían poder estudiar las atmósferas de los exoplanetas alrededor de las enanas rojas. "Las posibles

firmas tecnológicas espectrales, como la contaminación atmosférica y las balizas ópticas... también podrían verse limitadas por las observaciones de los sistemas exoplanetarios por parte de los ELT".

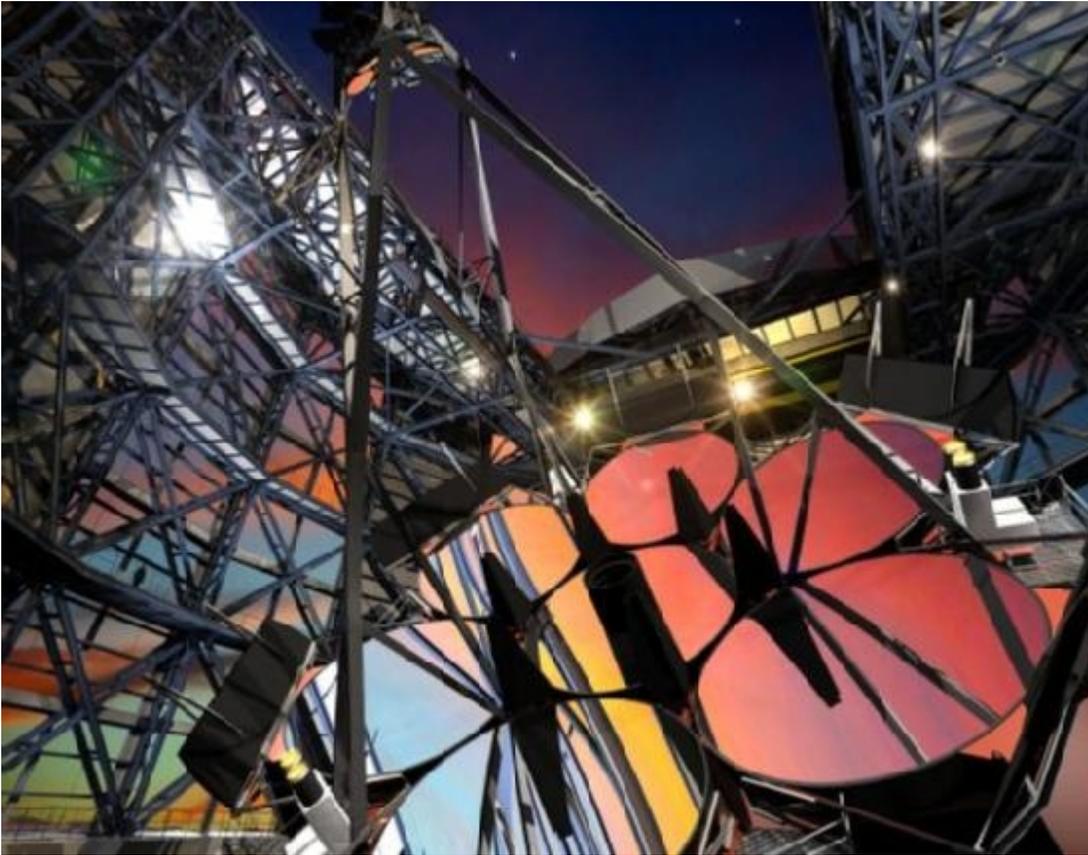


Figura 3. Esta ilustración muestra cómo se verá el Telescopio Magallanes Gigante cuando esté en línea. Cada uno de sus siete segmentos es una pieza de vidrio de 20 toneladas. Tendrá capacidades de imagen inigualables que ayudarán en la búsqueda de firmas tecnológicas. Imagen: Telescopio Magallanes Gigante – GMTO Corporation.

El libro blanco también habla de sondas de infrarrojo lejano (FIR). Hay brechas en nuestras capacidades de observación, y las sondas FIR son una de esas brechas. Deben ser instalaciones basadas en el espacio para ser efectivas, y podrían desempeñar un papel crucial en la búsqueda de firmas tecnológicas. "... el rango de longitud de onda antes mencionado es emocionante para el llamado artefacto SETI, cuyo ejemplo más conocido son las esferas de Dyson, las megaestructuras de recolección de energía concebidas por Olaf Stapledon y formalizadas por su epónimo Freeman Dyson".

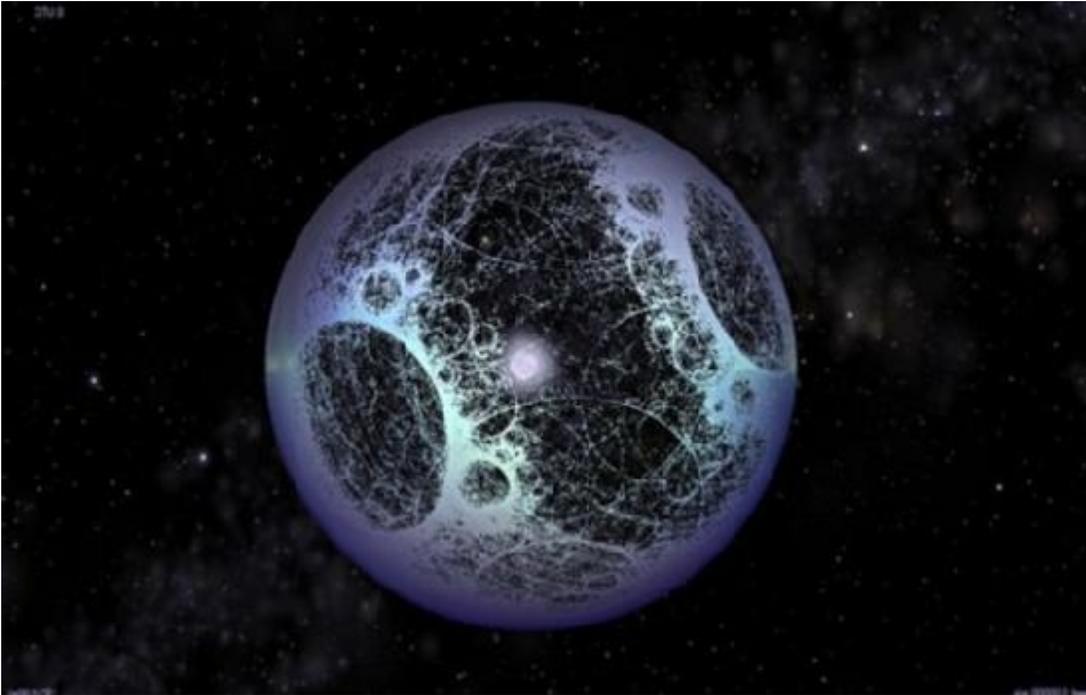


Figura 4. Esfera de Dyson. Impresión artística de una Esfera Dyson de tipo fractal. La construcción de una estructura de ingeniería tan masiva crearía una firma tecnológica que la humanidad podría detectar. Crédito: [SentientDevelopments.com/Eburacum45](https://www.sentientdevelopments.com/eburacum45).

En 1960, Dyson publicó su artículo "Búsqueda de fuentes estelares artificiales de radiación infrarroja". Como deja claro el título, la radiación IR es clave para detectar este tipo de megaestructura. Una esfera de Dyson recolectaría una enorme cantidad de energía, una cantidad casi inconcebible, y el proceso sin duda produciría algo de calor residual. Es posible que una sonda FIR no detecte el calor residual debido a las longitudes de onda involucradas, pero podría descartar otras fuentes FIR y agilizar la búsqueda. "Sin embargo, una esfera de Dyson normalmente no tendría mucha emisión de infrarrojo lejano, a diferencia del polvo. Por lo tanto, las capacidades de IR lejano ofrecen una forma de reducir significativamente el problema de los factores de confusión, como los discos protoplanetarios". Las sondas infrarrojas también pueden detectar sustancias químicas específicas en las atmósferas de exoplanetas que son fuertes indicaciones de actividad industrial. Los clorofluorocarbonos son una clase de productos químicos. "... ninguna de las vías abióticas o biológicas (pero no tecnológicas) que operan hoy en día puede dar lugar a los clorofluorocarbonos (CFC)", afirma el libro blanco. Los autores dicen que la espectroscopia IR podría detectar los CFC, que pueden persistir en la atmósfera durante decenas de miles de años. El telescopio espacial James Webb puede detectar CFC en algunos casos, pero tiene muchos otros trabajos y

objetivos, por lo que no es un telescopio dedicado a las tecnoseñales.

Más profundo en el papel blanco, las cosas se ponen un poco turbias. Las sondas de rayos X podrían detectar firmas tecnológicas, pero los autores dicen que el tema merece una mayor investigación. Dicen que los rayos X "... no son un 'mensajero' prometedor para las señales artificiales de los ETI, ya que estos últimos se asocian convencionalmente con longitudes de onda de radio (y ópticas)". Pero los rayos X siguen siendo intrigantes debido a las formas novedosas en que una civilización avanzada podría usarlos para crear señales. "Si se arrojara una roca del tamaño de un kilómetro sobre la superficie de una estrella de neutrones, podría generar un intenso pulso de rayos X de $\sim 10^{29}$ W que podría detectarse en toda la Vía Láctea". Eso puede sonar exagerado, pero ¿quién sabe? También dicen que una civilización avanzada podría usar su tecnología para modular las fuentes de rayos X existentes, como los binarios de rayos X, para enviar señales.

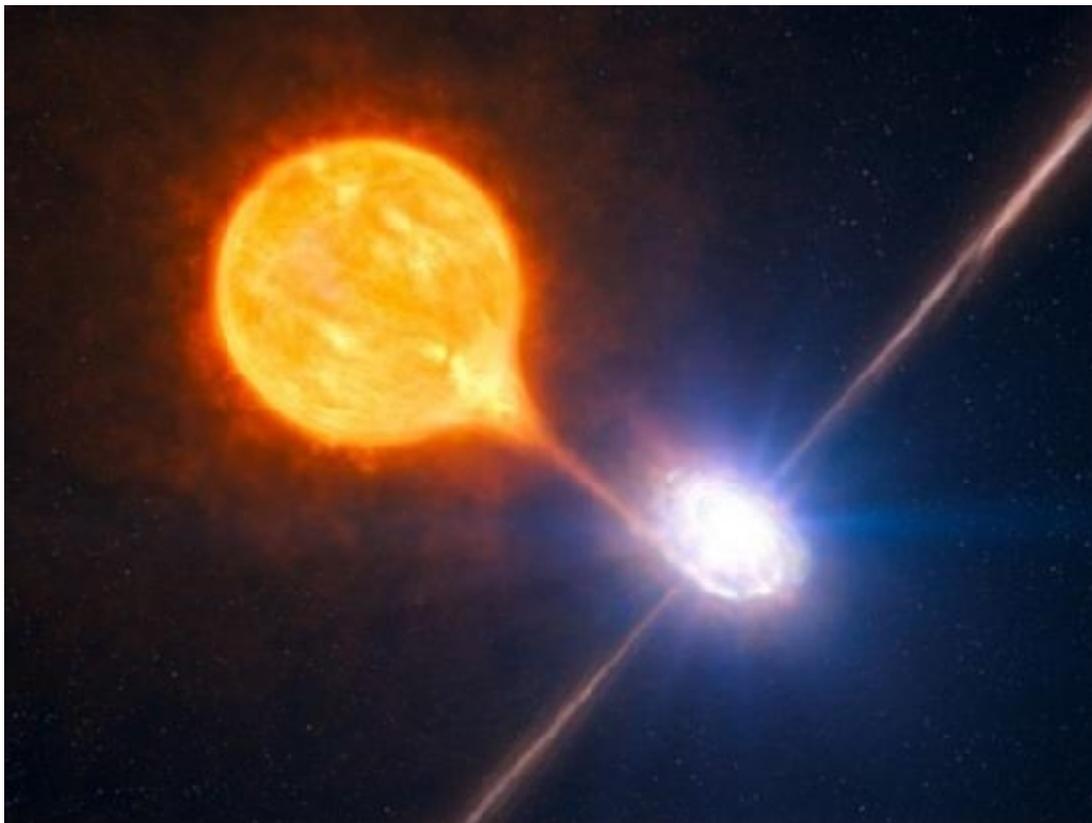


Figura 5. Ilustración de un artista de una estrella binaria de rayos X. A medida que el agujero negro extrae material de la estrella donante, el material se calienta y emite potentes rayos X visibles a grandes distancias. ¿Podría una civilización avanzada usar binarios de rayos X para enviar señales? Crédito de la imagen: NASA.



Figura 6. Algunos científicos se han preguntado si deberíamos construir un potente láser para anunciar nuestra presencia a otras civilizaciones. Si otras civilizaciones han hecho lo mismo, entonces LUVOIR tiene la posibilidad de detectar estas firmas tecnológicas. Imagen: Noticias del MIT.

El libro blanco también cubre la Radioastronomía, el fondo cósmico de microondas y la sincronización de púlsares. Según los autores, cada uno de estos puede formar parte de nuestra búsqueda de tecnofirmas. Este libro blanco es un alegato científico. El informe ASTRO2020 relega la búsqueda de firmas tecnológicas a los apéndices del informe, y los autores del libro blanco esperan aumentar su prominencia. "Las observaciones de tecnofirmas a menudo se pueden realizar de manera comensal con otras observaciones, y muchas búsquedas de tecnofirmas se pueden realizar sin cambiar la arquitectura de misión recomendada", escriben los autores en la conclusión del libro blanco. Señalan que incluir la búsqueda de tecnofirmas no supondría ningún gasto adicional y que la posibilidad de encontrar tecnofirmas es demasiado importante como para ignorarla.

"Este libro blanco recomienda que todas las misiones e instalaciones discutidas anteriormente deberían considerar incluir la búsqueda de firmas tecnológicas como parte del caso científico declarado explícitamente".

Referencias

[1] *Next-generation telescopes could search for intelligent civilizations directly*, by Evan Gough, Universe Today URL: <https://phys.org/news/2022-03-next-generation-telescopes-intelligent-civilizations.html>

[2] Jacob Haqq-Misra et al, *Opportunities for Technosignature Science*, in the Astro2020 Report. arXiv:2203.08968v1 [astro-ph.IM], arxiv.org/abs/2203.08968

[3] *Next Generation Telescopes Could Search for Intelligent Civilizations Directly*, Posted on March 23, 2022 by Evan Gough, para Phys.org. URL: <https://phys.org/news/2022-03-next-generation-telescopes-intelligent-civilizations.html>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A11. Gravitones masivos como materia oscura.

¿Podrían los gravitones masivos ser candidatos viables a la materia oscura?

por Ingrid Fadelli, Phys.org. 23 de Marzo de 2022.

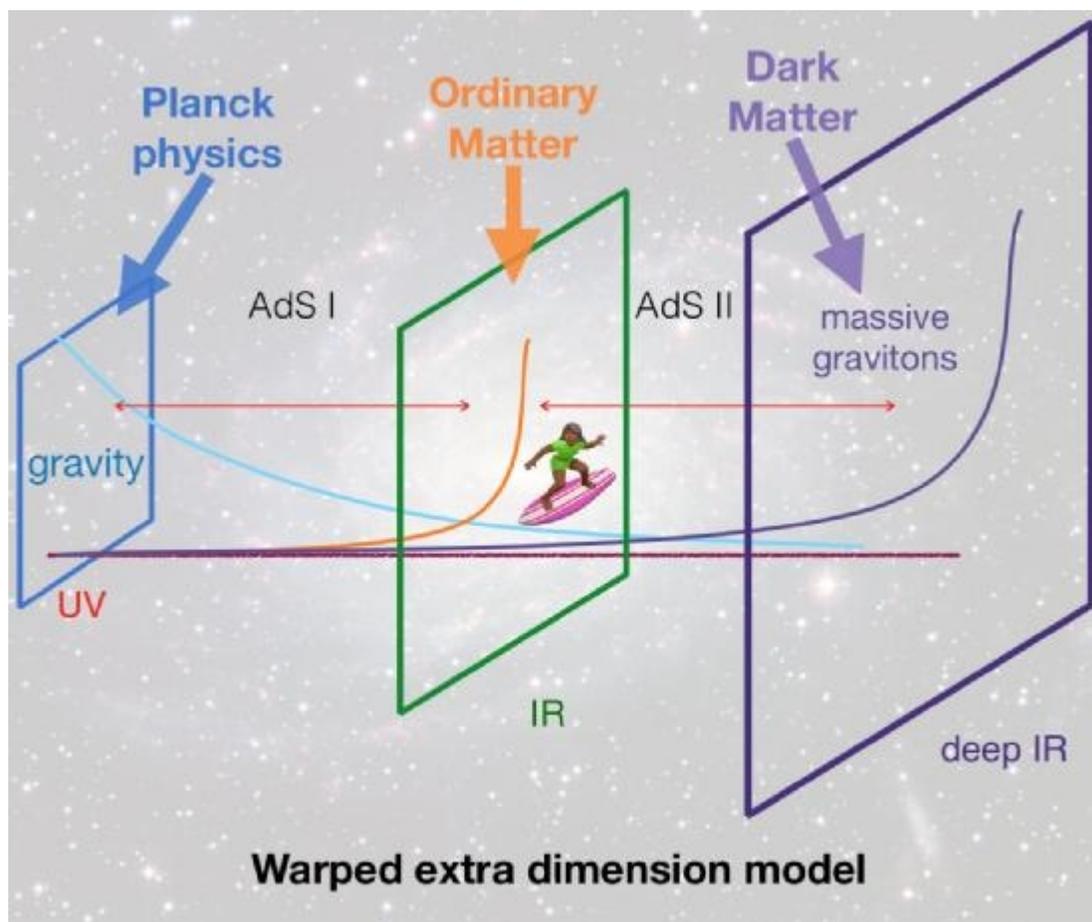


Figura 1. Caricatura del modelo extradimensional deformado, donde la posición a lo largo de la dirección del espacio adicional está representada por el eje horizontal. El espacio-tiempo ordinario está representado por las pantallas ortogonales. La materia ordinaria de la que estamos hechos se localiza en la pantalla central, mientras que Dark Matter vive principalmente en la pantalla derecha. Crédito: Cai, Cacciapaglia y Lee. Se trata de un modelo de dimensiones adicionales de tipo "warped" o deformado, extensión de los modelos denominados Randall-Sundrum(RS), que usa un espacio-tiempo denominado Anti-de Sitter. La Física a escala de Planck de alta energía (UV ultravioleta) se haya separada de nuestro universo por una brana de tipo AdS I, donde vive la materia ordinaria y los campos ordinarios. La brana de tipo AdS II, donde viviría la materia oscura, sería lo que se llama un modelo AdS II, en la Física de baja energía o infrarroja (IR). El puente entre las branas apiladas de Planck, AdS I y AdS II sería la gravedad, que se propagaría entre las 3 branas e incluiría una variante masiva de nuestro gravitón, que podría ser la materia oscura. Detalles en el artículo y referencias a continuación. Las partículas masivas que serían la materia oscura son en el nuevo modelo el radión

(graviescalar de teorías de dimensiones adicionales) y los gravitones masivos de tipo Kaluza-Klein (KK), muy usuales en teorías y modelos de (super)cuerdas.

Hoy en día, muchos equipos de investigación en todo el mundo están tratando de detectar la materia oscura, una sustancia invisible que se cree que representa la mayor parte (80-85%) de la materia del universo. Como no refleja ni emite luz, su presencia se ha revelado indirectamente a través de sus interacciones gravitatorias con la materia visible. Hasta ahora, los candidatos a materia oscura más prometedores son los axiones, los neutrinos y las partículas masivas de interacción débil. Recientemente, sin embargo, algunos físicos también comenzaron a investigar la posibilidad de que otro tipo de partículas hipotéticas, los gravitones masivos, pudieran ser candidatos viables a la materia oscura.

La teoría sugiere que se produjeron gravitones masivos durante las colisiones entre partículas ordinarias en el entorno caliente y denso del Universo primitivo, en los pocos instantes que siguieron al Big Bang. Si bien las teorías predicen su existencia, estas partículas hasta ahora nunca se han detectado directamente. Investigadores de la Universidad de Corea y la Universidad de Lyon han llevado a cabo recientemente un estudio teórico que explora la posibilidad de que los gravitones masivos puedan ser buenos candidatos para la materia oscura. Los resultados de sus cálculos teóricos se publicaron en un artículo en *Physical Review Letters*.

"Nuestro estudio comenzó observando las dimensiones adicionales, particularmente las dimensiones adicionales deformadas, que se han estudiado mucho en los últimos 20 años", dijo a *Phys.org* Giacomo Cacciapaglia, uno de los investigadores que llevó a cabo el estudio. "Cuando la gravedad se propaga en este espacio invisible, materializa gravitones masivos. Su acoplamiento con la materia ordinaria es muy débil, siendo de origen gravitatorio".

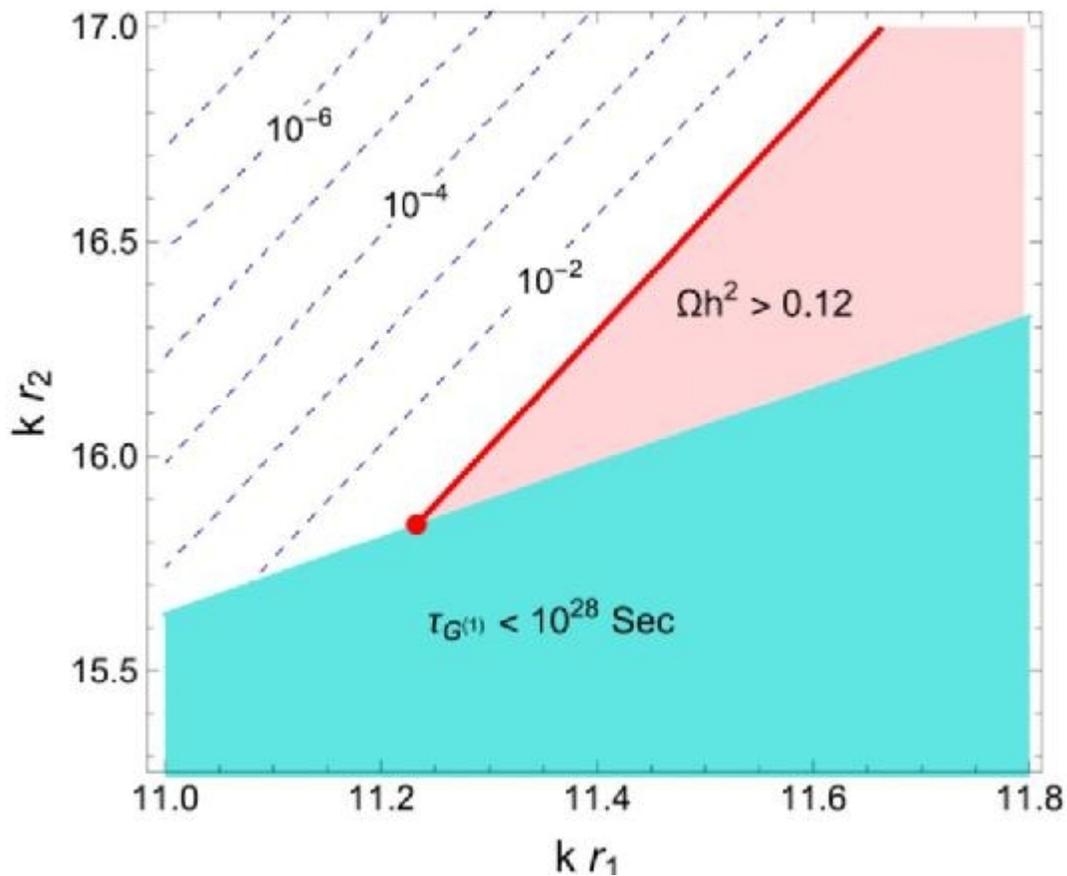


Figura 2. Densidad reliquia del gravitón masivo en el espacio de parámetros del modelo alabeado. Los puntos a lo largo de la línea roja reproducen la Materia Oscura observada en el Universo, mientras que las regiones sombreadas están excluidas. Crédito: Cai, Cacciapaglia y Lee.

El proceso a través del cual teóricamente se producirían gravitones masivos es extremadamente raro. Por esta razón, la tasa a la que se producen estas partículas sería significativamente menor que la tasa de producción de partículas "ordinarias". Cacciapaglia y sus colegas Haiying Cai y Seung Lee se preguntaron si se produjeron suficientes gravitones masivos en el universo primitivo para que se los considerara un buen candidato a materia oscura. "Al calcular la tasa de producción de estas partículas, descubrimos que algunos procesos aumentan por debajo de la escala en la que el bosón de Higgs genera masas para las partículas ordinarias, 1 picosegundo después del Big Bang", dijo Cacciapaglia. "Demostramos que esta mejora es suficiente para crear la cantidad correcta de materia oscura en forma de gravitones masivos con masas por debajo del MeV".

Los cálculos realizados por Cai, Lee y Cacciapaglia muestran que, en lugar de estar asociada con la física desconocida que ocurre poco después del Big Bang, la producción de gravitones masivos es más efectiva por debajo de la escala de energía en la que residen los bosones de Higgs. Los bosones de Higgs son partículas elementales que llevan el campo de Higgs, el campo que da masa a las partículas fundamentales como los electrones y los quarks. "Esto establece una conexión directa entre la física estudiada en el Gran Colisionador de Hadrones en Ginebra y la física de la gravedad y la materia oscura del Universo primitivo", dijo Cacciapaglia. "Nuestros resultados implican que la materia oscura gravitatoria se produce 1 picosegundo después del Big Bang, en un momento en que las teorías actuales describen bien la física de partículas".

En el futuro, los resultados recopilados por este equipo de investigadores podrían inspirar nuevos estudios y cálculos que exploren la producción de gravitones masivos en el universo. Mientras tanto, Cacciapaglia y sus colegas planean construir sobre el modelo teórico presentado en su artículo, al mismo tiempo que evalúan otros candidatos a materia oscura. "Ahora planeamos investigar otras características de un modelo concreto en una dimensión extra deformada que esbozamos en el artículo", agregó Cacciapaglia. "Estamos particularmente interesados en el papel que desempeña una partícula escalar llamada radión y en la capacidad de prueba potencial en los colisionadores de partículas actuales y futuros".

Referencias

[1] *Could massive gravitons be viable dark matter candidates?*, by Ingrid Fadelli, 23 de Marzo de 2022. Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-03-massive-gravitons-viable-dark-candidates.html>

[2] Haiying Cai et al, *Massive Gravitons as Feebly Interacting Dark Matter Candidates*, Physical Review Letters (2022). DOI: [10.1103/PhysRevLett.128.081806](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.081806)

[3] *Massive gravitons as FIMP dark matter candidates*, <https://arxiv.org/pdf/2107.14548.pdf>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A12. ¿Son los electrones agujeros negros o singularidades desnudas?

Las partículas elementales como agujeros negros o singularidades desnudas

El Modelo Estándar de la Física de Altas Energías y partículas subatómicas sigue vigente tras más de medio siglo desde su construcción.

Sin embargo, uno puede cuestionarse si las partículas que lo forman son aún fundamentales o elementales, o estarían hechas de otras partículas más pequeñas confinadas. O incluso, considerar la opción de que todas las partículas sean excitaciones de una sola entidad universal, como propone la teoría de (super)cuerdas.

Otra idea antigua, dentro de poco tiempo casi un siglo de antigüedad, es que las partículas subatómicas sean agujeros negros o incluso singularidades espacio-temporales desnudas. Este artículo, es una discusión libre de esta antigua propuesta.

Aunque un agujero negro puede definirse intuitivamente como una región de la que clásicamente ni la luz, la radiación o la materia puede escapar, hay una definición más rigurosa:

Definition

Let (\mathcal{M}, g) be a spacetime with a conformal completion at null infinity such that \mathcal{I}^+ is complete; the **black hole region**, or simply **black hole**, is the set of points of \mathcal{M} that are not in the causal past of the future null infinity:

$$\mathcal{B} := \mathcal{M} \setminus (J^-(\mathcal{I}^+) \cap \mathcal{M})$$

The boundary of \mathcal{B} is called the **(future) event horizon**: $\mathcal{H} = \partial\mathcal{B}$

Figura 1. Definición formal rigurosa de agujero negro.

En un artículo de 1938, Albert Einstein, Leopold Infeld y Banesh Hoffmann mostraron que, si las partículas elementales eran tratadas como singularidades espacio-tiempo, es innecesario postular el denominado movimiento geodésico como parte de la Teoría General de la Relatividad. El electrón podría ser, por tanto, una singularidad (y el resto de partículas subatómicas consideradas elementales).

Ignorando el momento angular del electrón, y su carga eléctrica, como primera aproximación, también como los efectos de la Mecánica Cuántica, se puede tratar el electrón como un agujero negro e intentar calcular su hipotético radio. El denominado

radio de Schwarzschild $R_s = \frac{2GM}{c^2}$ es el radio del horizonte de eventos o sucesos para un agujero negro de masa M . En la fórmula anterior, G es la constante gravitacional de

Newton, que vale $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ en nuestro Universo, y $c = 299792458 \text{m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ es la velocidad de la luz en nuestro Universo. Aplicando la fórmula del radio de Schwarzschild al electrón, se obtiene, si tomamos la masa del electrón con el valor $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{kg}$, un valor de $R_s = 1.353 \cdot 10^{-57} \text{m}$, un valor ridículamente pequeño. Es incluso menor que la llamada longitud de Planck L_p , que definiría la teoría cuántica de la gravedad mediante la relación $L_p = \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 1.62 \cdot 10^{-35} \text{m}$. Por lo tanto, ignorando la carga eléctrica y el momento angular del electrón, ingenuamente aplicando la relatividad general sobre la escala de masa del electrón, ignorando la Mecánica Cuántica, un agujero negro igual a la masa del electrón tendría dicho radio.

En realidad, los físicos esperan que la gravitación cuántica y sus efectos lleguen a ser importantes mucho antes que esta escala del radio de Schwarzschild del electrón, en particular se espera importen al menos a la escala de longitud de Planck (quizás antes). Entonces, la pura especulación clásica no puede ser fiable. Además, incluso clásicamente, la carga eléctrica y el momento angular deben afectar las propiedades de un agujero negro clásico. Tomándolos en consideración, pero aún ignorando los efectos cuánticos, tendríamos lo que se denomina una métrica de Kerr-Newman. En este caso, encontramos algo curioso. El momento angular y carga del electrón son demasiado grandes para el agujero negro de la masa del electrón: un objeto compacto o agujero negro de Kerr-Newman con tal momento angular y carga como el que tendría el electrón sería lo que los físicos denomina "superextremos", exhibiendo una singularidad desnuda sin horizonte de eventos o sucesos, lo que viene a decir que sería una divergencia de un campo clásico sin "la pantalla" clásica que es el horizonte. Para ver esto, es suficiente considerar la carga de electrón y despreciar en primera instancia su momento angular. Es lo que se llama métrica de Reissner-Nordström, que describe un espacio-tiempo eléctricamente cargado pero no rotatorio. En la métrica de Reissner-Nordström, hay una cantidad llamada radio de carga, definido por la expresión matemática

$$R_q = \sqrt{\frac{q^2 G}{16 \pi^2 \epsilon_0 c^4}} = \frac{q}{2c^2} \sqrt{\frac{K_C G}{\pi}}$$

y donde $K_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$ es la constante de Coulomb de la Electroestática, una constante también fundamental de nuestro Universo.

Para el electrón, $q = -e = -1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$, lo que da un valor para el radio de carga de Reissner-Nordström aproximadamente igual a $R_q = 1.38 \cdot 10^{-36} \text{m}$, todavía menor que la longitud de Planck.

Como $R_q \gg R_s$, la métrica de Reissner-Nordström tiene una singularidad desnuda sin horizonte de eventos o sucesos.

Si incluimos los efectos de la rotación del electrón, usando la métrica de Kerr-Newman, hay todavía una singularidad desnuda, que es ahora una singularidad no puntual, sino anular (con forma de anillo), y el espacio-tiempo resultante tiene curvas cerradas de género tiempo (¡máquinas del tiempo!), aunque microscópicas. El tamaño de la singularidad anular o de anillo es del orden de la cantidad

$$R_a = \frac{J}{Mc}$$

donde como antes, M es la masa del electrón, y c es la velocidad de la luz. Sin pérdida de generalidad, tomamos como momento angular del electrón el valor $J = \hbar/2$, es decir, el momento angular de espín del electrón. Esto proporciona un valor

$$R_a \approx 1.93 \cdot 10^{-13} \text{m}.$$

que es un valor mucho más grande que la escala de longitud asociada a los radios gravitacionales previos de la carga y masa del electrón. Carter [2] notó que esta longitud es del orden de la longitud de onda de Compton del electrón (se define la longitud de onda de Compton del electrón como la longitud de onda de un fotón que tuviera la energía en reposo del electrón, i.e., $\lambda_c = \hbar/Mc$). A diferencia de la longitud de onda de Compton, la escala J no es mecanocuántica en origen.

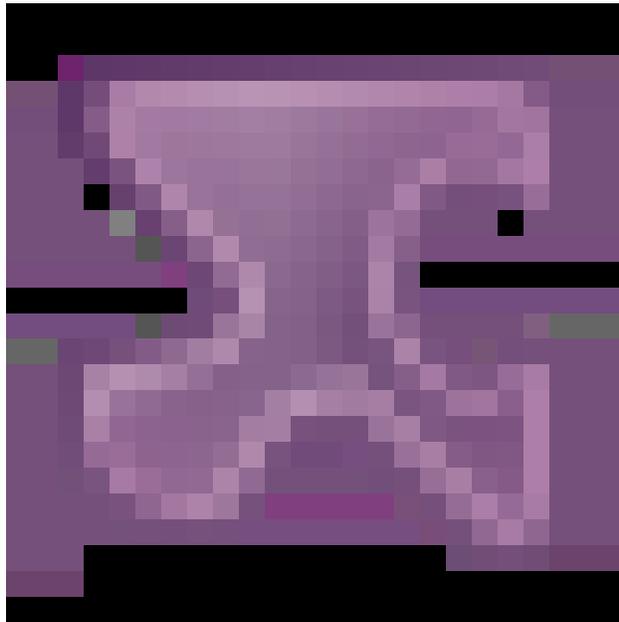
La idea de que las partículas elementales son agujeros negros tuvo una curiosa exhibición en una parte del argumento de un episodio de la serie The Big Bang Theory.



Vídeo 1. Sheldon Cooper se encuentra con Stephen W. Hawking para proponerle su idea de que el bosón de Higgs es un agujero negro acelerando hacia atrás en el tiempo. El célebre científico en silla de ruedas le comenta que su idea es fascinante pero errónea por un error aritmético en la segunda página, aunque le comenta que le gustó su idea mucho previamente antes de eso. Sheldon no puede soportar haberse equivocado ante su ídolo y se desmaya. El episodio donde tiene lugar es "The Hawking Excitation", episodio 21° de la quinta temporada del sitcom The Big Bang Theory, y en él también aparece el legendario Leonard Nimoy (Mr. Spock en la serie original de Star Trek y sus películas clásicas, más 2 apariciones en las versiones de Star Trek de J.J. Abrahams). Una imagen a modo de epílogo a continuación:



P.S.: Nótese que S. W. Hawking tenía un gran (peculiar) sentido del humor, así que también se prestó a una partida de ajedrez cuántico (quantum chess) contra Ant-Man...¡Y perdió!



Vídeo 2. Hawking pierde contra Ant-Man, a.k.a. Paul Rudd. La narración corre a cargo de Keanu Reeves, Neo en Matrix, ahora conocido por su avatar en Cyberpunk y su personaje de John Wick.



Vídeo 3. Versión en castellano del vídeo anterior.

Frase épica final: Entanglement is the key, said K. Reeves, and P. Rudd told Hawking so: "Entanglement, Dr. Hawking. It sorrounds us and penetrates us. It binds the Galaxy together". Hawking answered to that,... "Nerd!!!!". Jajajajajajajajaja...

No context final picture... ¡¡¡¡¡Estira, estira, estira...!!!! ¡Lanzamientoooo!





Referencias

[1] Einstein, A.; Infeld, L.; Hoffmann, B. (January 1938). "The gravitational equations and the problem of motion". *Annals of Mathematics. Second Series*. 39 (1): 65–100. Bibcode:1938AnMat..39...65E. doi:10.2307/1968714. JSTOR 1968714.

[2] Carter, B. (25 October 1968). "Global structure of the Kerr family of gravitational fields". *Physical Review*. 174 (5): 1559–1571. Bibcode:1968PhRv..174.1559C. doi:10.1103/physrev.174.1559.

[3] *Black hole electron*, Wikipedia, la Enciclopedia Libre, Fundación Wikimedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_hole_electron

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A13. La ley de Coulomb-Newton en otras dimensiones.

La ley de Coulomb (Newton) en otras dimensiones

En 3+1 dimensiones de espacio-tiempo, la ley de Coulomb y la ley de Newton de la gravitación universal adoptan una forma extremadamente simple matemáticamente hablando, una ley del inverso del cuadrado:

$$f(r) = \frac{K}{r^2}$$

con una adecuada y propia definición de la fuente, carga y la distancia. ¿Cuáles serían las leyes de Coulomb y Newton si viviéramos en otras dimensiones?

Para responder a esta pregunta, tenemos que hacer algunas hipótesis. Si asumimos que el lagrangiano (operador matemático) o la ley del flujo del campo correspondiente tiene la misma forma en $D = d + 1$, esto significaría que las ecuaciones de Maxwell (o de Poisson en el caso gravitacional), se mantienen. Es decir, $\nabla^2 \varphi(x) = 0$. Resolviendo la ecuación de Poisson en el espacio libre, encontraremos el potencial, y de éste, la fuerza. Mediante una transformada de Fourier:

$$\varphi(\mathbf{x}) = \int \frac{d^d k}{(2\pi)^d} \frac{e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}}{k^2}$$

Resolviendo para el potencial

$$\varphi = \frac{1}{(2\pi)^d} \int dk k^{d-3} d^{d-1}\Omega e^{ikr\cos\theta_1}$$

donde $d^{d-1}\Omega$ es el $(d-1)D$ elemento diferencial angular. Ahora esta integral involucra un ángulo azimutal θ , y podemos parametrizar la coordenada en $d-D$ coordenadas esféricas como sigue:

$$x_1 = r \cos \theta_1; x_2 = r \sin \theta_1 \cos \theta_2; \dots; x_d = r \sin \theta_1 \sin \theta_2 \dots \sin \theta_{d-2} \cos \phi;$$

Entonces el elemento de superficie $d^{d-1} \Omega = \sin^{d-2} \theta_1 \sin^{d-3} \theta_2 \dots \sin \theta_{d-2} d\theta_1 d\theta_2 \dots d\theta_{d-2} d\phi$, y donde la integral sobre los ángulos excepto θ_1 es el área de la hipersuperficie $(d-2) - D$.

$$S_{d-2} = \frac{2 \pi^{\frac{d-1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{d-1}{2}\right)}$$

de donde $\varphi = \frac{S_{d-2}}{(2\pi)^d r^{d-2}} I_d$, y entonces

$$I_d = \int_0^\infty d\xi \int_0^\pi d\theta \xi^{d-3} \sin^{d-2} \theta \exp[i\xi \cos \theta].$$

Usando el resultado matemático:

$$I_d = \int_0^\infty d\xi \sqrt{\pi} \Gamma\left(\frac{d-1}{2}\right) \frac{{}_0F_1\left(\frac{d}{2}, -\frac{\xi^2}{4}\right)}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)} \xi^{d-3} = 2^{d-3} \sqrt{\pi} \Gamma\left(\frac{d-2}{2}\right) \Gamma\left(\frac{d-1}{2}\right).$$

se deduce que

$$\varphi = \frac{S_{d-2}}{(2\pi)^d r^{d-2}} 2^{d-3} \sqrt{\pi} \Gamma\left(\frac{d-2}{2}\right) \Gamma\left(\frac{d-1}{2}\right) = \frac{\Gamma\left(\frac{d-2}{2}\right)}{4\pi^{\frac{d}{2}}} \frac{1}{r^{d-2}}$$

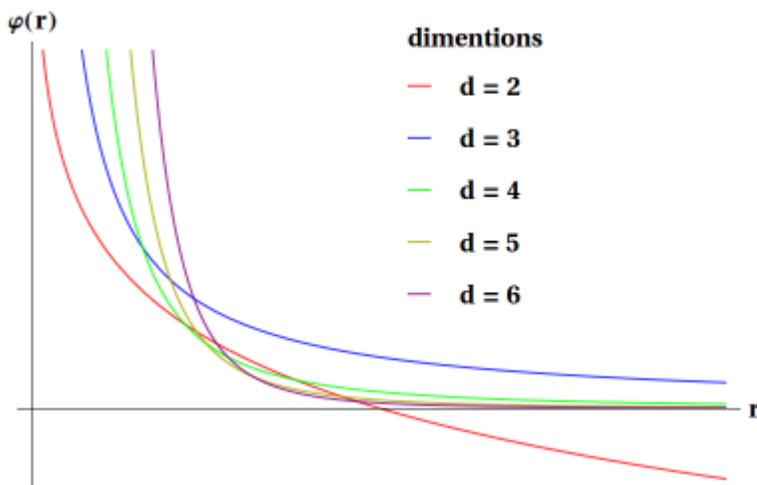


Figura 1. Hipergravedad (campo hipernewtoniano) y campo hipercoulombiano. Campo potencial radial en dimensiones superiores.

Gauss Law/La Ley de Gauss

Hay, sin embargo, una forma más sencilla de resolver éste problema. Usar el denominado teorema de Gauss (en Matemáticas y Física es bien conocido), porque se supone válido para los campos clásicos. Usando el concepto de flujo, número de líneas de campo que atraviesan una superficie esférica cerrada para simetría radial, se tiene que, para carga/masa y constante normalizados la expresión: $\phi_E = E(r)S_{d-1} = 1$

donde S_{d-1} es la hiperárea de una $(d-1)$ hiperesfera. Para obtener la ley de hiperCoulomb o hiperNewton en $(d+1) - D$, si hacemos:

$$f = \frac{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)}{2\pi^{\frac{d}{2}}} \frac{1}{r^{d-1}}.$$

Puede verificarse trivialmente que

$$-\frac{\partial}{\partial r} \varphi(r) = E(r)$$

como esperaríamos. Por supuesto, la integración directa puede ser usada en donde la ley de Gauss no se cumple.

Ley de (hiper)Coulomb para un campo vectorial masivo

Otro resultado interesante, es la ley de Coulomb para teorías clásicas en las que el bosón intermedio tiene masa diferente de cero, en dimensiones superiores. La ecuación de Poisson se escribe en este caso en la forma siguiente (en ocasiones se denomina ecuación de Proca):

$$(\nabla^2 - m^2)\varphi(\mathbf{x}) = 0.$$

Haciendo una transformación de Fourier:

$$\varphi(\mathbf{x}) = \int \frac{d^d k}{(2\pi)^d} \frac{e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}}{k^2 + m^2}.$$

Aplicando la misma técnica de nuevo (salvo la ley de Gauss), se tiene el potencial del campo vectorial masivo siguiente:

$$\varphi(r) = \frac{(mr)^{\frac{d}{2}-1} K_{\frac{d}{2}-1}(mr)}{(2\pi)^{\frac{d}{2}}} \frac{1}{r^{d-2}}$$

donde $K_n(x)$ es la denominada función de Bessel de segunda especie (o segundo tipo).

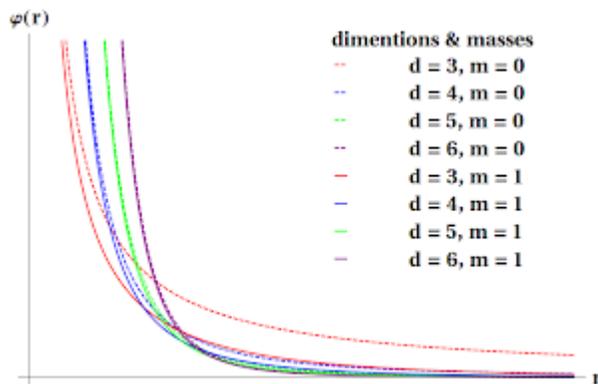


Figura 2. Comparación del potencial del bosón masivo con el bosón sin masa en dimensiones superiores.

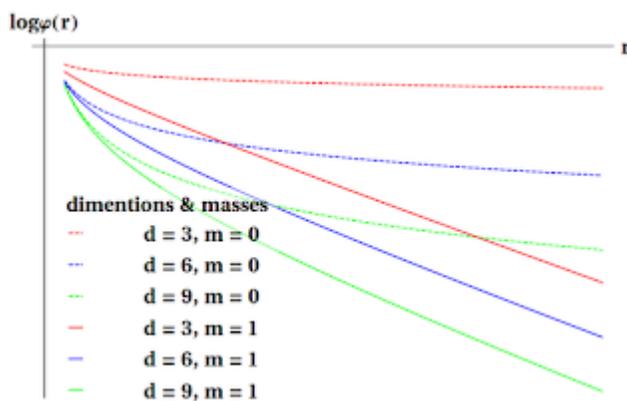


Figura 3. Comparación del potencial del bosón masivo con el bosón sin masa en dimensiones superiores para grandes distancias.

Apéndice. área superficial de una $(d-1)D$ hiperesfera.

Consideremos la integral gaussiana:

$$\int d^n \mathbf{x} \exp(-\mathbf{x}^2) = \left(\int dx \exp[-x^2] \right)^n = \pi^{\frac{n}{2}}$$

El miembro de la izquierda puede reescribirse como sigue:

$$\int dr r^{n-1} \exp[-r^2] S_{n-1}$$

Por lo tanto, se tiene que

$$S_{n-1} = \frac{2 \pi^{\frac{n}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}.$$

Q.E.D.

Comentario: resolviendo la ecuación para la denominada función de Green para el espacio, con condición de contorno del espacio libre, transforma la ecuación de Poisson en la expresión

$$\nabla^2 \varphi(\mathbf{x}) = \delta(\mathbf{x})$$

en donde se observa la presencia de la función delta de Dirac, o función generalizada (en el sentido de las llamadas distribuciones).

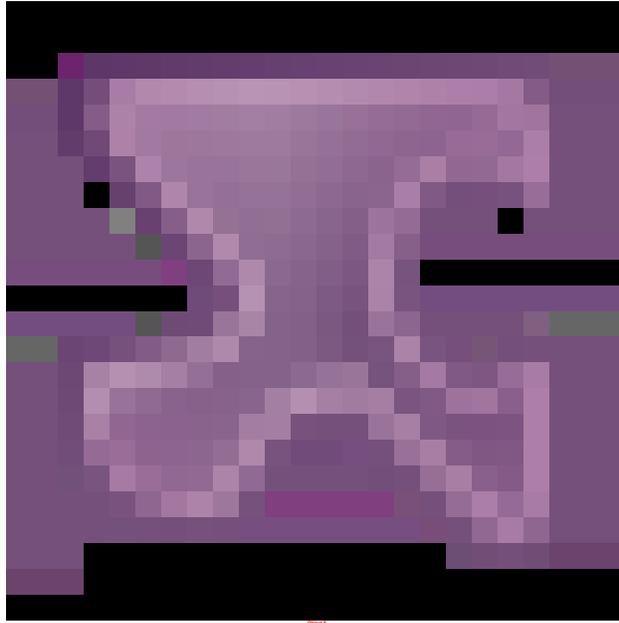
Esta no es la única generalización posible. Puede no ser incluso la generalización más natural desde el punto de vista de la aproximación newtoniana en relatividad general. En Relatividad General, uno debería escribir la denominada ecuación de campo de Einstein en $(d+1)D$ y hacer la linealización de las ecuaciones de campo ahí. Eso significa fijar G_N , que no es siempre resaltado.

Referencias

[1] La ley de Coulomb en dimensiones superiores.
URL: <https://naturalunits.blogspot.com/2012/10/coulombs-law-in-high-dimensions.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A14. Círculos de radio raros.



Vídeo 1. Los círculos raros de radio (Odd Radio Circles, ORCs, en sus siglas en inglés). Imagen: J. English (U. Manitoba), EMU, MeerKAT, DES (CTIO). Animación: círculos de radio impares. Créditos: Ilustración: Sam Moorfield. Datos: CSIRO, HST (HUDF), ESA, NASA. Imagen: J. English (U. Manitoba), EMU, MeerKAT, DES (CTIO); Texto: Jayanne English.

Extraños círculos de radio (Raros círculos de radio)

¿Cómo llamas a un rompecabezas cósmico que nadie esperaba ver? En este caso, CRR, círculos raros de radio, en inglés...Odd Radio Circles, también conocidos como ORC. ORC-1 tipifica los enigmáticos cinco objetos, solo visibles en frecuencias de radio, que se descubrieron por casualidad en 2019 utilizando la nueva matriz de radio australiana SKA Pathfinder. La imagen final en el video presentado utiliza datos de 2021 de la matriz Sudafricana MeerKAT para revelar más detalles. Los datos de radio, a los que se les asignan colores turquesa, se combinan con un mapa óptico/IR de Dark Energy Survey. La ilustración animada del artista explora solo una idea sobre los orígenes de los ORC. Si dos agujeros negros supermasivos se fusionan en el centro de una galaxia, las ondas de choque asociadas podrían generar anillos de radiación de radio. Estos crecen para llenar el cuadro de video. El video se aleja para que se pueda rastrear la expansión del ORC hasta que tenga aproximadamente un millón de años luz de diámetro. Afortunadamente, el próximo Square Kilometre Array (SKA) puede ayudar a probar este y otros escenarios prometedores.

Referencias

[1] Astronomy Picture Of the Day (Imagen de Astronomía del Día). Fecha: 30 de Marzo de 2022. URL: <https://apod.nasa.gov/apod/ap220330.html>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

A15. Orígenes de los púlsares de milisegundo más lentos.

Los investigadores explican la formación de púlsares de milisegundos con largos períodos orbitales por Li Yuan, Academia China de Ciencias.



Figura 1. Crédito: Pixabay/CC0 Dominio Público. Credit: Pixabay/CC0 Public Domain.

Un equipo de investigación dirigido por el profesor Wang Bo de los Observatorios de Yunnan de la Academia de Ciencias de China ha explicado la formación de púlsares de milisegundos (MSP) con largos períodos orbitales por el colapso de enanas blancas inducido por acreción.

Este trabajo fue publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. En general, se cree que los sistemas de estrellas de neutrones (NS) se forman de tres maneras: supernovas de colapso del núcleo de estrellas masivas, supernovas de captura de electrones de estrellas de masa intermedia y colapso inducido por acreción (AIC) de enanas blancas masivas (WD).

En el proceso AIC, las WD de oxígeno-neón (ONe) colapsan en estrellas de neutrones a través de reacciones de captura de electrones. Se prevé que los eventos AIC sean los transitorios ópticos débiles y de corta duración más probables, y se espera una pequeña masa de eyección durante el colapso. El proceso AIC puede conducir a la formación de NS recién nacidos con pequeñas patadas y, por lo tanto, puede usarse para reproducir NS obviamente jóvenes en algunos cúmulos globulares. Estas NS jóvenes no pueden producirse a través del clásico canal de supernova de colapso del núcleo. Mientras tanto, el proceso AIC puede ayudar a explicar la discrepancia observada entre la gran tasa de púlsares de milisegundos (MSP) y la pequeña tasa de sus sistemas progenitores (es decir, binarios de rayos X de baja masa o LMXB) en la galaxia. Un ONe WD que acumula material rico en H de una estrella gigante roja (RG) puede experimentar el proceso AIC, produciendo eventualmente MSP, conocido como el canal donante RG. Vale la pena señalar que cada vez más MSP con órbitas anchas de más de 500 días (>500 d) han sido detectadas por observaciones recientes, pero su origen aún es muy incierto. En este estudio, los investigadores exploraron la formación de MSP binarias a través del canal de donantes RG sistemáticamente utilizando una prescripción de transferencia de masa integrada para donantes RG. Descubrieron que el canal donante RG podría formar MSP binarios con períodos orbitales que van desde 50 d a 1200 d, en los que las masas finales de NS estaban en el rango de $\sim 1.26\text{--}1.55 M_{\text{sol}}$ y las masas de los compañeros WD estaban en el rango de $0,30\text{--}0,55 M_{\text{sol}}$. También encontraron que las MSP formadas a través del canal donante RG seguían la correlación entre la masa compañera y el período orbital, y que existía una anticorrelación entre la masa NS final y el período orbital final. Los sistemas pre-AIC con donantes RG se mostrarían como simbióticos en las observaciones, mientras que los sistemas post-AIC podrían identificarse como LMXB, evolucionando finalmente a MSP jóvenes con órbitas amplias (>50 d).

"El canal donante RG proporciona una forma viable de dar cuenta de las MSP observadas con largos períodos orbitales. Más estudios teóricos y observacionales sobre MSP con separaciones amplias serían útiles para nuestra comprensión de este tipo de sistemas de púlsares", dijo el profesor Wang.

Referencias

[1] *Researchers explain formation of millisecond pulsars with long orbital periods* by Li Yuan, Chinese Academy of Sciences. Phys.org URL: <https://phys.org/news/2022-03-formation-millisecond-pulsars-orbital-periods.html>

[2] Bo Wang et al, *Formation of millisecond pulsars with long orbital periods by accretion-induced collapse of white dwarfs*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2022). Disponible online en las URL: <https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/510/4/6011/6509490>

<https://dx.doi.org/10.1093/mnras/stac114>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

A16. Agujeros negros masivos como partículas cuánticas.

Se muestra que los agujeros negros masivos actúan como partículas cuánticas

Vídeo 1. Los físicos están utilizando las matemáticas cuánticas para comprender qué sucede cuando chocan los agujeros negros. Sorprendentemente, han demostrado que una sola partícula puede describir toda la onda gravitacional de una colisión. Una onda gravitacional completa puede conocerse a través del comportamiento de una sola de sus innumerables partículas.

Cuando dos agujeros negros chocan, el choque titánico se extiende a través de la estructura misma del cosmos. Los físicos han utilizado la teoría de la gravedad de Albert Einstein para predecir los contornos aproximados de estas ondas gravitacionales a medida que atraviesan la Tierra, y los detectores de ondas gravitacionales LIGO y Virgo han confirmado onda tras onda. Pero los físicos están empezando a tambalearse cuando intentan utilizar las espinosas ecuaciones de Einstein para extraer formas ultraprecisas de todas las reverberaciones posibles. Estos detalles actualmente desconocidos serán esenciales para comprender completamente las finas ondas que los observatorios de próxima generación deberían captar.

El alivio, sin embargo, puede provenir de una dirección aparentemente improbable. En los últimos años, los físicos especializados en el comportamiento arcano de las partículas cuánticas han dirigido su maquinaria matemática hacia los agujeros negros que, a la distancia, se parecen a las partículas. Varios grupos han hecho recientemente un

hallazgo sorprendente. Han demostrado que el comportamiento de una onda gravitacional (o electromagnética) puede conocerse completamente a través de las acciones de una sola de sus innumerables partículas, como si pudiéramos conocer la silueta precisa de un tsunami después de examinar una sola molécula de agua.

“No lo habría creído posible, y todavía tengo algunos problemas para entenderlo”, dijo Radu Roiban, físico teórico de la Universidad Estatal de Pensilvania que no participó en la investigación. Los resultados podrían ayudar a los futuros investigadores a interpretar los temblores más agudos en el espacio-tiempo que registrarán los futuros observatorios. También marcan el siguiente paso en la comprensión de cómo las teorías de las partículas cuánticas capturan los eventos que tienen lugar en nuestro nivel más amplio de realidad.

“¿Cuál es la conexión precisa entre estas ideas cuánticas y el mundo real? De eso se trata [su investigación]”, dijo Zvi Bern, físico teórico de partículas del Instituto Bhaumik de Física Teórica de la Universidad de California, Los Ángeles. “[Proporciona] una comprensión mucho mejor de eso que la que teníamos antes”.

Códigos de trucos cuánticos

En principio, la mayoría de los físicos esperan que las ecuaciones cuánticas también puedan manejar objetos grandes. Después de todo, somos en gran parte nubes de electrones y quarks. En la práctica, sin embargo, las leyes de Newton son suficientes. Si estamos calculando el arco de una bala de cañón, no tiene sentido comenzar con un electrón. "Nadie en su sano juicio lo haría diciendo 'Consideremos la teoría cuántica, resolvamos ese problema y extraigamos la física clásica'", dijo Bern. "Eso sería una idiotez". Pero la astronomía de ondas gravitacionales está llevando a los físicos a considerar medidas desesperadas. Cuando dos agujeros negros giran en espiral uno hacia el otro y chocan entre sí, la forma de la agitación resultante del espacio-tiempo depende de sus masas, giros y otras propiedades. Para comprender completamente los estruendos cósmicos que se sienten en las instalaciones de ondas gravitacionales, los físicos calculan con anticipación cómo varias parejas de agujeros negros sacudirán el espacio-tiempo. Las ecuaciones de la relatividad general de Einstein son demasiado complicadas para resolverlas exactamente, por lo que algunas de las formas de onda de LIGO/Virgo provienen de simulaciones precisas de supercomputadoras. Algunos de estos pueden tardar un mes. La colaboración LIGO/Virgo se basa en una colección de cientos de miles de formas de onda, improvisadas a partir de simulaciones y otros métodos más rápidos

pero más toscos. Los físicos de partículas, al menos en algunos casos, creen que pueden obtener resultados más rápidos y precisos. Desde una perspectiva ampliada, los agujeros negros se parecen un poco a partículas masivas, y los físicos han pasado décadas pensando en lo que sucede cuando las partículas chocan en el vacío.

“A lo largo de los años nos hemos vuelto extremadamente buenos en la dispersión cuántica en la gravedad”, dijo Bern. “Tenemos todas estas herramientas increíbles que nos permiten hacer estos cálculos muy complicados”. Las principales herramientas del comercio se conocen como amplitudes, expresiones matemáticas que dan las probabilidades de eventos cuánticos. Una amplitud de "cuatro puntos", por ejemplo, describe dos partículas que entran y dos partículas que salen. En los últimos años, Bern y otros teóricos aplicaron amplitudes cuánticas de cuatro puntos al movimiento de colosales agujeros negros clásicos, igualando, y en algunos casos superando, la precisión de ciertos cálculos de forma de onda de vanguardia. “Es sorprendente lo rápido que [han avanzado] estas personas”, dijo Alessandra Buonanno, directora del Instituto Max Planck de Física Gravitacional y teórica galardonada que se especializa en predecir la forma de las ondas gravitacionales. “Realmente están impulsando esto”.

Todo en uno

Los físicos clásicos se han alejado de las amplitudes por una buena razón. Están llenos de infinitos. Incluso una colisión descrita por una función de cuatro puntos (dos partículas dentro, dos fuera) puede generar temporalmente cualquier número de partículas de corta duración. Cuantas más partículas transitorias considere un cálculo, más "bucles" (loops) se dice que tiene, y más preciso es. Se pone peor. Una función de cuatro puntos puede tener un número infinito de bucles posibles. Pero cuando dos agujeros negros se juntan, una función de cuatro puntos no es la única posibilidad. Los investigadores también deben considerar la función de cinco puntos (una colisión que arroja una partícula de radiación), así como la función de seis puntos (una colisión que produce dos partículas), etc. Se puede pensar en una onda gravitacional como una colección de un número infinito de partículas de "gravitón", y un cálculo ideal las cubriría todas, con un número infinito de funciones, cada una con un número infinito de bucles.

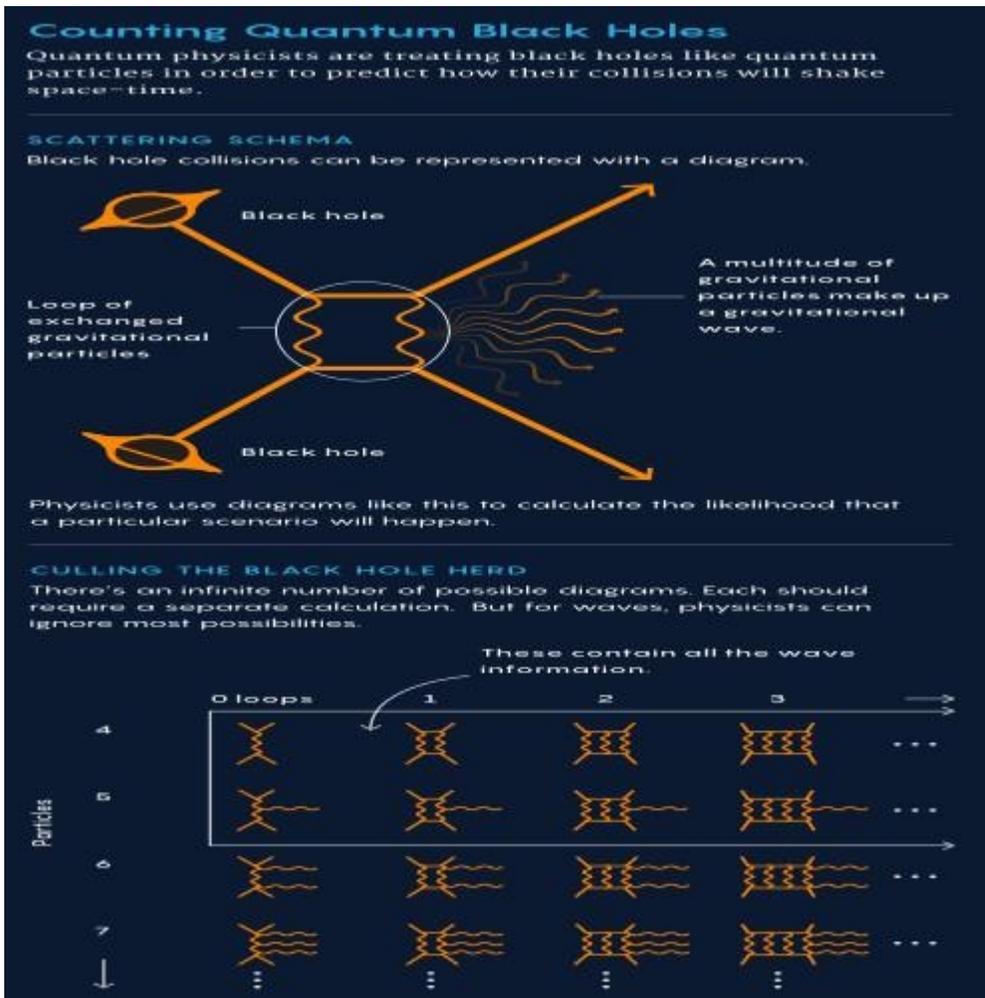


Figura 1. Gráfico de la colisión de un agujero negro. Crédito: Merrill Sherman/Quanta Magazine.

En este pajar cuántico de ancho y profundidad infinitos, los investigadores de amplitud necesitan identificar las agujas clásicas que contribuirían a la forma de la onda.

Una pista apareció en 2017 [1], cuando Walter Goldberger de la Universidad de Yale y Alexander Ridgway del Instituto de Tecnología de California estudiaron la radiación clásica emitida por dos objetos que chocan con una especie de carga eléctrica. Se inspiraron en una curiosa relación entre la gravedad y las otras fuerzas (conocida como la copia doble) y la usaron para convertir los objetos cargados en análogos de agujeros negros. Calcularon la forma de las ondas que rodaban hacia afuera y encontraron una expresión sorprendentemente simple y sorprendentemente cuántica.

"Tienes que cerrar los ojos ante algunos términos", dijo Donal O'Connell, teórico de la Universidad de Edimburgo. "Pero me pareció que lo que habían calculado era una amplitud de cinco puntos". Intrigado, O'Connell y sus colaboradores investigaron más.

Primero [2] utilizaron un marco cuántico general para calcular propiedades simples de una colisión entre dos grandes cuerpos clásicos. Luego [3], en julio de 2021, ampliaron este enfoque para calcular ciertas propiedades de onda clásicas y confirmaron que la amplitud de cinco puntos era, de hecho, la herramienta adecuada para el trabajo.

Los investigadores se habían topado con un patrón inesperado en el pajar de amplitud. Demostró que no necesitaban un número infinito de amplitudes para estudiar las ondas clásicas. En cambio, podrían detenerse en la amplitud de cinco puntos, que involucra solo una partícula de radiación. “Esta amplitud de cinco puntos realmente es la cosa”, dijo O’Connell. “Cada gravitón o cada fotón que forma la onda, no le importa el hecho de que haya otro”. Cálculos posteriores revelaron por qué la amplitud de cinco puntos nos dice todo lo que necesitamos saber sobre el mundo clásico. Los resultados cuánticos tienen dos características definitorias. Tienen incertidumbre horneada en ellos. Los electrones, por ejemplo, se esparcen en una nube difusa. Además, las ecuaciones que los describen, como la ecuación de Schrödinger, presentan una constante de la naturaleza conocida como constante de Planck. Un hombre frente a una pizarra.

Los sistemas clásicos, como una onda gravitacional que se propaga a través de la Tierra, son perfectamente nítidos y pueden describirse sin tener a la vista una constante de Planck. Estas propiedades le dieron al grupo de O’Connell una prueba de fuego para determinar qué partes de qué amplitudes eran clásicas: no deben tener incertidumbre y no puede haber una constante de Planck en la descripción final. El grupo descubrió que la amplitud de cinco puntos más simple tenía dos "fragmentos", uno con la constante de Planck y otro sin ella. El primer fragmento era una pieza cuántica que podía ignorarse con seguridad. El segundo fue la radiación clásica, la parte útil para la astronomía de ondas gravitacionales.

Luego dirigieron su atención a la amplitud de seis puntos sin bucle: la emisión de dos partículas de radiación. Esta amplitud da la incertidumbre de la onda, porque tener dos partículas de radiación es como medir dos veces el campo. A primera vista, la amplitud era difícil de interpretar, con las constantes de Planck por todas partes. Pero cuando calcularon el resultado en detalle [4], muchos de los términos con la constante de Planck se cancelaron entre sí. Al final, O’Connell y sus colaboradores encontraron que la incertidumbre de seis puntos también se dividía en un fragmento clásico y uno cuántico. La incertidumbre clásica resultó ser cero, como debe ser. Y la parte cuántica no. En otras palabras, la amplitud de seis puntos no tenía ninguna información clásica. En retrospectiva, el resultado parecía algo inevitable. Pero antes de investigar los

fragmentos en detalle, los investigadores esperaban ingenuamente que la amplitud de seis puntos todavía podría tener algún significado clásico sutil.

“Esto es pura cuántica. Eso fue un poco impactante al menos para mí”, dijo O'Connell. O'Connell había estudiado una fuerza relacionada con el electromagnetismo. Entonces, para verificar si el resultado también era válido para la gravedad, Ruth Britto en Trinity College Dublin y otros utilizaron varios atajos técnicos para calcular la amplitud de seis puntos sin bucle para dos partículas masivas. Descubrieron que tampoco tiene contenido clásico. “Es difícil de creer hasta que haces los cálculos”, dijo Riccardo Gonzo, también del Trinity College Dublin, quien trabajó en ambos resultados. Una lógica similar lleva a los investigadores a esperar que en bucles más altos, todas las amplitudes con más de cinco puntos serán todas cuánticas y, por lo tanto, ignorables, o expresables como una función más simple de amplitudes conocidas. Un desfile interminable de relaciones de incertidumbre casi lo garantiza. “La expectativa es que la teoría cuántica de campos describa la física clásica”, dijo Roiban. “Resulta que es así como lo hace, al tener incertidumbre cero en algunos estados”. El resultado es que las ondas clásicas son más fáciles de describir en el lenguaje de la mecánica cuántica de lo que temían los investigadores. “Una onda gravitatoria, o una onda de cualquier tipo, es algo grande y flexible. Debería depender de muchas pequeñas cosas”, dijo Roiban. Pero “una vez que conoces la colisión más un fotón o un gravitón en el estado final, entonces lo sabes todo”.

Espiral hacia las fusiones de agujeros negros

Cuando LIGO/Virgo capta ondas gravitacionales, la señal es hasta un 10% de ruido. Los futuros detectores, como el LISA basado en el espacio, pueden registrar ondas en el espacio-tiempo con una fidelidad del 99% o superior. En ese nivel de nitidez, los investigadores esperan que las ondas gravitacionales revelen una gran cantidad de información, como la rigidez de las estrellas de neutrones que se fusionan. El progreso reciente en la predicción de la forma de las ondas utilizando amplitudes cuánticas genera esperanzas de que los investigadores puedan desbloquear esa información. “Si este resulta ser realmente el caso”, dijo Buonanno, “sería fantástico. Creo que simplificará el cálculo al final, pero solo tenemos que ver”.

Por ahora, sin embargo, el cálculo de formas de onda astrofísicas reales a partir de amplitudes sigue siendo un proyecto ambicioso. Las amplitudes de cuatro y cinco puntos capturan lo que sucede cuando los agujeros negros se "esparcen" o se disparan entre sí, y

la técnica actualmente se puede extrapolar para comprender fusiones simples donde los agujeros negros no giran. Pero en su estado actual, estas amplitudes luchan por describir completamente las fusiones más complicadas que detectan los observatorios de ondas gravitacionales. Los investigadores de estas amplitudes cuánticas creen que pueden modificar sus métodos para calcular formas de onda realistas para una amplia variedad de fusiones de agujeros negros, pero aún no lo han hecho. Más allá de las ondas gravitacionales, la naturaleza general de la investigación sugiere que la forma en que el principio de incertidumbre organiza el pajar cuántico podría resultar útil en otras áreas de la teoría cuántica. La variedad infinita de relaciones entre amplitudes podría permitir verificaciones cruzadas independientes, por ejemplo, brindando una guía valiosa para cálculos que pueden llevar meses. Y puede servir como una prueba aguda para distinguir las teorías cuánticas que pueden describir nuestro mundo macro de aquellas que no pueden. “En el pasado era intuición”, dijo Roiban. “Ahora es un criterio claro. Es un cálculo, y es difícil discutir con un cálculo”.



Figura 2. Zvi Bern, físico teórico de partículas del Instituto Bhaumik de Física Teórica de la Universidad de California, Los Ángeles. Crédito: Penny Jennings.



Figura 3. Alessandra Buonanno, directora del Instituto Max Planck para la Física Gravitacional, Max Planck Institute for Gravitational Physics. Crédito: Andreas Klaer.

Referencias

- [1] *Radiation and the classical double copy for color charges*, Walter D. Goldberger and Alexander K. Ridgway, Phys. Rev. D 95, 125010 – Published 30 June 2017. URL: <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.125010>
- [2] *Amplitudes, Observables, and Classical Scattering*, David A. Kosower, Ben Maybee, Donal O'Connell. ArXiv: <https://arxiv.org/abs/1811.10950>
- [3] *Waveforms from Amplitudes*, Andrea Cristofoli, Riccardo Gonzo, David A. Kosower, Donal O'Connell. ArXiv: <https://arxiv.org/abs/2107.10193>
- [4] *The Uncertainty Principle and Classical Amplitudes*, Andrea Cristofoli, Riccardo Gonzo, Nathan Moynihan, Donal O'Connell, Alasdair Ross, Matteo Sergola, Chris D. White. <https://arxiv.org/abs/2112.07556v1>
- [5] *Graviton particle statistics and coherent states from classical scattering amplitudes*, Ruth Britto, Riccardo Gonzo, Guy R. Jehu. ArXiv: <https://arxiv.org/abs/2112.07036>
- [6] Artículo original, en Quanta Magazine, *Massive Black Holes Shown to Act Like Quantum Particles*, by Charlie Wood, Staff Writer. March 29th, 2022. URL:

<https://www.quantamagazine.org/massive-black-holes-shown-to-act-like-quantum-particles-20220329/>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

A17. Agujeros negros supermasivos en el Universo primitivo.

Publicado el 29 de marzo de 2022 por Shawn DiCenza

Los agujeros negros supermasivos podrían haberse formado directamente en el universo primitivo

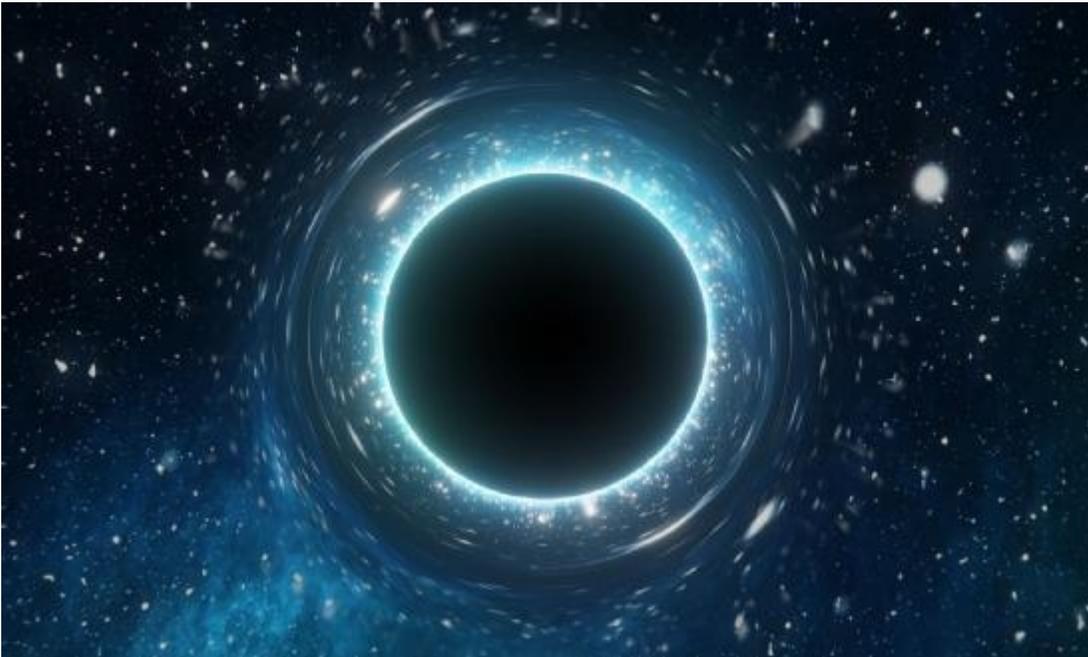


Figura decorativa: agujero negro supermasivo generando un efecto lente gravitacional a su alrededor.

Hay muchas cosas asombrosas en nuestro Universo y un agujero negro es una de las más desconocidas. No sabemos con certeza qué sucede dentro de un agujero negro e incluso aún se está investigando la formación de agujeros negros supermasivos en el universo primitivo. Un grupo de físicos del Laboratorio Nacional de Brookhaven ha abordado esta cuestión y ha encontrado una posible solución al misterio. La naturaleza de la materia oscura también puede ser resuelta por su teoría. “La pregunta aún sin respuesta

sobre la naturaleza de la materia oscura y cómo el agujero negro supermasivo primordial [sic] podría crecer tan rápido en tan poco tiempo son dos preguntas abiertas apremiantes en física y astrofísica. Es deseable encontrar una explicación común para estas observaciones y podría proporcionarnos información sobre el funcionamiento interno del Universo". Julia Gehrlein - Física en el Laboratorio Nacional de Brookhaven Las observaciones han demostrado que los agujeros negros supermasivos pueden haberse formado en el universo primitivo. De acuerdo con nuestra comprensión actual de cómo se forman los agujeros negros, no habría habido tiempo suficiente para que eso sucediera. Ni la acreción (cuando la materia cae en un agujero negro) ni las colisiones galácticas pueden explicar los agujeros negros primordiales supermasivos.

Los físicos teóricos Hooman Davoudiasl, Peter Denton y Julia Gehrlein desarrollaron un modelo que describe una posible solución utilizando la idea de que la materia oscura es ultraligera, con una masa que es 28 órdenes de magnitud más ligera que el protón, pero que posiblemente abarca años luz por partícula. "En nuestro caso, notamos que [las galaxias enanas ultradébiles] están mostrando algunos indicios preliminares de que la materia oscura puede ser ultraligera", dice Peter Denton. Hay alguna evidencia de que la distribución de la materia oscura de estas galaxias no es nítida hacia el centro, como cabría esperar. La materia oscura ultraligera sería una explicación para esto. "Si la amplitud de la distribución de la materia oscura es comparable en todas las galaxias, eso podría indicar que la materia oscura tiene un tamaño característico y es ultraligera".

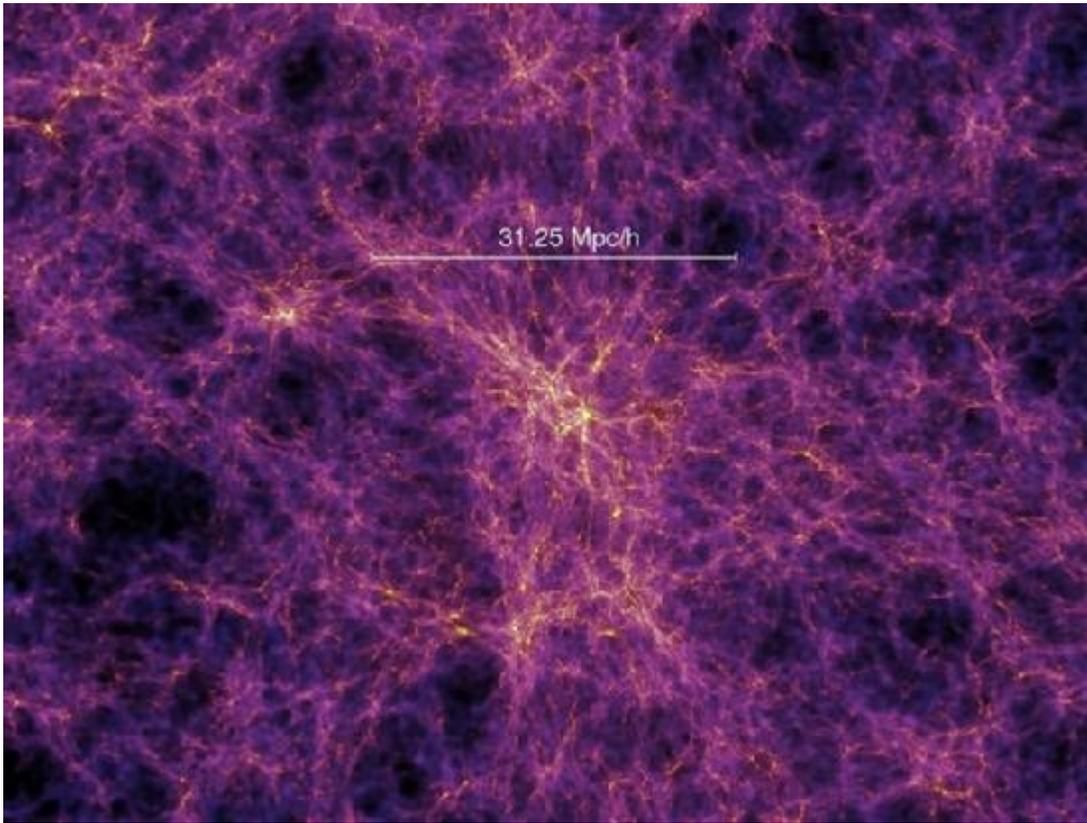


Figura 1. El experimento CIBER de la NASA busca pistas sobre la formación de las primeras estrellas y galaxias. Estudiará el brillo total del cielo, para probar el componente de las primeras estrellas y galaxias utilizando firmas espectrales, y buscará el patrón espacial distintivo que se ve en esta imagen, producido por estructuras a gran escala de la materia oscura. Esto muestra una simulación numérica de la densidad de la materia cuando el universo tenía mil millones de años. La formación de galaxias sigue a los pozos gravitatorios producidos por la materia oscura, donde se une el gas de hidrógeno y se encienden las primeras estrellas. Crédito: Volker Springel/Consortio Virgo.

Si la materia oscura es ultraligera, esa podría ser la clave para explicar la formación de los agujeros negros primordiales supermasivos. Las condiciones necesarias para que la materia colapse y forme un agujero negro de tamaño supermasivo fueron las correctas “unos pocos días después del Big Bang, cuando el Universo tenía una temperatura cercana a la del núcleo del Sol”, según Hooman Davoudiasl. Esto sería 15 millones de Kelvin, o 27 millones de grados Fahrenheit. Estas temperaturas serían necesarias para que este tipo particular de materia exista. Una vez que la temperatura del Universo alcanzó el nivel correcto, la presión podría haber caído a un nivel muy bajo, permitiendo que la materia colapsara debido a la gravedad. Esto no sucedería con las partículas

conocidas, de ahí la idea de la materia oscura ultraligera. Este colapso de la materia provocaría ondas gravitacionales. “Esas ondas tienen una forma característica, por lo que hacemos una predicción para esa señal y su rango de frecuencia esperado”, dice Peter Denton. Cuando las matrices de sincronización de púlsares de próxima generación que sean más sensibles entren en funcionamiento, es posible que puedan detectar esas ondas y validar la teoría de que la materia oscura es o pudo haber sido ultraligera. Luego, los científicos podrían juntar más piezas del rompecabezas para obtener una comprensión más clara de la materia oscura, los agujeros negros y nuestro asombroso universo.

Referencias

[1] *Posted on March 29, 2022 by Shawn DiCenza. Supermassive Black Holes Could Have Formed Directly in the Early Universe*, Universetoday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155152/supermassive-black-holes-could-have-formed-directly-in-the-early-universe/>

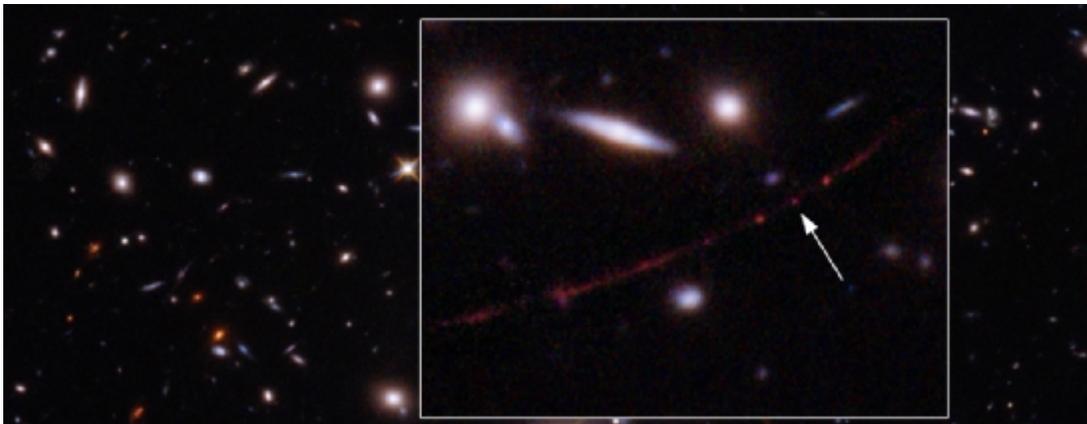
Artículo editado y traducido por Juan F. González

A18. Eärendel.

Récord batido: El Hubble detecta la estrella más lejana jamás vista (circa 2022)

Fecha: 30 de marzo de 2022.

Fuente: NASA/Centro de Vuelo Espacial Goddard.



Resumen: El telescopio espacial Hubble de la NASA ha establecido un nuevo punto de referencia extraordinario: detectar la luz de una estrella que existió dentro de los

primeros mil millones de años después del nacimiento del universo en el big bang, la estrella individual más lejana jamás vista hasta la fecha.



Figura 1. Ilustración del telescopio espacial Hubble (imagen de archivo; elementos proporcionados por la NASA). Crédito: © dimazel / stock.adobe.com

El telescopio espacial Hubble de la NASA ha establecido un nuevo punto de referencia extraordinario: detectar la luz de una estrella que existió dentro de los primeros mil millones de años después del nacimiento del universo en el big bang, la estrella individual más lejana jamás vista hasta la fecha.

El hallazgo es un gran salto en el tiempo desde el anterior poseedor del récord de una sola estrella; detectada por Hubble en 2018. Esa estrella existía cuando el universo tenía unos 4000 millones de años, o el 30 por ciento de su edad actual, en un momento al que los astrónomos se refieren como "desplazamiento al rojo 1,5" (redshift 1.5).

Los científicos usan la palabra "desplazamiento al rojo" (del inglés redshift) porque a medida que el universo se expande, la luz de los objetos distantes se estira o "desplaza" a longitudes de onda más largas y rojas a medida que viaja hacia nosotros. La estrella recién detectada está tan lejos que su luz ha tardado 12900 millones de años en llegar a la Tierra, y se nos aparece como cuando el universo tenía solo el 7 por ciento de su edad actual, con un corrimiento al rojo de $z = 6.2$.

Los objetos más pequeños vistos anteriormente a una distancia tan grande son cúmulos de estrellas, incrustados dentro de las primeras galaxias. "Casi no lo creímos al

principio, estaba mucho más lejos que la estrella de mayor corrimiento al rojo más distante y anterior", dijo el astrónomo Brian Welch de la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, autor principal del artículo que describe el descubrimiento, que se publica en la revista Nature del 30 de marzo. El descubrimiento se realizó a partir de los datos recopilados durante el programa RELICS (Reionization Lensing Cluster Survey, Catálogo de Cúmulos por efecto lente de reionización) del Hubble, dirigido por el coautor Dan Coe en el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial (STScI), también en Baltimore. "Normalmente, a estas distancias, las galaxias enteras se ven como pequeñas manchas, con la luz de millones de estrellas mezclándose", dijo Welch. "La galaxia que alberga esta estrella ha sido magnificada y distorsionada por lentes gravitacionales en una larga media luna que llamamos Arco del Amanecer". Después de estudiar la galaxia en detalle, Welch determinó que una característica es una estrella extremadamente magnificada a la que llamó Earendel, que significa "estrella de la mañana" en inglés antiguo. El descubrimiento promete abrir una era inexplorada de formación estelar muy temprana. "Earendel existió hace tanto tiempo que es posible que no haya tenido todas las mismas materias primas que las estrellas que nos rodean hoy", explicó Welch. "Estudiar a Eärendel será una ventana a una era del universo con la que no estamos familiarizados, pero que nos llevó a todo lo que sabemos. Es como si hubiéramos estado leyendo un libro muy interesante, pero comenzamos con el segundo capítulo y ahora tendremos la oportunidad de ver cómo empezó todo", dijo Welch.

Cuando las estrellas se alinean

El equipo de investigación estima que Eärendel tiene al menos **50 veces la masa de nuestro Sol** y millones de veces más brillante, rivalizando con las estrellas más masivas conocidas. Pero incluso una estrella tan brillante y de gran masa sería imposible de ver a una distancia tan grande sin la ayuda del aumento natural de un enorme cúmulo de galaxias, WHL0137-08, que se encuentra entre nosotros y Eärendel. La masa del cúmulo de galaxias deforma el tejido del espacio, creando una poderosa lupa natural que distorsiona y amplifica enormemente la luz de los objetos distantes detrás de él. Gracias a la rara alineación con el cúmulo de galaxias de aumento, la estrella Eärendel aparece directamente o muy cerca de una onda en el tejido del espacio. Esta ondulación, que se define en óptica como "cáustica", proporciona el máximo aumento y brillo. El efecto es análogo a la superficie ondulada de una piscina que crea patrones de luz brillante en el fondo de la piscina en un día soleado. Las ondas en la superficie actúan como lentes y enfocan la luz del sol al máximo brillo en el fondo de la piscina. Esta cáustica hace que

la estrella Eärendel sobresalga del resplandor general de su galaxia de origen. Su brillo se magnifica mil veces o más. En este punto, los astrónomos no pueden determinar si Eärendel es una estrella binaria, aunque la mayoría de las estrellas masivas tienen al menos una estrella compañera más pequeña.

Confirmación con el telescopio espacial James Webb de la NASA

Los astrónomos esperan que Eärendel permanezca muy ampliada en los años venideros. Será observado por el telescopio espacial James Webb de la NASA. Se necesita la alta sensibilidad de Webb a la luz infrarroja para aprender más sobre Eärendel, porque su luz se estira (desplazada hacia el rojo) a longitudes de onda infrarrojas más largas debido a la expansión del universo. "Con Webb esperamos confirmar que Earendel es una estrella, así como medir su brillo y temperatura", dijo Coe. Estos detalles reducirán su tipo y etapa en el ciclo de vida estelar. "También esperamos encontrar que la galaxia Sunrise Arc carece de elementos pesados que se forman en las generaciones posteriores de estrellas. Esto sugeriría que Earendel es una estrella rara, masiva y pobre en metales", dijo Coe.

La composición de Eärendel será de gran interés para los astrónomos, porque se formó antes de que el universo se llenara con los elementos pesados producidos por sucesivas generaciones de estrellas masivas. Si los estudios de seguimiento encuentran que Eärendel solo se compone de hidrógeno y helio primordiales, sería la primera evidencia de las legendarias estrellas de Población III, que se supone que son las primeras estrellas nacidas después del Big Bang. Si bien la probabilidad es pequeña, Welch admite que es tentadora de todos modos. "Con el James Webb, podemos ver estrellas incluso más lejos que Earendel, lo que sería increíblemente emocionante", dijo Welch. "Iremos tan atrás como podamos. Me encantaría ver a Webb romper el récord de distancia de Eärendel". El Telescopio Espacial Hubble es un proyecto de cooperación internacional entre la NASA y la ESA (Agencia Espacial Europea). El Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA en Greenbelt, Maryland, administra el telescopio. El Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial (STScI) en Baltimore, Maryland, lleva a cabo operaciones científicas del Hubble. STScI es operado para la NASA por la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía en Washington, D.C.



Vídeo 1. Record Broken: Hubble Spots Farthest Star Ever Seen



Figura 1. La estrella Eärendel observada con efecto lente gravitacional. Acerca de esta imagen: La galaxia llamada del Arco del Amanecer (Sunrise Arc Galaxy) con la estrella más lejana jamás vista hasta ahora (2022), con el efecto lente gravitacional, estrella denominada Eärendel. La estrella apodada Eärendel (indicada con una flecha) está posicionada a lo largo de una onda en el espacio-tiempo que le da un aumento extremo, lo que le permite emerger a la vista desde su galaxia anfitriona, que aparece como una

mancha roja en el cielo. Toda la escena se ve a través de la lente distorsionada creada por un enorme cúmulo de galaxias en el espacio intermedio, lo que permite ver las características de la galaxia, pero también distorsiona su apariencia, un efecto que los astrónomos llaman lentes gravitacionales. Los puntos rojos a ambos lados de Eärendel son un cúmulo estelar que se refleja a ambos lados de la onda, como resultado de la distorsión de lente gravitacional. La galaxia entera, llamada Arco del Amanecer, aparece tres veces, y los nudos a lo largo de su longitud son cúmulos estelares más reflejados. La posición única de Earendel justo a lo largo de la línea de aumento más extremo permite que se detecte, aunque no sea un cúmulo. Credits: SCIENCE, NASA, ESA, Brian Welch (JHU), Dan Coe (STScI). IMAGE PROCESSING: NASA, ESA, Alyssa Pagan (STScI).



Figura 2. Sobre esta imagen. Farthest Lensed Star Earendel Compass. La brújula de la estrella Eärendel más lejana mediante el efecto lente gravitacional. Créditos. SCIENCE: NASA, ESA, Brian Welch (JHU), Dan Coe (STScI). IMAGE PROCESSING: NASA, ESA, Alyssa Pagan (STScI).

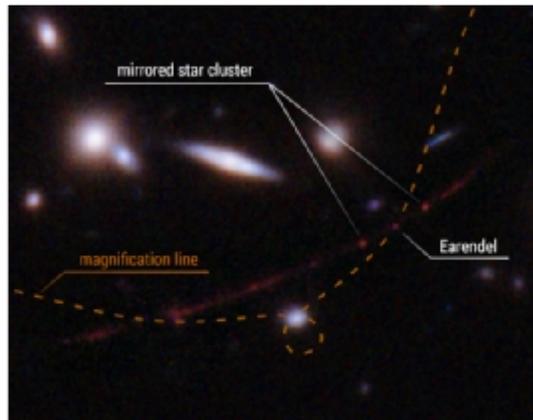


Figura 3. Lensing Close-up/Acercamiento de lente. Acerca de esta imagen: Vista detallada de Earendel en la línea de aumento extremo. Esta vista detallada destaca la posición de la estrella Eärendel a lo largo de una onda en el espacio-tiempo (línea punteada) que la amplía y hace posible que la estrella se detecte a una distancia tan grande: casi 13000 millones de años luz. También se indica un cúmulo de estrellas que se refleja a ambos lados de la línea de aumento. La distorsión y la ampliación son creadas por la masa de un enorme cúmulo de galaxias ubicado entre el Hubble y Eärendel. La masa del cúmulo de galaxias es tan grande que deforma el tejido del espacio-tiempo, y mirar a través de ese espacio es como mirar a través de una lupa: a lo largo del borde del cristal o lente, la apariencia de las cosas del otro lado se deforma como así como magnificada. Créditos: CIENCIA: NASA, ESA, Brian Welch (JHU), Dan Coe (STScI) PROCESAMIENTO DE IMÁGENES: NASA, ESA, Alyssa Pagan (STScI).

Cf. la noticia anterior de Science Daily, con la noticia original similar en la página web del Hubble (en medio de una gran expectación que esperaba el anuncio del descubrimiento de alienígenas, jejejeje...)

Incluso el poderoso Telescopio Espacial Hubble de la NASA puede beneficiarse de alguna ayuda, como lo demuestra su último descubrimiento: una estrella sin precedentes tan distante que se necesitó una combinación de la instrumentación sofisticada del telescopio y la lupa natural de la naturaleza para detectarla. La estrella, apodada Eärendel por los astrónomos, emitió su luz en los primeros mil millones de años del universo. Es un salto significativo más allá del récord de distancia anterior del Hubble,

en 2018, cuando detectó una estrella alrededor de 4 mil millones de años después del Big Bang. Hubble recibió un impulso al mirar a través del espacio deformado por la masa del enorme cúmulo de galaxias WHL0137-08, un efecto llamado lente gravitacional. Earendel estaba alineado sobre o muy cerca de una onda en el tejido del espacio creado por la masa del cúmulo, que aumentaba su luz lo suficiente como para ser detectada por el Hubble. El telescopio James Webb de la NASA hará un seguimiento para conocer el brillo, la temperatura y la composición de Earendel. Si bien las posibilidades de que Earendel sea una de las estrellas de la primera generación del universo son escasas, los astrónomos están ansiosos por conocer el entorno del universo primitivo.

El telescopio espacial Hubble de la NASA ha establecido un nuevo punto de referencia extraordinario: detectar la luz de una estrella que existió dentro de los primeros mil millones de años después del nacimiento del universo en el big bang, la estrella individual más lejana jamás vista hasta la fecha. El hallazgo es un gran salto en el tiempo desde el anterior poseedor del récord de una sola estrella; detectada por Hubble en 2018. Esa estrella existía cuando el universo tenía unos 4000 millones de años, o el 30 por ciento de su edad actual, en un momento al que los astrónomos se refieren como "desplazamiento al rojo 1.5". Los científicos usan la palabra "desplazamiento al rojo" porque a medida que el universo se expande, la luz de los objetos distantes se estira o "desplaza" a longitudes de onda más largas y rojas a medida que viaja hacia nosotros. La estrella recién detectada está tan lejos que su luz ha tardado 12900 millones de años en llegar a la Tierra, y se nos aparece como cuando el universo tenía solo el 7 por ciento de su edad actual, con un corrimiento al rojo de $z=6.2$. Los objetos más pequeños vistos anteriormente a una distancia tan grande son cúmulos de estrellas, incrustados dentro de las primeras galaxias.

"Casi no lo creímos al principio, estaba mucho más lejos que la anterior estrella de desplazamiento al rojo más distante y más alta", dijo el astrónomo Brian Welch de la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, autor principal del artículo. describe el descubrimiento, que se publica en la revista Nature del 30 de marzo. El descubrimiento se realizó a partir de datos recopilados durante RELICS de Hubble. (Reionization Lensing Cluster Survey), dirigido por el coautor Dan Coe en el Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial (STScI), también en Baltimore. "Normalmente, a estas distancias, las galaxias enteras se ven como pequeñas manchas, con la luz de millones de estrellas

mezclándose", dijo Welch. "La galaxia que alberga esta estrella ha sido magnificada y distorsionada por lentes gravitacionales en una larga media luna que llamamos Arco del Amanecer (Sunrise Arc Galaxy)". Después de estudiar la galaxia en detalle, Welch determinó que una característica es una estrella extremadamente magnificada a la que llamó Earendel, que significa "estrella de la mañana" en inglés antiguo. El descubrimiento promete abrir una era inexplorada de formación estelar muy temprana.

"Eärendel existió hace tanto tiempo que es posible que no haya tenido todas las mismas materias primas que las estrellas que nos rodean hoy", explicó Welch. "Estudiar a Eärendel será una ventana a una era del universo con la que no estamos familiarizados, pero que nos llevó a todo lo que sabemos. Es como si hubiéramos estado leyendo un libro muy interesante, pero comenzamos con el segundo capítulo y ahora tendremos la oportunidad de ver cómo empezó todo", dijo Welch.

Cuando las estrellas se alinean

El equipo de investigación estima que Eärendel tiene al menos 50 veces la masa de nuestro Sol y millones de veces más brillante, rivalizando con las estrellas más masivas conocidas. Pero incluso una estrella tan brillante y de gran masa sería imposible de ver a una distancia tan grande sin la ayuda del aumento natural de un enorme cúmulo de galaxias, WHL0137-08, que se encuentra entre nosotros y Eärendel. La masa del cúmulo de galaxias deforma el tejido del espacio, creando una poderosa lupa natural que distorsiona y amplifica enormemente la luz de los objetos distantes detrás de él.

Gracias a la rara alineación con el cúmulo de galaxias de aumento, la estrella Eärendel aparece directamente o muy cerca de una onda en el tejido del espacio. Esta ondulación, que se define en óptica como "cáustica", proporciona el máximo aumento y brillo. El efecto es análogo a la superficie ondulada de una piscina que crea patrones de luz brillante en el fondo de la piscina en un día soleado. Las ondas en la superficie actúan como lentes y enfocan la luz del sol al máximo brillo en el piso de la piscina. Esta cáustica hace que la estrella Eärendel sobresalga del resplandor general de su galaxia de origen. Su brillo se magnifica mil veces o más. En este punto, los astrónomos no pueden determinar si Eärendel es una estrella binaria, aunque la mayoría de las estrellas masivas tienen al menos una estrella compañera más pequeña.

Confirmación con el James Webb

Los astrónomos esperan que Eärendel permanezca muy ampliada en los años venideros. Será observado por el telescopio espacial James Webb de la NASA. Se necesita la alta sensibilidad de Webb a la luz infrarroja para aprender más sobre Eärendel, porque su luz se estira (desplazada hacia el rojo) a longitudes de onda infrarrojas más largas debido a la expansión del universo.

"Con Webb esperamos confirmar que Eärendel es una estrella, así como medir su brillo y temperatura", dijo Coe. Estos detalles reducirán su tipo y etapa en el ciclo de vida estelar. "También esperamos encontrar que la galaxia Sunrise Arc (Arco del Amanecer) carece de elementos pesados que se forman en las generaciones posteriores de estrellas. Esto sugeriría que Eärendel es una estrella rara, masiva y pobre en metales", dijo Coe. La composición de Eärendel será de gran interés para los astrónomos, porque se formó antes de que el universo se llenara con los elementos pesados producidos por sucesivas generaciones de estrellas masivas. Si los estudios de seguimiento encuentran que Eärendel solo se compone de hidrógeno y helio primordiales, sería la primera evidencia de las legendarias estrellas de Población III, que se supone que son las primeras estrellas nacidas después del Big Bang. Si bien la probabilidad es pequeña, Welch admite que es tentadora de todos modos. "Con Webb, podemos ver estrellas incluso más lejos que Eärendel, lo que sería increíblemente emocionante", dijo Welch. "Iremos tan atrás como podamos. Me encantaría ver al Webb romper el récord de distancia de Eärendel". El Telescopio Espacial Hubble es un proyecto de cooperación internacional entre la NASA y la ESA (Agencia Espacial Europea). El Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA en Greenbelt, Maryland, administra el telescopio. El Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial (STScI) en Baltimore, Maryland, lleva a cabo operaciones científicas del Hubble. STScI es operado para la NASA por la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía en Washington, D.C.

Créditos: CONTACTO CON LOS MEDIOS. Leah Ramsay, Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial, Baltimore, Maryland; Ray Villard, Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial, Baltimore, Maryland. CONTACTO CIENTÍFICO: Brian Welch, Universidad Johns Hopkins, Baltimore, Maryland. Dan Coe, Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial, Baltimore, Maryland.

Referencias

- [1] Brian Welch, Dan Coe, Jose M. Diego, Adi Zitrin, Erik Zackrisson, Paola Dimauro, Yolanda Jiménez-Teja, Patrick Kelly, Guillaume Mahler, Masamune Oguri, F. X. Timmes, Rogier Windhorst, Michael Florian, S. E. de Mink, Roberto J. Avila, Jay Anderson, Larry Bradley, Keren Sharon, Anton Vikaeus, Stephan McCandliss, Maruša Bradač, Jane Rigby, Brenda Frye, Sune Toft, Victoria Strait, Michele Trenti, Soniya Sharma, Felipe Andrade-Santos, Tom Broadhurst. *A highly magnified star at redshift 6.2*. Nature, 2022; 603: 815-818 [DOI: 10.1038/s41586-022-04449-y](https://doi.org/10.1038/s41586-022-04449-y)
- [2] *Record broken: Hubble spots farthest star ever seen*. Science Daily, URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/03/220330124628.htm>
- [3] Hubble lensed star Earendel, URLs: <https://hubblesite.org/contents/media/images/2022/003/01FWRZTQFDGGP05KM1PRCCNZ1E>, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2022/003/01FWS5ZFQT3VCK1MYKEW AJ31P7>, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2022/003/01FWS5FJ468Q4HV8C67PEQP VND>
- [4] *Record Broken: Hubble Spots Farthest Star Ever Seen*, URL: <https://hubblesite.org/contents/news-releases/2022/news-2022-003>
- [5] *A highly magnified star at redshift 6.2*, by Brian Welch et al. Nature volume 603, pages 815–818 (2022). Nature URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04449-y>
- [6] *A lucky cosmic alignment has revealed a single source of light in the first billion years after the big bang, setting up a major confirmation for the James Webb Space Telescope in its rookie year*. URL: <https://hubblesite.org/contents/news-releases/2022/news-2022-003>
- [7] RELICS site: <https://relics.stsci.edu/>

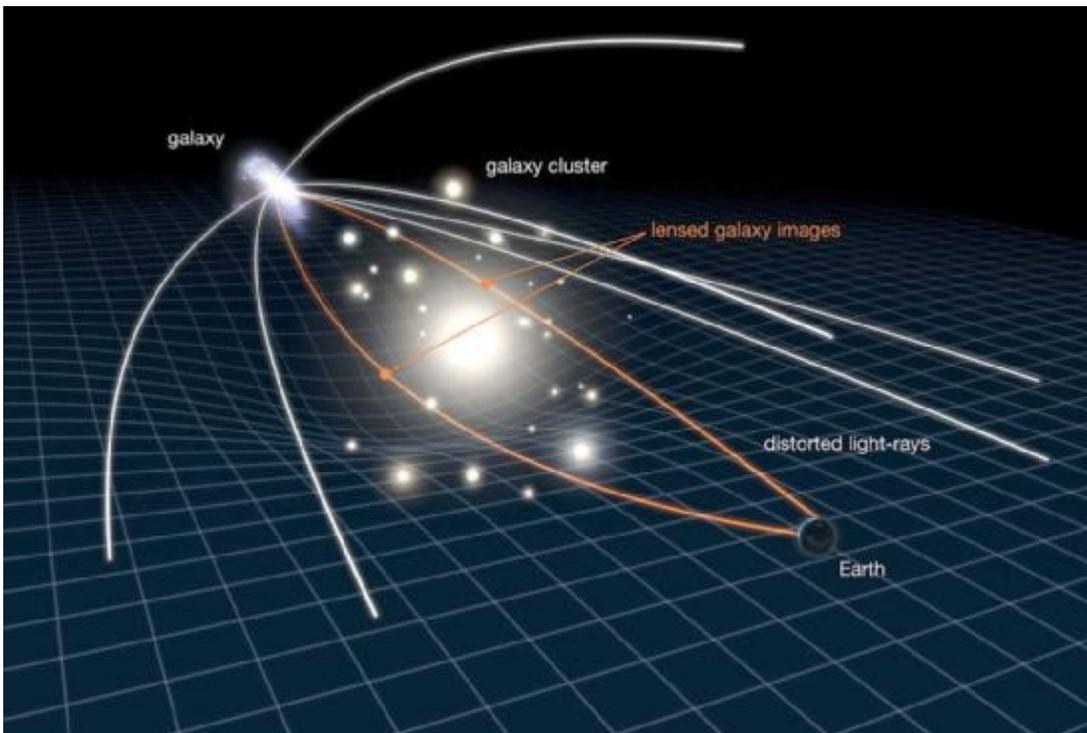


Figura 4. Imagen adicional de cómo se produce una lente gravitacional por un cúmulo de galaxias.

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

Apéndice

Una calculadora cosmológica muestra la diferencia entre el tiempo que ha tardado la luz en llegarnos y la distancia actual a Eärendel, para redshifts $z=6.2$ y $z=6.4$ en el modelo LCDM):

Enter values, hit a button

69.6	H_0
0.286	Ω_{galM}
6.4	z
<input type="button" value="Open"/> <input type="button" value="Flat"/>	
0.714	Ω_{vac}
<input type="button" value="General"/>	

Open sets $\Omega_{\text{vac}} = 0$ giving an open Universe [if you entered $\Omega_{\text{galM}} < 1$]
Flat sets $\Omega_{\text{vac}} = 1 - \Omega_{\text{galM}}$ giving a flat Universe.
General uses the Ω_{vac} that you entered.
[Source](#) for the default parameters.

For $H_0 = 69.6$, $\Omega_{\text{galM}} = 0.286$, $\Omega_{\text{vac}} = 0.714$, $z = 6.400$

- It is now 13.720 Gyr since the Big Bang.
- The age at redshift z was 0.866 Gyr.
- The [light travel time](#) was 12.854 Gyr.
- The [comoving radial distance](#), which goes into Hubble's law, is 8592.5 Mpc or 28.025 Gly.
- The comoving volume within redshift z is 2657.367 Gpc³.
- The [angular size distance](#) D_A is 1161.2 Mpc or 3.7872 Gly.
- This gives a scale of 5.629 kpc".
- The [luminosity distance](#) D_L is 63584.7 Mpc or 207.387 Gly.

1 Gly = 1,000,000,000 light years or $9.461 \cdot 10^{26}$ cm.
1 Gyr = 1,000,000,000 years.
1 Mpc = 1,000,000 parsecs = $3.08568 \cdot 10^{24}$ cm, or 3,261,566 light years.

[Tutorial: Part 1](#) | [Part 2](#) | [Part 3](#) | [Part 4](#)
[FAQ](#) | [Age](#) | [Distances](#) | [Bibliography](#) | [Relativity](#)

See the [advanced](#) and [light travel time](#) versions of the calculator.
[James Schombert](#) has written a [Python version](#) of this calculator.

Figura 5. Distancia real y de la luz a Eärendel, si $z=6.4$ en el modelo cosmológico estándar LCDM.

Enter values, hit a button

69.6	H_0
0.286	Ω_M
6.2	z
<input type="button" value="Open"/> <input type="button" value="Flat"/>	
0.714	Ω_{vac}
<input type="button" value="General"/>	

Open sets $\Omega_{vac} = 0$ giving an open Universe (if you entered $\Omega_M < 1$)
Flat sets $\Omega_{vac} = 1 - \Omega_M$ giving a flat Universe.
General uses the Ω_{vac} that you entered.
[Source](#) for the default parameters.

For $H_0 = 69.6$, $\Omega_M = 0.286$, $\Omega_{vac} = 0.714$, $z = 6.200$

- It is now 13.720 Gyr since the Big Bang.
- The age at redshift z was 0.903 Gyr.
- The [light travel time](#) was 12.818 Gyr.
- The [comoving radial distance](#), which goes into Hubble's law, is 8511.2 Mpc or 27.760 Gly.
- The comoving volume within redshift z is 2582.619 Gpc³.
- The [angular size distance \$D_A\$](#) is 1182.1 Mpc or 3.8556 Gly.
- This gives a scale of 5.731 kpc/".
- The [luminosity distance \$D_L\$](#) is 61280.6 Mpc or 199.872 Gly.

1 Gly = 1,000,000,000 light years or $9.461 \cdot 10^{26}$ cm.

1 Gyr = 1,000,000,000 years.

1 Mpc = 1,000,000 parsecs = $3.08568 \cdot 10^{24}$ cm, or 3,261,566 light years.

[Tutorial: Part 1](#) | [Part 2](#) | [Part 3](#) | [Part 4](#)
[FAQ](#) | [Age](#) | [Distances](#) | [Bibliography](#) | [Relativity](#)

See the [advanced](#) and [light travel time](#) versions of the calculator.

[James Schombert](#) has written a [Python version](#) of this calculator.

Figura 6. Distancia real y de la luz a Eärendel, si $z=6.2$ en el modelo cosmológico estándar LCDM.

A19. Planetas errantes, solitarios o vagabundos.

PLANETAS ERRANTES (SOLITARIOS o VAGABUNDOS)

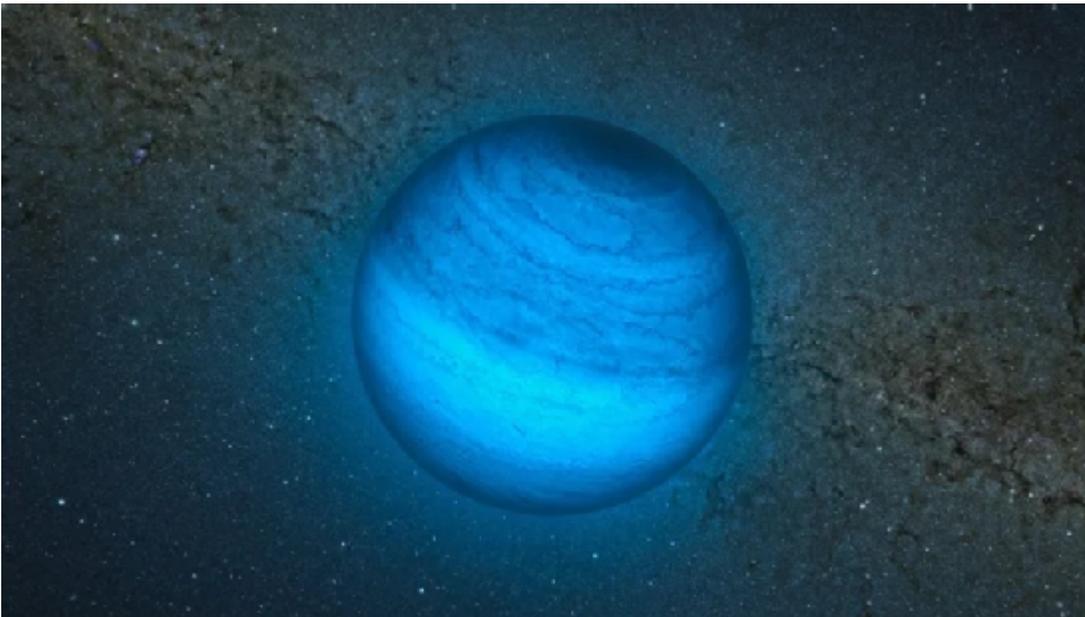


Figura 1. Representación artística del planeta errante CFBDSIR2149-0403. Fotografía de ESO/L. Calçada/P. Delorme/R. Saito/VVV Consortium.



Figura 2. La ilustración muestra un planeta errante con una luna capaz de albergar agua - Tommaso Grassi / LMU.

Los planetas errantes no tienen ni amaneceres ni atardeceres porque, al contrario de los planetas que más conocemos, estos planetas solitarios no se encuentran vinculados a una estrella. Por el contrario, viajan a lo largo de trayectorias solitarias sin ninguna estrella en la parte central de la Vía Láctea, en general.

Durante décadas, los astrónomos elaboraron hipótesis sobre la existencia de planetas que flotaban libremente en el espacio interestelar (o incluso en el espacio intergaláctico). Sin embargo, los científicos necesitaban encontrar una forma de hallarlos. Las dos maneras más conocidas para encontrar exoplanetas se basan en las estrellas de los planetas, ya sean vibraciones o bamboleos causados por las suaves fuerzas de la gravedad del planeta que orbita (método de la velocidad radial y desplazamiento Doppler), o por la ligera sombra que se produce cuando un planeta pasa entre la Tierra y su estrella (es el método de tránsito: cuando un planeta pasa entre la línea de visión que une la estrella y la Tierra eclipsará parcialmente la estrella, produciéndose una leve bajada de su brillo o luminosidad que podemos medir con nuestra tecnología actual -y futura). No ocurre así con los planetas errantes porque no pasan en general periódicamente alrededor de ninguna estrella porque no orbitan ninguna.

No obstante, un buen número de astrónomos afirman haber detectado ahora objetos de tipo planeta errante (por ejemplo, el objeto denominado Cha 110913-773444), pero siguen sin confirmarse otras detecciones.

Los astrónomos especulan que si la fracción de planetas errantes (también llamados planetas solitarios o planetas vagabundos) que hemos encontrado en la región estudiada es parecida en otras regiones de la Vía Láctea, y si en la Vía Láctea hay como pensamos unos 100000 millones (10^{11}) de estrellas, unos cálculos aproximados sugieren que deberíamos encontrar entre 2000 y 3000 millones de planetas vagabundos. Nuevos estudios sugieren que, a pesar de que estos mundos solitarios no orbitan alrededor de ninguna estrella, pueden mantener en sus satélites condiciones que hicieran posible albergar vida (incluso agua en algunas condiciones) o condiciones en las que la vida pudiera emerger y sostenerse. Las recientes investigaciones de Bárbara Ercolano y Tommaso Grassi, en la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich, y coautores de una colaboración en busca de estos mundos extraños solitarios, la simulación en ordenador de la estructura térmica de la atmósfera de una exoluna del tamaño de la Tierra, en órbita alrededor de un planeta solitario o errante del tamaño de Júpiter, podrían permitir dicha posibilidad. Sus resultados también apuntan a que la cantidad de agua presente en la superficie de esa luna sería unas 10000 veces el volumen total del agua de todos los océanos terrestres, pero solamente 100 veces mayor que la de la atmósfera de nuestro planeta. Por lo tanto, según estas investigaciones, sería más que suficiente para permitir que la vida emergiera y evolucionara de forma sostenida en la superficie de la exoluna.

Referencias

[1] *Una guía de planetas solitarios en la galaxia*. National Geographic, URL: <http://www.nationalgeographic.es/espacio/una-guia-de-planetas-solitarios-en-la-galaxia>

[2] *Planeta Interestelar*, Wikipedia, La Enciclopedia Libre. URL: http://es.m.wikipedia.org/wiki/Planeta_interestelar

En inglés, *Rogue planet*, ofrece más información, con una lista de candidatos a planetas errantes, en la URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rogue_planet

[3] *Planetas errantes pueden tener lunas que alberguen vida*. ABC Ciencia, URL: www.abc.es/ciencia/abci-lunas-planetas-errantes-pueden-albergar-agua-y-vida-202107061318_noticia_amp.html

[4] *Descubren 4 planetas errantes en el espacio profundo*. Revista online Tendencias 21, URL: <https://tendencias21.levante-emv.com/descubren-cuatro-planetas-errantes-en-el-espacio-profundo.html>

[5] *The Steppenwolf: A proposal for a habitable planet in interstellar space*, Dorian S. Abbot, Eric R. Switzer, arXiv.org: <https://arxiv.org/abs/1102.1108>

[6] *Rogue Planets Could Harbor Life in Interstellar Space*, Say Astrobiologists. technologyreview.com, URL: <https://www.technologyreview.com/2011/02/09/197130/rogue-planets-could-harbor-life-in-interstellar-space-say-astrobiologists/>

[7] *Cha 110913–773444*, Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Puede ser una sub-enana marrón o un planeta errante. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cha_110913%E2%88%92773444

[8] Gough, Evan (1 October 2020). [*"A Rogue Earth-Mass Planet Has Been Discovered Freely Floating in the Milky Way Without a Star"*](#). Universe Today. Retrieved 2 October 2020.

[9] Debes, John H.; Steinn Sigurðsson (20 October 2007). "The Survival Rate of Ejected Terrestrial Planets with Moons". *The Astrophysical Journal Letters*. 668 (2): L167–L170. arXiv:0709.0945

[10] *Moons of rogue planets could have water and life*, Posted by Paul Scott Anderson. July 10, 2021. URL: <https://earthsky.org/space/life-water-moons-rogue-planets/>

[11] *Presence of water on exomoons orbiting free-floating planets: a case study*, Patricio Javier Ávila, Tommaso Grassi, Stefano Bovino, Andrea Chiavassa, Barbara Ercolano, Sebastian Oscar Danielache and Eugenio Simoncini. *International Journal of Astrobiology* 20, 300–311. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1473550421000173>. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-astrobiology/article/presence-of-water-on-exomoons-orbiting-freefloating-planets-a-case-study/1863C1DB337F974DF8B2ACE4D5BB8319>

Artículo original (se adjunta abajo) escrito por: Óliver Aragón Martínez. (2ºESO. Grupo B).

Artículo corregido, revisado y ampliado por: Juan F. González

A20. La Batalla de las Ecuaciones/The Battle Of Equations

#1

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

PI

Energy-momentum relation

This relation simplifies to the famous $E=mc^2$ for objects at rest, illustrating that mass and energy are two sides of the same coin and can be converted from one form to another.

#2

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} & \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 & \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

PI

Maxwell's equations

If you're viewing this on a phone or computer, you can thank Maxwell's equations for making it possible. Together, they describe the relationship between electricity and magnetism - and electromagnetic radiation. Let there be light!

#3

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t)$$

PI

Schrödinger equation

The bread and butter of quantum mechanics, the Schrödinger equation describes the wave function of any quantum system and therefore tracks the system's observable properties over time.

#4

$$\mathbf{F} = ma$$

PI

Newton's second law

If you've ever taken a high school physics class, chances are you remember Newton's second law. It describes how an object's motion changes when a force is applied.

#5

$$\{H, I\} = \frac{dH}{dt_I} = 0 \Rightarrow \{I, H\} = \frac{dI}{dt} = 0$$

PI

Noether's Theorem

Stated simply, Noether's theorem shows that symmetries in nature are intrinsically linked to conservation laws. This profound insight has guided every branch of modern physics.

#6

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

PI

Uncertainty principle

A prime example of the quirks of quantum physics, the uncertainty principle says that there is a fundamental limit to how well we can pin down certain pairs of quantities, such as a particle's position and momentum.

#7

$$\Delta S \geq 0$$

PI

Second law of thermodynamics

The second law of thermodynamics explains why your coffee goes cold and maybe even why we grow old: isolated systems can't grow more ordered over time.

#8

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

PI

Einstein field equations

Believe it or not, there are 10 equations formulating the general theory of relativity – all packed into this tidy expression of how matter, energy, and the geometry of spacetime interact to produce gravity.

#9

$$i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu\psi - mc\psi = 0$$

PI

Dirac equation

If quantum physics describes the tiniest particles, and special relativity describes the fastest things, what of tiny, fast-moving particles? Enter the Dirac equation, which also predicted the existence of antimatter.

#10

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

PI

Newton's law of universal gravitation

For a couple of hundred years, this equation reigned supreme, explaining why the apple falls from the tree: any mass is attracted to another with a force that depends on the masses and the distance between them.

#11

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

PI

Friedmann equations

Want to know the fate of the universe? Look no further than these equations, which describe how the universe will evolve based on how much stuff (matter and energy) is in it and the current rate of expansion.

#12

$$S = k_B \ln \Omega$$

PI

Boltzmann's entropy

This definition, which is carved on Ludwig Boltzmann's tombstone, suggests that entropy is a thermodynamic property, much like pressure or volume. This subtle idea helps explain how microscopic phenomena relate to the macroscopic world.

#13

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

PI

Planck-Einstein relation

This equation ties together the wave and particle natures of light, showing that the energy of a photon is related to its frequency and wavelength.

#14

$$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i\sin(\theta)$$

PI

Euler's formula

Perhaps not technically a physics equation, this formula establishes a relationship between trigonometric functions and complex exponentials. The famous and beautiful Euler's identity is derived from this formula.

#15

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial q}, \quad \frac{dq}{dt} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial p}$$

Hamilton's equations

Hamilton's equations can be used to describe the motion of a bouncing ball or predict its trajectory into the basket. As long as the ball is not too small or moving too fast, this formulation of classical mechanics has you covered.

#16

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Stefan-Boltzmann law

Star light, star bright, the first star you see tonight ... can be described by this equation, which relates a star's luminosity to its temperature and radius.

Figura 1. Las 16 ecuaciones concursando en The Battle of Equations (La Batalla de las Ecuaciones), actividad online organizada por el Perimeter Institute de Canadá.

¿Cómo sería una batalla en la que no hubiera tiros, sino solamente decidiéramos quién gana por la importancia y la belleza de una ecuación matemática o de la Física? El Perimeter Institute (PI) de Canadá ha organizado una interesante competición online, denominada The Battle of Equations (BOE), La Batalla de las Ecuaciones, para decidir qué ecuación ganaría en una "contienda puramente intelectual".

El PI ha seleccionado 16 ecuaciones de la Física, Química y Matemáticas, y anda haciendo sucesivas "rondas de combate". En unos días, sabremos la ecuación ganadora que saldrá de las siguientes dos finalistas de la lista arriba indicada: el teorema de Noether (versión hamiltoniana) y las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo. ¡Hágase la luz! Fiat lux! ¿Cuál elegiríais vosotros? ¿Cuál es la ecuación más bonita? ¿La más importante? ¿Son todas útiles? ¿Debe una ecuación ser útil?

Las 16 ecuaciones de La Batalla de las Ecuaciones

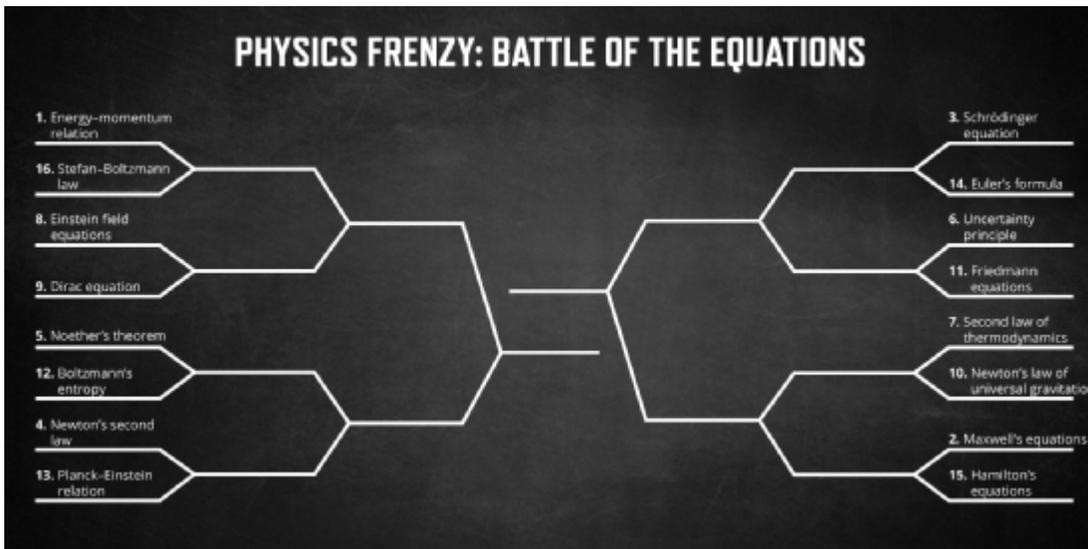


Figura 2. La lista inicial.

Los contendientes son los que siguen (se hace una breve descripción de su relevancia, aplicaciones e implicaciones):

Ecuación 1. Relación energía-momento-masa en la Teoría Especial de la Relatividad. $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$ ilustra la equivalencia entre masa y energía, cuando $p = 0 \text{ kgm/s}$, o la equivalencia entre energía-momento-masa, mostrando que esos 3 conceptos son 3 caras de la misma moneda: energía, movimiento y masa son tres lados de una misma realidad física.

Ecuación 2. Las ecuaciones de Maxwell (finalista). Las 4 ecuaciones de Maxwell, escritas en formato vectorial, rigen las leyes de todo el electromagnetismo. Desde la luz (una parte restringida del espectro electromagnético), que se propaga en el vacío a una velocidad de 300000 km/s, pasando por los microrondas, la refracción de un prisma o una lente, hasta los rayos gamma, los infrarrojos, la radio, el ultravioleta, los rayos X, internet, las fibras ópticas,...Una gran parte de nuestra actual tecnología se debe al dominio de las leyes electromagnéticas que Faraday, Lenz, Hertz y otros estudiaron, y que James C. Maxwell sintetizó como sigue:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

De hecho, aunque las ecuaciones de Maxwell escritas así parecen 4, ocultan realmente 8 ecuaciones escalares, ya que los campos eléctricos $\vec{E}(\vec{r},t)$ y magnéticos $\vec{B}(\vec{r},t)$ son campos vectoriales con 3 componentes. Además, es necesario suplementar

las ecuaciones de campo anteriores con la conservación de la carga eléctrica, dada por la ecuación de continuidad

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Las ecuaciones de Maxwell pueden reescribirse en un formalismo tensorial tetradimensional como dos simples ecuaciones

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = 4\pi \frac{j^\nu}{c}$$

$$\epsilon^{\mu\nu\sigma\tau} \partial_\nu F_{\sigma\tau} = 0$$

o equivalentemente, en un formalismo tetradimensional en términos de p-formas mediante

$$dF = 0$$

$$\star \delta \star F = J$$

En los finales del siglo XX, y principios del siglo XXI, algunos autores han logrado escribir las ecuaciones de Maxwell de forma compacta usando UNA simple ecuación. En la primera versión, las ecuaciones de Maxwell usan la estructura algebraica de los octoniones de Graves o números de Cayley:

$$\nabla F = J$$

mientras que la segunda versión generalizada, usa la formulación del álgebra geométrica (o álgebras de Clifford) en \mathbb{R}^4 , denominada $C(3,1)$, bajo la expresión formal

$$\partial F = (\partial \cdot + \partial \wedge) F = j$$

Finalmente, mencionar que las ecuaciones de Maxwell admiten generalizaciones no triviales cuando hay topologías y defectos en las fuentes, o también cambian ligeramente en dimensiones superiores y hay teorías gauge más complicadas (eso llevaría a hablar de las ecuaciones de Yang-Mills). Así, las ecuaciones de Maxwell generalizadas, pueden admitir objetos como los legendarios y misteriosos monopolos magnéticos, generalizaciones llamadas p-branas (objetos extensos de dimensión espacial p ; $p=0$ es un punto, $p=1$ una cuerda, $p=2$ una membrana...), términos topológicos denominados Chern-Simons (abelianos y no abelianos) ligados a la existencia de términos que incumplen o violan la simetría combinada de inversión de carga y de paridad (simetría CP), junto a generalizaciones de los mismos, permitiendo entonces la presencia de axiones u objetos similares. También pueden formularse las ecuaciones de Maxwell para objetos cargados de mayor dimensión de espacio (o de tiempo). Por ejemplo,

$$dF_p = 0$$

$$F_{p+1} = dA_p$$

En este caso, hay una versión de electromagnetismo abeliano aunque de mayor dimensión, y resulta útil en teorías como la teoría de supercuerdas, la teoría M o la teoría F. Una cuerda cargada por

electromagnetismo satisface una versión con $p=2$ de las ecuaciones anteriores. En tales casos, los campos electromagnéticos de la cuerda se denominan de Kalb-Ramond.

La generalización no abeliana de las ecuaciones de Maxwell, son las llamadas ecuaciones de Yang-Mills, y tienen un aspecto muy similar (aunque tienen propiedades diferentes como autoacoplos, y son más difíciles de resolver):

$$D_A F = 0$$

$$D_A F = J$$

$$F_A = dA + A \wedge A$$

Ecuación 3. La ecuación de Schrödinger (semifinalista). La ecuación de Schrödinger, la ecuación esencial de la Mecánica Cuántica. Describe determinísticamente cómo evoluciona la función de onda. A pesar de que la función de onda es un objeto no determinista, su evolución sigue reglas deterministas.

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi(\vec{r}, t)$$

Ecuación 4. La segunda ley de Newton para sistemas inerciales y de masa constante. $\vec{F} = m\vec{a}$. ¿Sabes cuáles son las fuerzas que actúan sobre un objeto o sistema de masa m constante, entonces puedes saber cómo se mueve en el futuro. Publicada en sus Principia, Newton revolucionó el conocimiento de la Física al aplicar dicha ley no solamente a los cuerpos terrestres, sino a los cuerpos celestes, una vez establecida su ley de gravitación universal.

Ecuación 5. El teorema de Noether (finalista), en versión hamiltoniana.

$$\{H, I\} = \frac{\partial H}{\partial t_I} = 0 \rightarrow \{I, H\} = \frac{dI}{dt} = 0$$

Emmy Noether estableció posiblemente uno de los resultados más profundos en la Física matemática contemporánea en el siglo XX. Mostró que las leyes de conservación están conectadas inexorablemente a principios o leyes de invariancia. Enunció dos teoremas, originalmente en formulación denominada lagrangiana, en la que específicamente probó dos teoremas:

1) Teorema 1 de Noether (simetrías continuas de grupos finitos, y leyes de conservación). La invariancia de un objeto llamado integral de acción, equivalentemente la cuasiinvarianza del integrando de la acción, llamado lagrangiano, bajo un conjunto de transformaciones continuas paramétricas (generalmente con estructura matemática de grupo con un grupo finito de parámetros), implica de forma inevitable la existencia de cantidades o magnitudes que no cambian con el tiempo,

i.e., constantes. Y recíprocamente, la existencia de dichas constantes implica necesariamente la existencia de simetrías o invariancias de la acción, cuasiinvarianzas del lagrangiano.

2) Teorema 2 (simetrías continuas de grupos infinitos, e identidades funcionales entre las ecuaciones dinámicas). La invariancia de un objeto llamado integral de acción, equivalente la cuasiinvarianza del integrando de la acción, llamado lagrangiano, bajo un conjunto de transformaciones dadas por funciones (generalmente con estructura matemática de grupo infinito de funciones), implica de forma inevitable la existencia de relaciones o identidades funcionales entre las ecuaciones dinámicas del sistema, que ella (Emmy Noether) denominó dependencias, pero que hoy día llamamos identidades de Noether.

Ecuación 6. El principio de incertidumbre o indeterminación de Heisenberg. Debido al carácter no determinista de la función de onda, y la dinámica de las ecuaciones cuánticas, hay unos límites a la precisión con la que se pueden medir simultáneamente varios observables mecanocuánticos. Para la posición y el momento,

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

y la indeterminación en la posición de la partícula implica una indeterminación en el momento $p = mv$ de la misma. Contra mejor se conoce una, peor se conoce la otra, en un experimento simultáneo. No aplica a experimentos separados (lo cual es causa de confusión frecuente).

Ecuación 7. La segunda ley de la Termodinámica. $\Delta S \geq 0$. ¿Por qué se desordena la habitación? ¿Por qué envejecemos? ¿Por qué se enfría el Universo? La razón es la segunda ley de la Termodinámica, que indica que para sistemas cerrados y aislados, la entropía no puede decrecer, sino solamente permanecer inalterada o aumentar con el transcurso del tiempo.

Ecuación 8. Las ecuaciones de campo de Einstein (semifinalista). El espacio-tiempo le dice a la materia-energía cómo moverse, la materia-energía le dice al espacio-tiempo como curvarse o deformarse. La teoría gravitacional de Einstein señala que la gravedad es el efecto de la curvatura del espacio-tiempo en el que vivimos. De forma compacta, las ecuaciones de campo de Einstein se escriben:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

donde se ha puesto explícitamente el término cosmológico al lado izquierdo (que hoy día se escribe al lado derecho y se interpreta como la denominada energía oscura).

Ecuación 9. La ecuación de Dirac (para un espinor). Enunciada por P. A. M. Dirac en el siglo XX, es la ecuación relativista que describe las partículas como el electrón y otras varias. Predice la existencia de la antimateria, que fue descubierta años después (el positrón) de la formulación de la ecuación, en un experimento de observación de rayos cósmicos.

$$i\hbar\gamma^\mu \partial_\mu \Psi - mc\Psi(x,y,z,t) = 0$$

Ecuación 10. La ley de gravitación universal de Newton en un espacio de 3+1 dimensiones de espacio-tiempo. Enunciada por Sir Isaac Newton, establece la conocida dependencia de la fuerza gravitacional con la masa de los objetos y la distancia entre los mismos. Para el espacio euclídeo 3d (o el espacio-tiempo 4d) adquiere la forma

$$\vec{F} = -G_N \frac{Mm}{r^2} \vec{u}_r$$

Ecuación 11. Las ecuaciones de Friedmann, para un universo homogéneo e isótropo. ¿Quieres saber el destino del Universo? Solamente debes conocer los tipos de materia y energía que hay en el mismo (supuesto homogéneo e isótropo), su curvatura, la ecuación de estado y el ritmo de expansión. Aplica luego estas ecuaciones y podrás determinar el futuro cósmico.

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

Ecuación 12. La entropía de Boltzmann. ¿Por qué hay entropía en el Universo? La clave es pensar que el Universo macroscópico es el resultado de las diferentes combinaciones de partículas existentes a nivel microscópico (átomos, moléculas...). En un ejercicio de intuición e imaginación increíble, así como de un talento matemático sin par, Ludwig Boltzmann determinó la conexión entre la entropía y el número de posibles configuraciones microscópicas compatibles con un sistema, justificando la Termodinámica mediante la teoría atómico-molecular. "Si tiene entropía, puedes calentarlo". Matemáticamente, la ecuación que está en la lápida de Boltzmann (tras un suicidio inducido por depresión generada por bullying académico)

$$S = k_B \ln \Omega$$

Ecuación 13. La relación de Planck-Einstein. La ecuación que relaciona el carácter ondulatorio y corpuscular de la luz está dada por la celeberrima relación de Planck y de Einstein:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

donde $f = \nu$ es la frecuencia del fotón, y λ su longitud de onda. h es la constante de Planck, y c la velocidad de la luz. De esta misma expresión se deduce que la luz tiene un momento $p = E/c = hk$.

Ecuación 14. La fórmula de Euler. La denominada algunas veces "ecuación más bella de las Matemáticas", relaciona las dos funciones más importantes de la trigonometría plana con la exponencial de los números complejos. No directamente en la Física (o Química), resulta de utilidad en Ingeniería para la descripción de fasores y circuitos oscilantes, es útil en la mnemotecnica de ecuaciones trigonométricas de forma compacta, y es esencial en la parametrización de los elementos de grupos de Lie (abelianos y no abelianos). En la Física Cuántica, también es esencial para la comprensión de la evolución unitaria de la función de onda.

$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$$

Ecuación 15. Las ecuaciones de Hamilton. En una formulación matemática diferente pero equivalente a la formulación habitual de Newton, se pueden describir los sistemas o partículas, y sus movimientos, mediante la denominada formulación hamiltoniana. Usando una función u operador matemático llamado hamiltoniano $H(x,p)$, se puede describir cómo evolucionan de forma simétrica tanto la posición como el momento de una partícula o sistema, bajo ciertas consideraciones.

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$\frac{dx}{dt} = + \frac{\partial H}{\partial p}$$

Ecuación 16. La ley de Stefan-Boltzmann, en formato luminosidad-radio estelar. Un objeto caliente emite ondas electromagnéticas con cierta potencia o luminosidad. Para una estrella, planeta o cuerpo de radio R , dicha potencia o luminosidad está relacionada con la temperatura absoluta mediante la relación matemática

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$$

La dependencia a la cuarta potencia, también está ligada al hecho de que el mundo y Universo observado es, aparentemente, 3+1 dimensional (3 dimensiones espaciales, y una dimensión temporal).

¡Que las ecuaciones os acompañen, ahora y siempre!

Referencias

[1] *Physics Frenzy: Battle of the Equations*. **Help us crown the all-time greatest physics equation with a March Madness-style showdown for the ages!** Traducción-> Frenesí de la física: Batalla de las ecuaciones. ¡Ayúdanos a coronar la ecuación física más grande de todos los tiempos con un enfrentamiento al estilo March Madness para las edades! <https://insidetheperimeter.ca/physics-frenzy-battle-of-the-equations>

Artículo escrito y editado por Juan F. González.

A21. Fluctuaciones de espín y superconductividad basada en el hierro.

La superconductividad basada en el hierro podría estar causada por las fluctuaciones del espín, por S. Chen.

Un experimento encuentra que las fluctuaciones de espín en un superconductor a base de hierro tienen una dirección preferida o privilegiada, lo que sugiere un mecanismo potencial para la superconductividad en estos materiales.

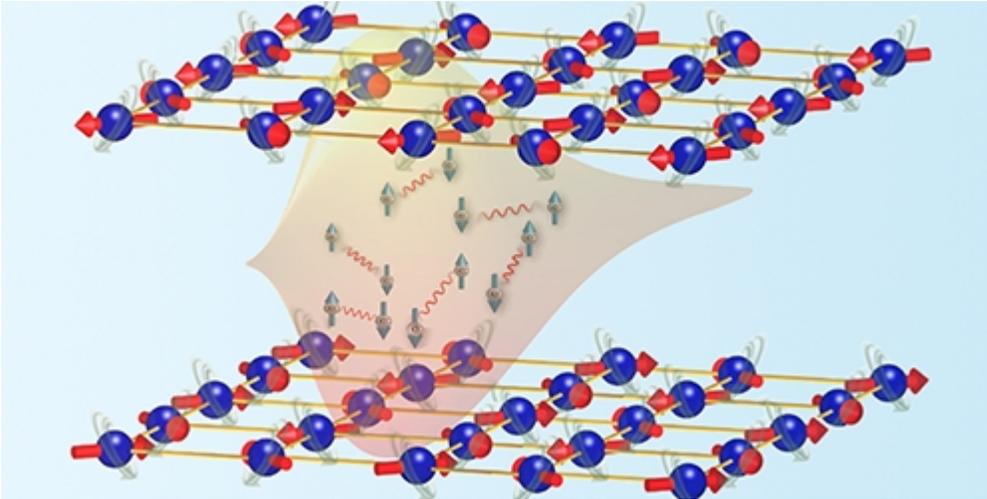


Figura 1. H. Luo y C. Liu/Instituto de Física, Academia de Ciencias de China. Imagen de cómo las fluctuaciones de espín podrían explicar la superconductividad en compuestos basados en el hierro, para las que hasta ahora no había una buena explicación.

En los superconductores convencionales, el mecanismo que hace que los electrones se apareen y fluyan sin resistencia se comprende razonablemente bien. Sin embargo, en los superconductores no convencionales a base de hierro, los giros de los electrones que transportan corriente interactúan con los momentos magnéticos de los átomos de hierro, lo que agrega una complicación que hace que el fenómeno sea más difícil de explicar.

Huiqian Luo de la Academia de Ciencias de China y sus colegas se propusieron aclarar la comprensión de los físicos sobre la superconductividad en estos materiales mediante la caracterización de la dinámica de espín en el superconductor de pnictida de hierro $\text{CaK}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_4\text{As}_4$ [1]. $\text{CaK}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_4\text{As}_4$ es un compuesto bicapa en el que capas de arseniuro de hierro-níquel separan capas alternas de calcio y potasio. Uno de los órdenes magnéticos que presenta este material se conoce como "cristal de vórtice de espín", en el que los átomos de hierro se sientan en una red cuadrada con sus espines apuntando hacia los centros de los cuadrados. Luo y sus colegas utilizaron la dispersión de neutrones polarizados para sondear las fluctuaciones de espín de una muestra en la que este orden de vórtice de espín coexiste con la superconductividad. Los investigadores encontraron que los giros experimentaban fluctuaciones de giro de baja energía, que tendían a rotar los ejes de giro a una alineación perpendicular a las capas de arseniuro de hierro y níquel. Atribuyen este eje de fluctuación preferido al acoplamiento espín-órbita entre los átomos de hierro y los electrones itinerantes. El equipo también observó que esta preferencia era más fuerte en el régimen superconductor pero persistió muy por encima

de la temperatura crítica. Sugieren, por lo tanto, que el efecto ofrece un mecanismo superconductor potencial: a medida que el material se enfría hacia su temperatura crítica, las fluctuaciones promueven la superconductividad al ayudar a los electrones itinerantes a emparejarse. Investigaciones anteriores han encontrado que otros órdenes magnéticos de superconductores de pnictida de hierro también exhiben esta dirección preferida de fluctuación de espín. Luo y sus colegas dicen que esto sugiere un mecanismo común para la superconductividad impulsada por espín en todos esos materiales.

–Sofía Chen. Sophia Chen es una escritora científica independiente con sede en Columbia, Ohio.

Referencias

[1] C. Liu et al., “Preferred spin excitations in the bilayer iron-based superconductor $\text{CaK}(\text{Fe}_{0.96}\text{Ni}_{0.04})_4\text{As}_4$ with spin-vortex crystal order,” *Phys. Rev. Lett.* 128, 137003 (2022).

[2] *Spin Fluctuations May Drive Iron-Based Superconductivity*, March 31, 2022. *Physics* 15, s45. URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/s45>
An experiment finds that spin fluctuations in an iron-based superconductor have a preferred direction, suggesting a potential mechanism for superconductivity in these materials.

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A22. Impacto de los vientos del agujero negro, la radiación examinada en un nuevo estudio

por Ryan Randall, Instituto de Tecnología de Florida.

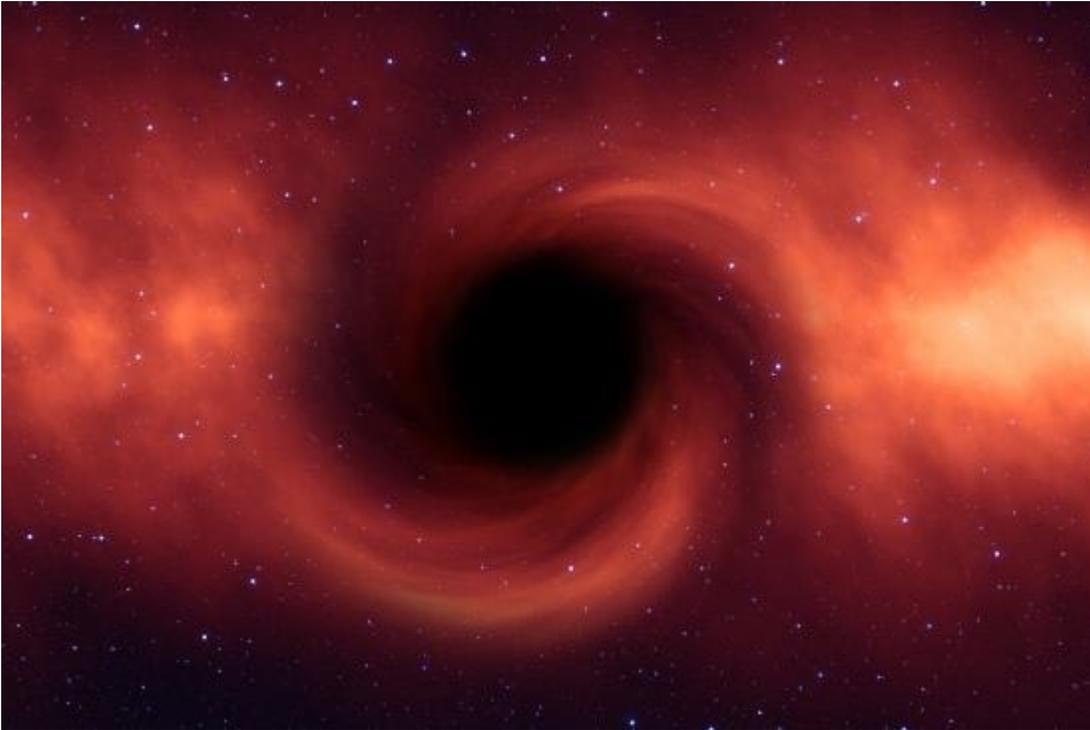


Figura 1. Credit: Pixabay/CC0 Public Domain. Crédito: Pixabay/CC0 Dominio Público.

Los agujeros negros son regiones del espacio donde la gravedad es tan fuerte que nada puede escapar. Una nueva investigación está examinando la radiación y los vientos que emanan de la actividad de los agujeros negros y muestra cómo pueden ejercer efectos en los planetas cercanos.

"El impacto de los flujos de AGN (Active Galactic Nuclei, Núcleos Activos de Galaxias) en la habitabilidad de la superficie de los planetas terrestres en la Vía Láctea" es un artículo de investigación del equipo del astrobiólogo Manasvi Lingam y el astrofísico Eric Perlman del Departamento de Ciencias Aeroespaciales, Físicas y Espaciales de Florida Tech, así como investigadores de la Universidad de Roma, la Universidad de Maryland y el Centro de Vuelo Espacial Goddard. Publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, el artículo examina los efectos del agujero negro supermasivo en el centro de nuestra galaxia en la atmósfera de los planetas de la Vía Láctea. El documento se centra en dos mecanismos clave: cómo los vientos de los agujeros negros pueden calentar las atmósferas e impulsar el escape atmosférico, y cómo pueden estimular la formación de óxidos de nitrógeno y, por lo tanto, provocar el agotamiento del ozono. Para estudiar cómo los agujeros negros pueden afectar la atmósfera de un planeta, el equipo desarrolló modelos matemáticos para estimar la distancia máxima hasta la cual estos efectos se vuelven significativos para los planetas

similares a la Tierra en la Vía Láctea. Esto demostró que este valor puede extenderse aproximadamente más de 3.000 años luz. En el caso de los cuásares que albergan agujeros negros supermasivos más grandes, la investigación encontró que tales efectos podrían influir en la galaxia anfitriona del agujero negro en su conjunto.

"Resulta que cuando tienes un agujero negro supermasivo que está activo, no solo produce radiación, sino que también produce muchas partículas de alta energía que son alimentadas por el agujero negro", dijo Lingam. "Es fácil visualizarlo como un viento que se mueve rápidamente, como un huracán extremadamente amplificado. Tienes este viento de partículas de alta energía que emana de la vecindad del agujero negro al 10% de la velocidad de la luz, más de mil veces más rápido que nuestra nave espacial actual". La radiación que emiten los agujeros negros es esencialmente partículas de luz conocidas como fotones. Pero si los agujeros negros son conocidos principalmente porque nada escapa de ellos, ¿por qué se emite esta luz al igual que las partículas de alta energía en el viento? Lo que sucede es que hay mucho gas que rodea al agujero negro durante su fase activa. El agujero negro comienza a consumir parte de ese gas. Pero no se lo come de una manera totalmente eficiente: a medida que el agujero negro consume más y más gas, el gas cae hacia el agujero negro. Mientras cae hacia el interior del agujero negro, se calienta. Al igual que cuando te frota las manos y la fricción genera calor, la fricción experimentada por el gas que se mueve en espiral hacia el interior del agujero negro hace que se caliente y finalmente libere energía en forma de fotones. Piense en ello como una forma de indigestión interestelar, dijo Lingam. "Esta radiación puede bombardear las atmósferas", dijo. "Puede llevar a que esas atmósferas se erosionen. Puede proporcionar mucha radiación ultravioleta, puede ser dañino para la biología, etc. Algunas de las mismas ramificaciones se aplican a los vientos de alta velocidad del agujero negro también. Estos fueron algunos de los muchos efectos que observamos". Todavía queda mucho por investigar sobre el viento en los agujeros negros. Lingam señaló que el modelo considera la expansión uniforme del viento en todo el espacio, mientras que el trabajo futuro necesitaría examinar la emisión de radiación y vientos en forma de chorros, que espera investigar con Perlman y sus colegas italianos. Para aquellos que están preocupados por la radiación y los vientos del agujero negro supermasivo de la Vía Láctea que afectan a la Tierra, no hay razón para preocuparse. "Lo bueno que aprendimos durante el curso de este trabajo es que muchos de estos efectos se extienden hasta 3000 años luz, quizás 5000 años luz, en algunos casos extremos", dijo Lingam. "Pero la Tierra afortunadamente se encuentra a 26.000

años luz del centro de la Vía Láctea, por lo que está cómodamente fuera de esa zona de influencia, si podemos llamarla así, de la actividad del agujero negro. Por lo tanto, podríamos considerarnos afortunados de habitar esta región relativamente pacífica de nuestra galaxia".

Referencias

[1] *Impact of black hole winds, radiation examined in new study*, by Ryan Randall, Florida Institute of Technology. URL: <https://phys.org/news/2022-03-impact-black-hole.html>

[2] A Ambrifi et al, *The impact of AGN outflows on the surface habitability of terrestrial planets in the Milky Way*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2022). DOI: 10.1093/mnras/stac542: <https://dx.doi.org/10.1093/mnras/stac542>

Artículo editado y traducido por: Juan F. González

A23. Cristales coloidales.

Los rayos X ayudan a los científicos a utilizar ADN de diseño para descubrir nuevas formas de material: cristales coloidales

por el Laboratorio Nacional de Argonne.



Figura 1. La línea de luz de 12 ID en el APS, donde se realizaron los estudios de rayos X para esta investigación. Crédito: Xiaobing Zuo, Laboratorio Nacional de Argonne.

Un equipo de investigación dirigido por la Universidad Northwestern y la Universidad de Michigan ha desarrollado un nuevo método para ensamblar partículas en cristales coloidales, un tipo valioso de material utilizado para sensores químicos y biológicos y dispositivos de detección de luz. Usando este método, el equipo ha demostrado por primera vez cómo se pueden diseñar estos cristales de formas que no se encuentran en la naturaleza.

El equipo utilizó Advanced Photon Source (APS), una instalación para usuarios de la Oficina de Ciencias del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) en el Laboratorio Nacional Argonne del DOE, para confirmar su descubrimiento fundamental. "Un potente haz de rayos X permite las mediciones de alta resolución que necesita para estudiar este tipo de ensamblaje. El APS es una instalación ideal para realizar esta investigación", comentó Byeongdu Lee, del Laboratorio Nacional de Argonne.

"Hemos descubierto algo fundamental sobre el sistema para fabricar nuevos materiales", dijo Chad A. Mirkin, profesor de química George B. Rathmann en la Facultad de Artes y Ciencias Weinberg de Northwestern. "Esta estrategia para romper la simetría reescribe las reglas para el diseño y la síntesis de materiales". La investigación fue dirigida por Mirkin y Sharon C. Glotzer, presidente del departamento de Ingeniería Química Anthony C. Lembke en la Universidad de Michigan, y se publicó en la revista *Nature Materials*.

Los cristales coloidales son partículas muy pequeñas con otras partículas más pequeñas (llamadas nanopartículas) dispuestas en su interior de forma ordenada o simétrica. Se pueden diseñar para aplicaciones que van desde sensores de luz y láser hasta comunicaciones e informática. Para esta investigación, los científicos intentaron romper la simetría natural de la naturaleza, que tiende a ordenar partículas diminutas de la manera más simétrica. "Imagínese que está apilando pelotas de baloncesto en una caja", dijo Byeongdu Lee de Argonne, líder de grupo en APS y autor del artículo. "Tendría una forma específica de hacerlo que obtendría el máximo valor del espacio. Así es como lo hace la naturaleza".

Sin embargo, dice Lee, si las bolas se desinflan en cierta medida, puedes apilarlas en un patrón diferente. El equipo de investigación, dijo, está tratando de hacer lo mismo con los nanomateriales, enseñándoles a autoensamblarse en nuevos patrones. Para esta

investigación, los científicos usaron ADN, la molécula dentro de las células que transporta la información genética. Los científicos han aprendido lo suficiente sobre el ADN como para poder programarlo para que siga instrucciones específicas. Este equipo de investigación usó ADN para enseñar a las nanopartículas metálicas a ensamblarse en nuevas configuraciones. Los investigadores adhirieron moléculas de ADN a las superficies de nanopartículas de diferentes tamaños y descubrieron que las partículas más pequeñas se movían alrededor de las más grandes en los espacios entre ellas, mientras aún unían las partículas en un nuevo material.

"El uso de nanopartículas grandes y pequeñas, donde las más pequeñas se mueven como electrones en un cristal de átomos de metal, es un enfoque completamente nuevo para construir estructuras de cristal coloidal complejas", dijo Glotzer. Al ajustar este ADN, los científicos cambiaron los parámetros de las pequeñas partículas equivalentes a electrones y, por lo tanto, cambiaron los cristales resultantes. "Exploramos estructuras más complejas donde el control sobre el número de vecinos alrededor de cada partícula produjo una mayor ruptura de la simetría", dijo Glotzer. "Nuestras simulaciones por computadora ayudaron a descifrar los patrones complicados y revelar los mecanismos que permitieron que las nanopartículas los crearan". Este enfoque sentó las bases para tres nuevas fases cristalinas nunca antes sintetizadas, una de las cuales no tiene un equivalente natural conocido.

"Los ensamblajes de partículas coloidales siempre tienen alguna analogía en el sistema atómico natural", dijo Lee. "Esta vez, la estructura que encontramos es completamente nueva. Por la forma en que se ensambla, no hemos visto metales, aleaciones metálicas u otros materiales ensamblarse naturalmente de esta manera". "Aún no conocemos las propiedades físicas del material", dijo Lee. "Ahora se lo entregamos a los científicos de materiales para que creen este material y lo estudien". El equipo utilizó los haces de rayos X ultrabrillantes del APS para confirmar la nueva estructura de sus cristales. Utilizaron los instrumentos de dispersión de rayos X de ángulo pequeño de alta resolución en las líneas de luz 5-ID y 12-ID para crear imágenes precisas de la disposición de las partículas que habían creado.

"Un potente haz de rayos X permite las mediciones de alta resolución que necesita para estudiar este tipo de ensamblaje", dijo Lee. "La APS es una instalación ideal para

realizar esta investigación". El APS se encuentra actualmente en una actualización masiva, que Lee señaló que permitirá a los científicos determinar estructuras aún más complejas en el futuro. Los instrumentos del 12-ID también se están actualizando para aprovechar al máximo los haces de rayos X más brillantes que estarán disponibles. Estos cristales coloidales de baja simetría tienen propiedades ópticas que no se pueden lograr con otras estructuras cristalinas y pueden encontrar uso en una amplia gama de tecnologías. Sus propiedades catalíticas también son diferentes. Pero las nuevas estructuras reveladas aquí son solo el comienzo de las posibilidades ahora que se comprenden las condiciones para romper la simetría.

"Estamos en medio de una era sin precedentes de síntesis y descubrimiento de materiales", dijo Mirkin. "Este es otro paso adelante para sacar materiales nuevos e inexplorados del cuaderno de bocetos y ponerlos en aplicaciones que puedan aprovechar sus propiedades raras e inusuales".

Referencias

- [1] *X-rays help scientists use designer DNA to uncover new forms of material*, by Argonne National Laboratory, March 31, 2022. Phys.org. URL: <https://phys.org/news/2022-03-x-rays-scientists-dna-uncover-material.html>
- [2] Shunzhi Wang et al., *The emergence of valency in colloidal crystals through electron equivalents*, Nature Materials (2022). DOI: [10.1038/s41563-021-01170-5](https://doi.org/10.1038/s41563-021-01170-5)

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A24. Detección de ondas gravitacionales mediante algoritmos cuánticos. Nuevo algoritmo podría ser un salto cuántico en la búsqueda de ondas gravitacionales

por la Universidad de Glasgow

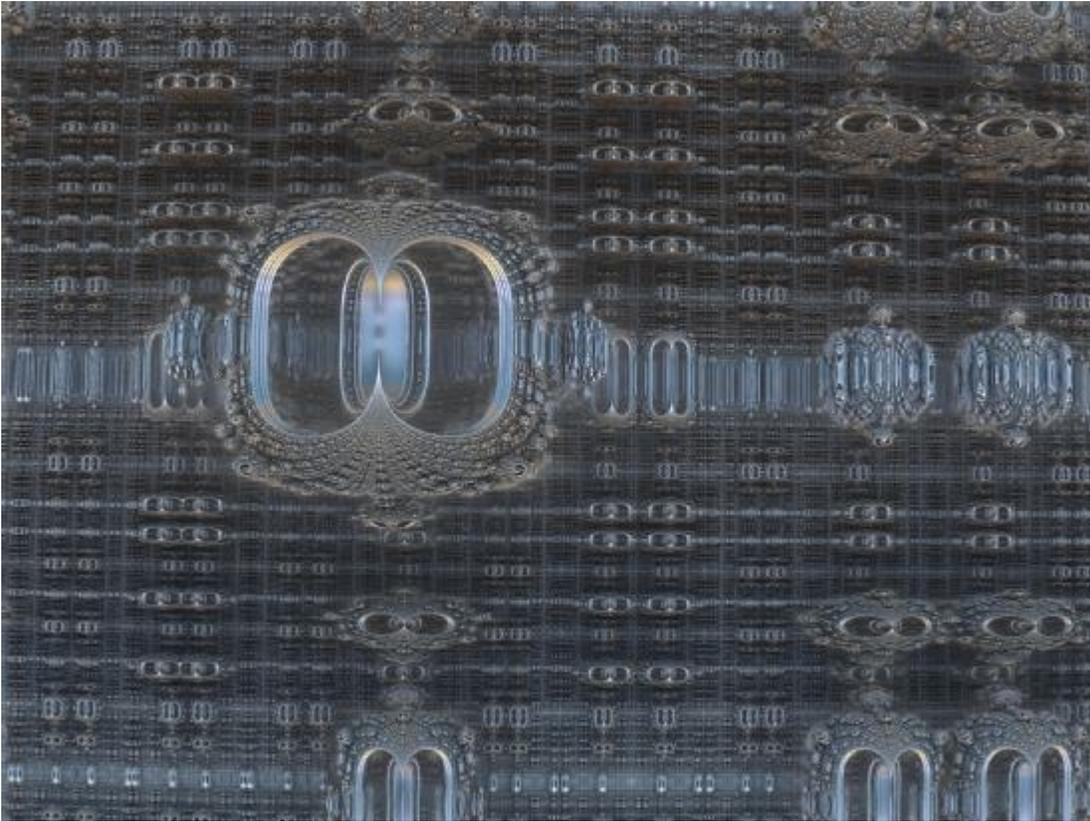


Figura 1. Crédito: CC0 Dominio público. Circuito cuántico.

Un nuevo método para identificar señales de ondas gravitacionales utilizando la computación cuántica podría proporcionar una nueva herramienta valiosa para los futuros astrofísicos. Un equipo de la Facultad de Física y Astronomía de la Universidad de Glasgow ha desarrollado un algoritmo cuántico para reducir drásticamente el tiempo que lleva hacer coincidir las señales de ondas gravitacionales con un vasto banco de datos de plantillas de formas de onda gravitacionales. Este proceso, conocido como filtrado combinado, es parte de la metodología que sustenta algunos de los descubrimientos de señales de ondas gravitacionales de detectores como el Observatorio Gravitacional de Interferómetro Láser (LIGO) en Estados Unidos y Virgo en Italia.

Esos detectores, los sensores más sensibles jamás creados, captan las débiles ondas en el espacio-tiempo causadas por eventos astronómicos masivos como la colisión y fusión de agujeros negros. El filtrado combinado permite que las computadoras seleccionen señales de ondas gravitacionales del ruido de los datos recopilados por el detector. Funciona examinando los datos, buscando una señal que coincida con una entre potencialmente cientos de billones de plantillas de ondas gravitacionales con las que comparar: piezas de datos creados previamente que probablemente se correlacionen con

una señal de onda gravitacional genuina.

Si bien el proceso ha permitido numerosas detecciones de ondas gravitacionales desde que LIGO captó su primera señal en septiembre de 2015, requiere mucho tiempo y recursos. En un nuevo artículo publicado en la revista *Physical Review Research*, el equipo describe cómo el proceso podría acelerarse en gran medida mediante una técnica de computación cuántica llamada algoritmo de Grover. El algoritmo de Grover, desarrollado por el científico informático Lov Grover en 1996, aprovecha las capacidades y aplicaciones inusuales de la teoría cuántica para hacer que el proceso de búsqueda en las bases de datos sea mucho más rápido.

Si bien las computadoras cuánticas capaces de procesar datos utilizando el algoritmo de Grover aún son una tecnología en desarrollo, las computadoras convencionales son capaces de modelar su comportamiento, lo que permite a los investigadores desarrollar técnicas que pueden adoptarse cuando la tecnología haya madurado y las computadoras cuánticas estén fácilmente disponibles. El equipo de Glasgow es el primero en adaptar el algoritmo de Grover para la búsqueda de ondas gravitacionales. En el artículo, demuestran cómo lo han aplicado a las búsquedas de ondas gravitacionales a través de un software que desarrollaron utilizando el lenguaje de programación Python y Qiskit, una herramienta para simular procesos de computación cuántica.

El sistema que desarrolló el equipo es capaz de acelerar el número de operaciones proporcionalmente a la raíz cuadrada del número de plantillas. Los procesadores cuánticos actuales son mucho más lentos para realizar operaciones básicas que las computadoras clásicas, pero a medida que la tecnología se desarrolla, se espera que su rendimiento mejore. Esta reducción del número de cálculos se traduciría en una aceleración del tiempo. En el mejor de los casos, eso significa que, por ejemplo, si una búsqueda usando computación clásica tomaría un año, la misma búsqueda podría tomar tan solo una semana con su algoritmo cuántico. La Dra. Scarlett Gao, de la Facultad de Física y Astronomía de la Universidad, es una de las autoras principales del artículo. El Dr. Gao dijo: "El filtrado combinado es un problema que el algoritmo de Grover parece estar bien ubicado para ayudar a resolver, y hemos podido desarrollar un sistema que muestra que la computación cuántica podría tener aplicaciones valiosas en la astronomía de ondas gravitacionales".

"Mi coautor y yo éramos estudiantes de doctorado cuando comenzamos este trabajo, y tenemos la suerte de haber tenido acceso al apoyo de algunos de los principales investigadores de ondas gravitacionales y computación cuántica del Reino Unido durante el proceso de desarrollo de este software. . "Si bien nos hemos concentrado en un tipo de búsqueda en este documento, es posible que también se pueda adaptar para otros procesos que, como este, no requieren que la base de datos se cargue en la memoria cuántica de acceso aleatorio". Fergus Hayes, un Ph.D. estudiante de la Escuela de Física y Astronomía, es coautor principal del artículo. Agregó: "Los investigadores aquí en Glasgow han estado trabajando en física de ondas gravitacionales durante más de 50 años, y el trabajo en nuestro Instituto de Investigación Gravitacional ayudó a respaldar los aspectos de desarrollo y análisis de datos de LIGO.

"El trabajo interdisciplinario que dirigimos el Dr. Gao y yo ha demostrado el potencial de la computación cuántica en el filtrado combinado. A medida que las computadoras cuánticas se desarrollen en los próximos años, es posible que procesos como estos puedan usarse en futuros detectores de ondas gravitacionales. Es un perspectiva emocionante, y esperamos desarrollar esta prueba de concepto inicial en el futuro". El artículo fue coescrito por la Dra. Sarah Croke, el Dr. Christopher Messenger y el Dr. John Veitch, todos de la Facultad de Física y Astronomía de la Universidad de Glasgow. El artículo del equipo, titulado "Un algoritmo cuántico para el filtrado combinado de ondas gravitacionales", se publica en *Physical Review Research*.

Referencias

[1] *New algorithm could be quantum leap in search for gravitational waves* by University of Glasgow. Phys.org, URL:<https://phys.org/news/2022-04-algorithm-quantum-gravitational.html>

[2] *A quantum algorithm for gravitational wave matched filtering*, Sijia Gao, Fergus Hayes, Sarah Croke, Chris Messenger, John Veitch, arXiv:2109.01535 [quant-ph], disponible en la URL: arxiv.org/abs/2109.01535

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A25. Cotas de materia oscura por microlentes de ondas gravitacionales

Los astrofísicos establecen restricciones en la materia oscura compacta a partir de microlentes de ondas gravitacionales

por

Ingrid

Fadelli,

Phys.org

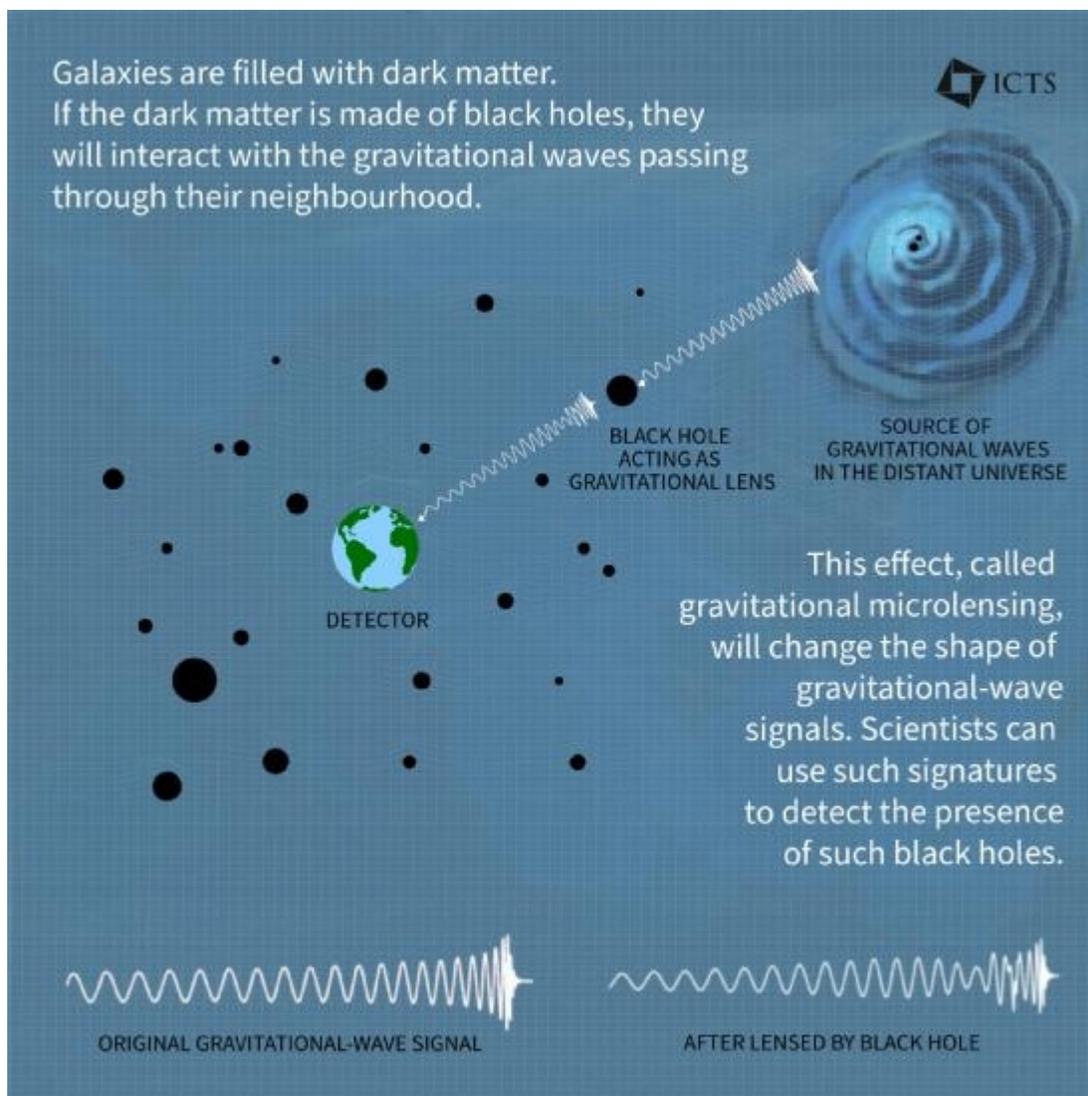


Figura 1. Crédito: Roshni Samuel/Parameswara Ajith, del ICTS (India). Credit: Roshni Samuel / Parameswaran Ajith / ICTS.

La existencia de la materia oscura sigue siendo uno de los mayores misterios del universo. Si bien los estudios han insinuado indirectamente su existencia, su naturaleza invisible hace que esta escurridiza sustancia sea muy difícil de detectar, por lo que su composición sigue siendo desconocida.

La materia oscura podría estar formada por partículas fundamentales y exóticas que aún no se han descubierto. Alternativamente, podría consistir en muchos objetos masivos y compactos, como los agujeros negros primordiales (es decir, los agujeros negros formados en el universo primitivo).

En las últimas décadas, muchos equipos de científicos de todo el mundo han estado buscando materia oscura utilizando multitud de técnicas, telescopios, detectores y datos de observación. Si bien la mayoría de estas búsquedas no tuvieron éxito, ayudaron a guiar y acotar las búsquedas posteriores. Investigadores del Centro Internacional de Estudios Teóricos del Instituto Tata de Investigación Fundamental en Bangalore, India, han establecido recientemente nuevas restricciones en la fracción de materia oscura compacta de la microlente de ondas gravitacionales. Su artículo, publicado en *The Astrophysical Journal Letters*, presenta una nueva forma de investigar la naturaleza de la materia oscura mediante la búsqueda de efectos de microlente en las ondas gravitacionales.

"Según la teoría de la relatividad general de Einstein, los objetos masivos desvían la luz como lo hacen las lentes ópticas normales", dijo a Phys.org Parameswaran Ajith, uno de los investigadores que llevó a cabo el estudio. "Los objetos masivos, como los agujeros negros que se encuentran entre la fuente astronómica y el observador, pueden magnificar la fuente. Este fenómeno, llamado microlente gravitacional, se ha convertido en una poderosa herramienta para los astrónomos". A pesar de los extensos esfuerzos de investigación en el campo, los astrónomos hasta ahora no han podido observar los efectos de microlente producidos por los agujeros negros. Esto sugiere que los agujeros negros que son mucho más ligeros que el sol, que producirían la microlente de la luz, son raros.

"Incluso si estos agujeros negros existen, es probable que constituyan solo una fracción muy pequeña de la materia oscura", dijo Ajith. "La teoría predice que las ondas gravitacionales también se reflejarán de la misma manera. Si los agujeros negros primordiales que son mucho más masivos que el sol abundan en el universo, distorsionarán las ondas gravitacionales".

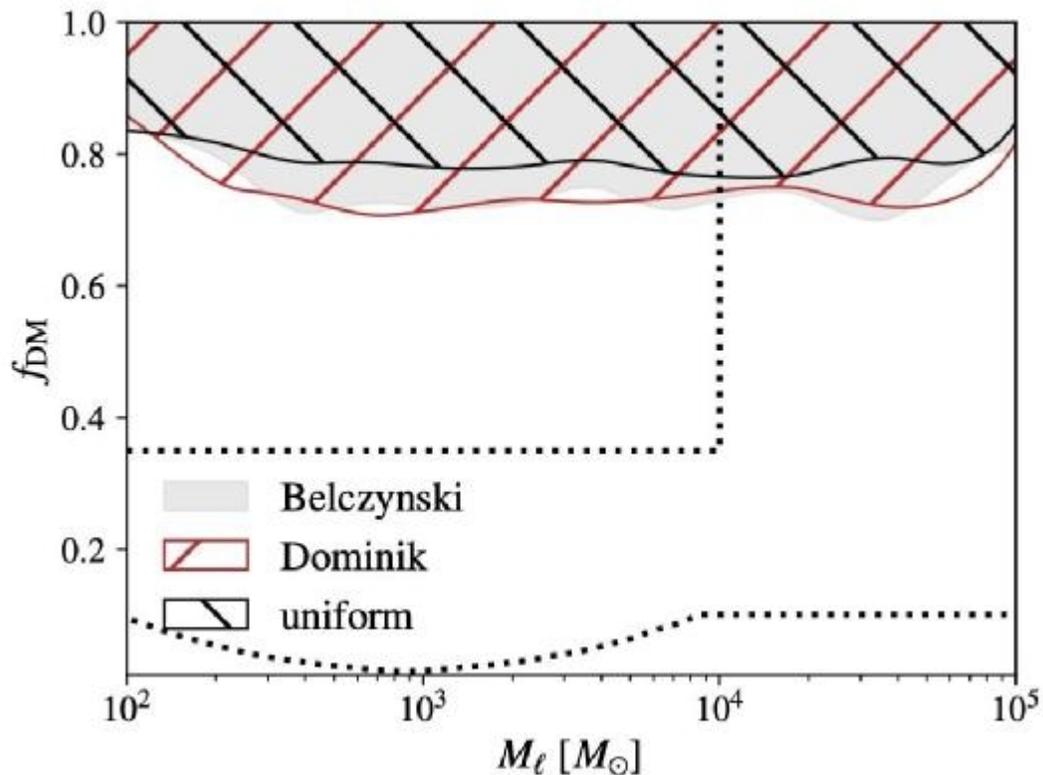


Figura 2. Límites superiores de la fracción de materia oscura en forma de objetos compactos obtenidos por este estudio. La masa del agujero negro se muestra en el eje horizontal. Tres regiones de exclusión diferentes corresponden a tres modelos asumidos de la distribución de agujeros negros binarios en el universo. Las líneas discontinuas muestran algunas de las limitaciones existentes de la microlente de las supernovas (SN) y de la estabilidad de las binarias anchas (WB). Crédito: The Astrophysical Journal Letters (2022). [DOI: 10.3847/2041-8213/ac4dfa](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac4dfa)

En 2003, algunos físicos teóricos calcularon con precisión la naturaleza de las distorsiones de las ondas gravitacionales. Casi dos décadas después, Sunghoon Jung y Chang Sub Shin, dos científicos de la Universidad Nacional de Seúl y el Centro IBS de Física Teórica del Universo sugirieron que la no observación de estas distorsiones por parte de las colaboraciones LIGO y Virgo podría ayudar a limitar la abundancia de agujeros negros que son significativamente más masivos que el sol. El artículo reciente de Ajith y sus colegas se inspira en estos trabajos anteriores. El trabajo del equipo se basa en la suposición de que si una fracción significativa de la materia oscura estuviera realmente compuesta por objetos compactos, estos objetos causarían efectos de microlente en las señales de ondas gravitacionales detectadas periódicamente por los detectores LIGO y Virgo. "En 2018, en colaboración con colegas de la Colaboración

LIGO-Virgo, buscamos firmas de tales distorsiones en las señales de ondas gravitacionales observadas por LIGO y Virgo y no encontramos ninguna", dijo Ajith. "Sin embargo, dado que LIGO y Virgo habían observado solo 10 señales de ondas gravitacionales para entonces, nuestra expectativa previa de encontrar tales distorsiones era baja". Recientemente, LIGO-Virgo Collaboration anunció resultados nulos similares de su tercera ejecución de observación. "Además, Ajith y sus colegas analizaron de forma independiente las ondas gravitacionales que un grupo del Instituto de Estudios Avanzados (IAS) en Princeton había descubierto dentro de los datos de LIGO-Virgo. En general, analizaron más de 50 eventos de ondas gravitacionales.

Si bien los investigadores no pudieron observar distorsiones de microlente en ninguna de las señales que analizaron, sus análisis les permitieron establecer restricciones adicionales en la materia oscura compacta. En otras palabras, restringieron la fracción de materia oscura que consiste en agujeros negros masivos. "Las restricciones que obtuvimos hasta ahora son bastante modestas", dijo Ajith. "Todo lo que podemos decir es que no más del 50% de la materia oscura está en forma de agujeros negros masivos, lo cual no es información nueva. Sin embargo, en los próximos años, se espera que LIGO y Virgo observen cientos o miles de señales de ondas gravitacionales. Estas observaciones nos permitirán mejorar estas restricciones significativamente". En el futuro, Ajith y sus colegas planean analizar todos los nuevos eventos de ondas gravitacionales registrados por los detectores LIGO-Virgo. Además, esperan que su trabajo reciente anime a otros equipos a usar la microlente de ondas gravitacionales para investigar la naturaleza de la materia oscura.

"Como parte de la Colaboración LIGO-Virgo, estamos analizando todas las señales de ondas gravitacionales detectadas por LIGO y Virgo durante sus últimas tres carreras de observación (un total de cerca de 100 eventos)", agregó Ajith. "Esto mejorará un poco la restricción. Sin embargo, esperamos analizar los datos de la próxima serie de observación, donde se espera que LIGO y Virgo observen cientos de señales de ondas gravitacionales".

Referencias

[1] *Astrophysicists set constraints on compact dark matter from gravitational wave microlensing*, by Ingrid Fadelli , Phys.org. URL: <https://phys.org/news/2022-04-astrophysicists-constraints-compact-dark-gravitational.html>

[2] S. Basak et al, *Constraints on Compact Dark Matter from Gravitational Wave Microlensing*, *The Astrophysical Journal Letters* (2022). [DOI: 10.3847/2041-8213/ac4dfa](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac4dfa)

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A26. Nueva simulación del Universo que aún no hemos visto.

Nueva simulación recrea una época temprana en el universo que aún no se ha visto directamente



Figura 1. Simulación del Universo, proyecto THESAN.

Los campos de la Astronomía y la Astrofísica están preparados para una revolución en los próximos años. Gracias a los observatorios de última generación como el Telescopio Espacial James Webb (JWST), los científicos finalmente podrán presenciar la formación de las primeras estrellas y galaxias del Universo. En efecto, podrán atravesar el velo de la Edad Oscura Cósmica, que duró desde aproximadamente 370000 años hasta 1000 millones de años después del Big Bang. Durante este período, el Universo se llenó de nubes de hidrógeno neutro y fotones desacoplados que no eran visibles para los astrónomos. Anticipándose a lo que verán los astrónomos, investigadores del Centro de Astrofísica de Harvard y Smithsonian (CfA), el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y el Instituto de Astrofísica Max Planck (MPIA) crearon un nuevo

conjunto de simulación llamado Thesan que simula la Período más antiguo de formación de galaxias. La creación de la suite Thesan y los resultados que obtuvo el equipo se describen en una serie de tres artículos que se aceptaron recientemente en Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Las simulaciones se crearon utilizando la supercomputadora SuperMUC-NG ubicada en el Centro de Supercomputación Leibniz de la Academia de Ciencias de Baviera. El proceso tomó más de 30 millones de horas de CPU y habría requerido más de 3500 años para completarse en una computadora convencional.



Figura 2. Una ilustración de la expansión cósmica. Crédito: Laboratorio de imágenes conceptuales del Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA.

Las simulaciones cubren la Época de Reionización (hace unos 13 mil millones de años). En este período cósmico, los átomos de hidrógeno neutro se ionizaron para formar átomos de hidrógeno positivos, lo que permitió que la luz se extendiera por todo el Universo. Simular este período no fue una tarea fácil, ya que implicó recrear algunas interacciones inmensamente complicadas y caóticas entre la gravedad, el gas, la radiación y más. También significó capturar la física a escalas un millón de veces más pequeñas que las regiones simuladas. El equipo logró esto al combinar modelos realistas de formación de galaxias y polvo cósmico con un nuevo algoritmo que rastrea cómo la luz interactúa con el gas. A través de esto, pudieron resolver las interacciones en el Universo primitivo con un detalle sin precedentes y en el volumen más grande de

cualquier simulación anterior. Como explicó Rahul Kannan, astrofísico del CfA y autor principal del primer artículo de la serie: “La mayoría de los astrónomos no tienen laboratorios para realizar experimentos. Las escalas de espacio y tiempo son demasiado grandes, por lo que la única forma en que podemos hacer experimentos es en las computadoras. Podemos tomar ecuaciones físicas básicas y modelos teóricos gobernantes para simular lo que sucedió en el universo primitivo”. “Muchos de los telescopios que se están poniendo en marcha, como el JWST, están diseñados específicamente para estudiar esta época. Ahí es donde entran nuestras simulaciones; nos van a ayudar a interpretar observaciones reales de este período y entender lo que estamos viendo”.

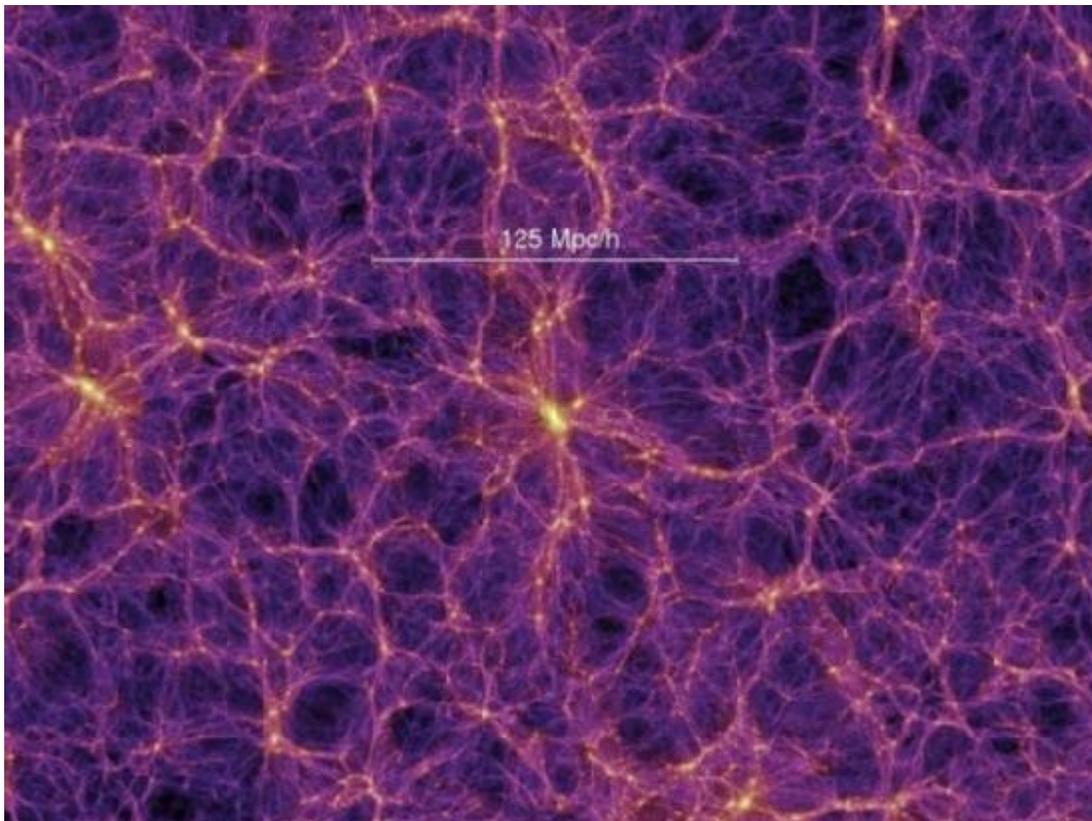


Figura 3. El vacío cósmico. Imagen de la estructura a gran escala del Universo, que muestra filamentos y vacíos dentro de la estructura cósmica. Crédito: Proyecto de Simulación del Milenio/Millennium Simulation Project.

Con esta nueva suite de simulación, los investigadores pueden simular una parte de nuestro Universo que abarca 300 millones de años luz de diámetro. Luego pueden avanzar en el tiempo para rastrear y visualizar la formación de las primeras galaxias en este espacio, comenzando alrededor de 400,000 años después del Big Bang, y observar cómo evolucionaron durante los primeros mil millones de años. Cuando el equipo ejecutó las simulaciones, descubrió que la transición de la oscuridad total a la luz era gradual.

El coautor del estudio Aaron Smith, miembro de la NASA Einstein en el Instituto Kavli de Astrofísica e Investigación Espacial del MIT, menciona lo siguiente: “Es un poco como el agua en bandejas de cubitos de hielo; cuando lo pones en el congelador, toma tiempo, pero después de un tiempo comienza a congelarse en los bordes y luego se desliza lentamente. Esta era la misma situación en el Universo primitivo: era un cosmos neutral y oscuro que se volvió brillante. e ionizado como la luz comenzó a emerger de las primeras galaxias”. Las simulaciones se crearon para prepararse para las observaciones de los telescopios de próxima generación como los telescopios espaciales James Webb, Nancy Grace Roman y Origins. Junto con los telescopios terrestres como el Extremely Large Telescope (ELT) y el Giant Magellan Telescope (GMT), estos observatorios podrán ver más profundamente en el espacio y (por lo tanto) más atrás en el tiempo que sus predecesores. De hecho, se estima que James Webb podrá ver el Universo tal como era hace 13.500 millones de años. En este momento, el récord del objeto único más distante jamás visto lo tiene Eärendel, una estrella que existió hace 12.900 millones de años luz. En términos de galaxias, ese récord corresponde a GN-z11, una galaxia que existió en la constelación de la Osa Mayor hace 13.390 millones de años luz. Lo que es especialmente emocionante es que la comunidad astronómica no tendrá que esperar mucho para que las observaciones y los datos reales del telescopio se comparen con las simulaciones de Thesan.

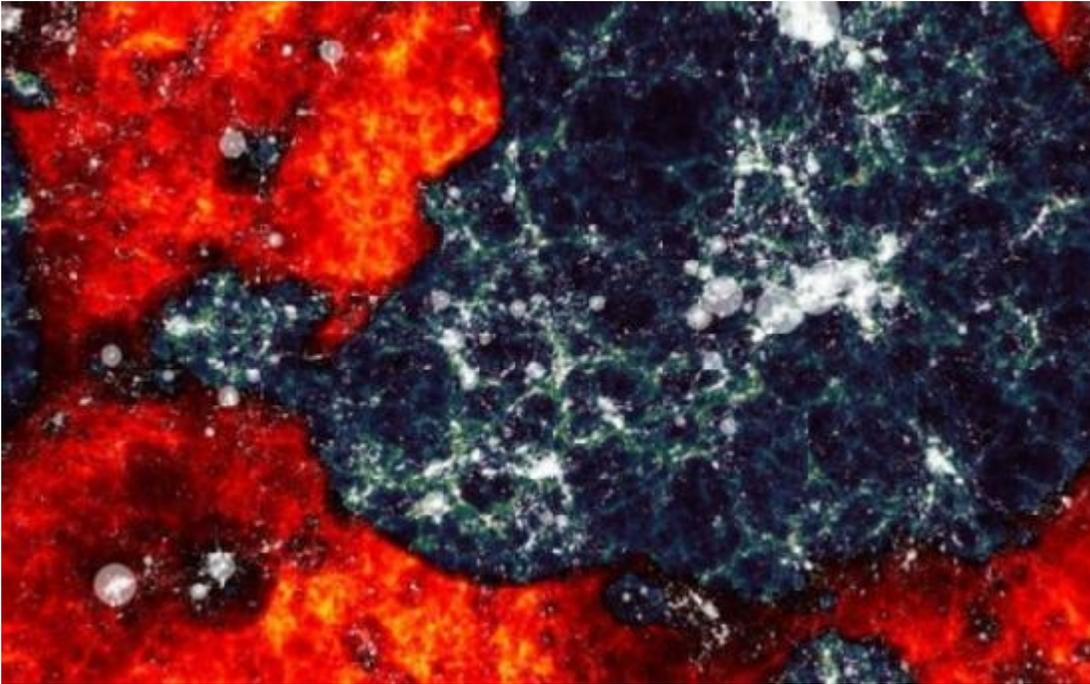


Figura 4. Una visualización de cómo se veía el Universo cuando estaba pasando por su última gran era de transformación: la época de la reionización. Crédito: Paul Geil y Simon Mutch/Universidad de Melbourne.

“Y esa es la parte interesante”, dijo el coautor Mark Vogelsberger, profesor asociado de física en el MIT. “O nuestras simulaciones y el modelo de Thesan estarán de acuerdo con lo que encuentra JWST, lo que confirmaría nuestra imagen del universo, o habrá un desacuerdo significativo que muestra que nuestra comprensión del universo primitivo es incorrecta”. Sin embargo, el equipo no sabrá cómo se compara su modelo con el real hasta que las primeras observaciones estén disponibles. Una vez que lo hagan, intentarán hacer coincidir varios aspectos de su modelo con las observaciones, incluidas las propiedades de las primeras galaxias y la absorción y el escape de la luz en el Universo primitivo. A partir de esto, finalmente sabremos cómo y cuándo se disiparon las Edades Oscuras.

“Hemos desarrollado simulaciones basadas en lo que sabemos”, dice Kannan. “Pero si bien la comunidad científica ha aprendido mucho en los últimos años, todavía hay bastante incertidumbre, especialmente en estos primeros tiempos cuando el universo era muy joven”. Durante generaciones, los astrónomos han esperado el día en que sería posible ver los períodos más tempranos del Universo y ver cómo comenzó todo. Cuando se combina con las observaciones de cómo ha evolucionado el cosmos desde entonces,

los científicos finalmente podrán abordar algunos de los misterios más profundos del cosmos. ¡Saber que ese día está a la vuelta de la esquina es emocionante!

Y asegúrese de ver esta vista en 3D de la simulación de Thesan. ¡Mira más simulaciones en su página de Youtube!



Vídeo 1. Simulación THESAN. Las simulaciones de THESAN están en su canal de YouTube, URL: <https://www.youtube.com/channel/UCIqmFQYKpX1qlOnh0zXBfPQ>

Referencias

[1] Posted on March 31, 2022 by Matt Williams. *New Simulation Recreates an Early Time in the Universe That Still Hasn't Been Seen Directly*. Universetoday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155196/new-simulation-recreates-an-early-time-in-the-universe-that-still-hasnt-been-seen-directly/>

[2] *Astronomers Reveal Remarkable Simulations of the Early Universe, from the Dark Ages through First Light*, 03.24.22. News Release for Harvard University. URL: <https://www.cfa.harvard.edu/news/astronomers-reveal-remarkable-simulations-early-universe-dark-ages-through-first-light>

[3] THESAN project. URL: <https://www.thesan-project.com/>

Artículo traducido y editado por Juan F. González

A.27. Criovulcanismo plutoniano.

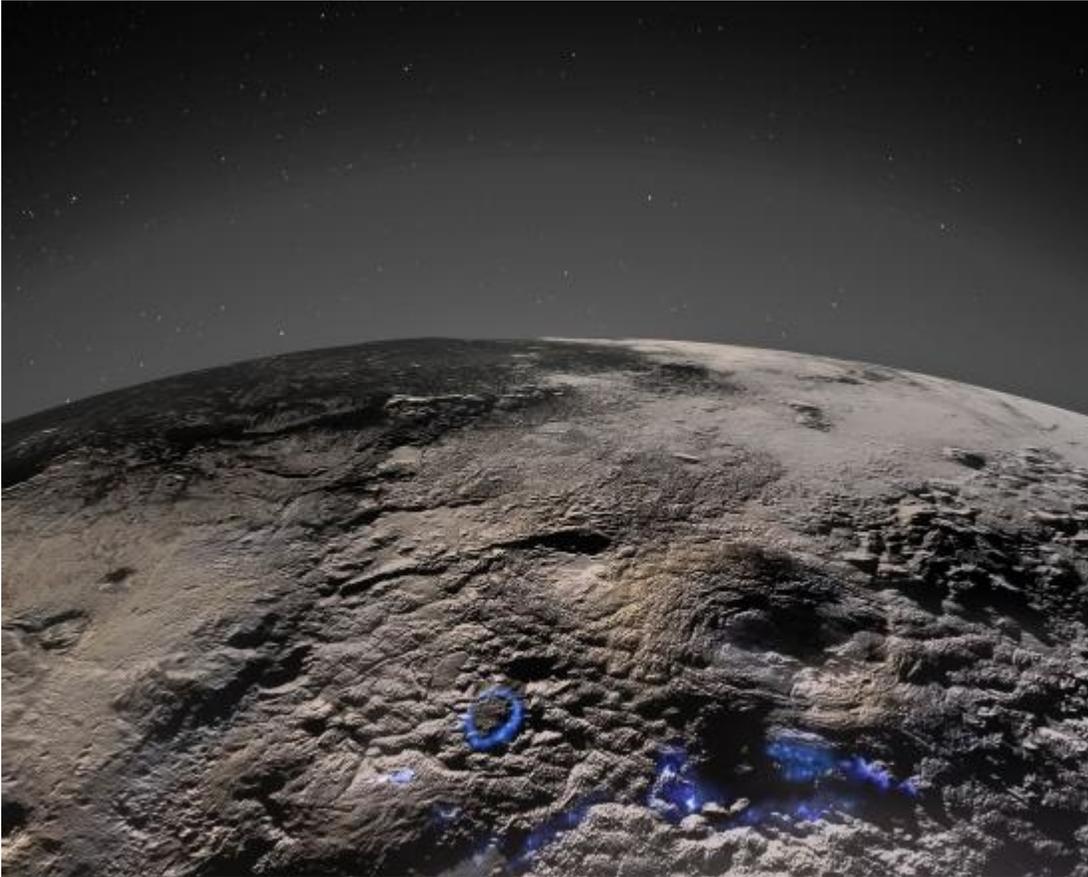


Figura 1. Criovulcanismo en Plutón.

La superficie de Plutón fue formada por volcanes de hielo

A pesar de toda la diversidad geológica de la Tierra y su larga historia, el planeta nunca ha tenido volcanes de hielo. Pero Plutón tiene. Y ese criovulcanismo ha dado forma a algunas de las características de la superficie del planeta enano helado. Las estructuras resultantes son únicas en el Sistema Solar. Cuando la nave espacial New Horizons visitó Plutón en 2015, reveló más complejidad de lo que imaginaban los científicos planetarios. Las imágenes de las cámaras de la nave espacial mostraron una superficie geológicamente mucho más activa y compleja de lo que se pensaba. En 2016, un año después del sobrevuelo de Plutón por parte de la nave espacial, el científico del proyecto New Horizons, Hal Weaver, dijo: "Nos ha sorprendido la belleza y la complejidad de Plutón y sus lunas, y estamos entusiasmados con los descubrimientos que aún están por venir".

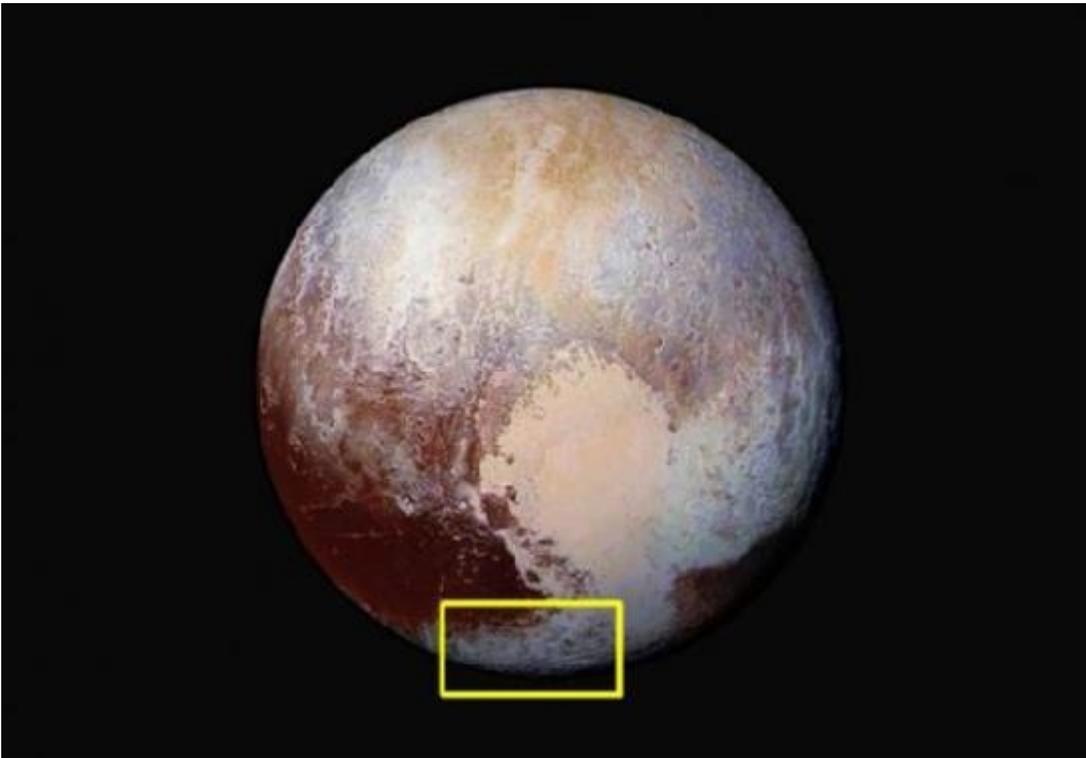


Figura 2. El hito más visible de Plutón es la característica en forma de corazón llamada "Tombaugh Regio" en honor al astrónomo Clyde Tombaugh, quien descubrió el planeta enano. La brillante extensión del lóbulo occidental del "corazón" de Plutón se llama Sputnik Planitia. El nuevo estudio se centra en el suroeste de Sputnik Planitia, que se muestra con el rectángulo amarillo. (Nota: imagen en color falso). Crédito: cortesía de NASA / JHUAPL / SwR.

Un nuevo artículo publicado en la revista Nature Communications presenta uno de estos descubrimientos, y Weaver es uno de los autores. El documento es "Large-scale cryovolcanic resurfacing on Pluto." ("Resurgimiento criovolcánico a gran escala en Plutón"). La autora principal es Kelsi Singer del Southwest Research Institute en Boulder, CO. Singer es científica planetaria y científica adjunta del proyecto en la misión New Horizons. "Este trabajo recién publicado es realmente un hito, que muestra una vez más cuánta personalidad geológica tiene Plutón para un planeta tan pequeño y cómo ha sido increíblemente activo durante largos períodos", dijo el investigador principal de New Horizons, Alan Stern, del Southwest Research Institute. "Incluso años después del sobrevuelo, estos nuevos resultados de Singer y sus compañeros de trabajo muestran que hay mucho más que aprender sobre las maravillas de Plutón de lo que imaginamos antes de explorarlo de cerca". La misión New Horizons dejó atrás a Plutón hace años y fue al Cinturón de Kuiper para visitar 486958 Arrokoth (Ultima Thule) y

otros Objetos del Cinturón de Kuiper. Pero los científicos todavía están trabajando en los más de seis gigabytes de datos proporcionados por los siete instrumentos científicos diferentes de la nave espacial durante su sobrevuelo. Incluso obtener los datos tomó mucho tiempo porque la gran distancia y otras limitaciones de la misión restringieron la transferencia de datos desde la nave espacial a 1 kbit/s por transmisor.

Este nuevo estudio es el resultado de algunos de esos datos obtenidos con tanto esfuerzo y muestra que Plutón experimentó múltiples períodos de criovulcanismo que alteraron su superficie. Esa actividad dio forma a la superficie de una manera que no se ve en ningún otro lugar de nuestro Sistema Solar. Según un comunicado de prensa que anuncia los hallazgos, el material debajo de la superficie de Plutón creó "... una región de grandes cúpulas y elevaciones flanqueadas por colinas, montículos y depresiones". "Las estructuras particulares que estudiamos son exclusivas de Plutón, al menos hasta ahora", dijo el autor principal, Singer. "En lugar de la erosión u otros procesos geológicos, la actividad criovolcánica parece haber extruido grandes cantidades de material en el exterior de Plutón y resurgió una región entera del hemisferio que New Horizons vio de cerca".

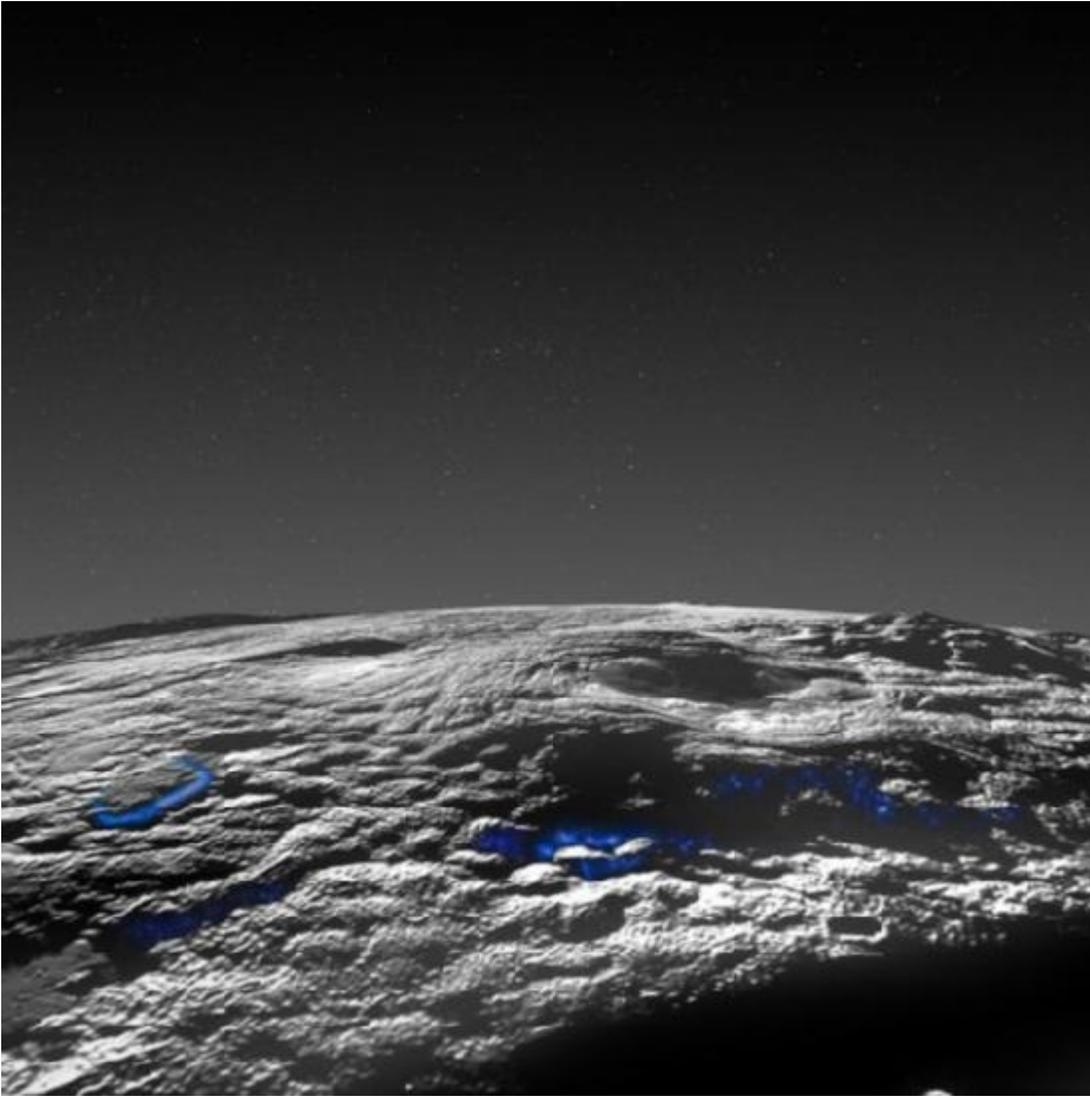


Figura 3. La región estudiada se encuentra al suroeste del "corazón" de Plutón, Sputnik Planitia, y contiene múltiples cúpulas grandes y se eleva hasta 7 kilómetros de altura y de 30 a 100 kilómetros de ancho, con colinas, montículos y depresiones interconectadas que cubren los lados y las cimas de muchos de los estructuras más grandes. Crédito de la imagen: NASA/Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins/Instituto de Investigación del Suroeste/Isaac Herrera/Kelsi Singer La región criovolcánica contiene múltiples cúpulas grandes, que van de 1 a 7 kilómetros (alrededor de media a 4 millas) de alto y de 30 a 100 o más kilómetros (alrededor de 18 a 60 millas) de ancho, que a veces se fusionan para formar estructuras más complejas. Las estructuras más altas son casi tan altas como el Mauna Loa de Hawái. Terreno montañoso que consta de colinas, montículos y depresiones irregulares interconectadas

que cubren los lados y la parte superior de algunas de las estructuras más grandes. No hay cráteres de impacto en el área, evidencia de que la región es geológicamente joven.

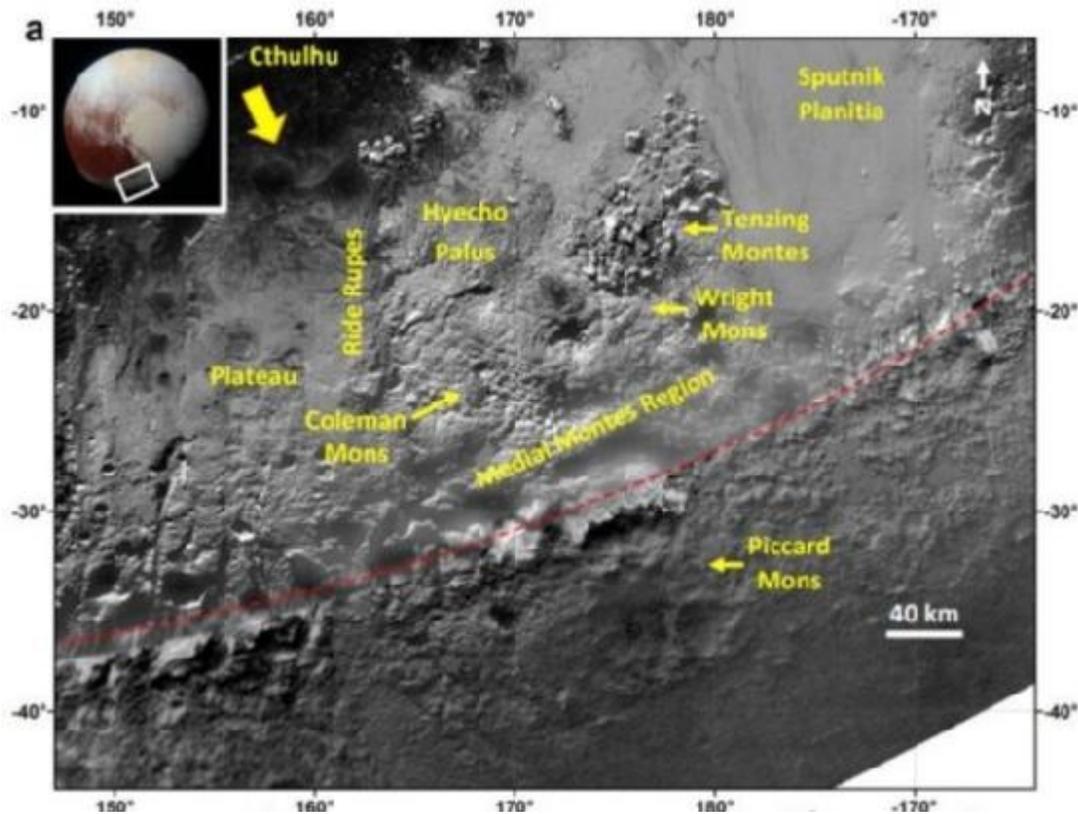


Figura 4. Esta imagen del estudio muestra algunas de las características con etiquetas. La línea roja punteada es el límite entre el terreno iluminado por el sol y el terreno iluminado por neblina. Crédito de la imagen: Singer et al. 2022.

La falta de cráteres de impacto en la región les dice a los científicos algo sobre la historia de Plutón. La juventud geológica de la región combinada con la gran masa de las características criovolcánicas sugiere que el interior de Plutón fue cálido en el pasado reciente. La convección interior permitió depositar en la superficie materiales ricos en hielo de agua. La superficie de Plutón es demasiado fría para que el hielo de agua fluya a través de ella. Las temperaturas superficiales típicas son de aproximadamente -240°C a -215°C ($35\text{--}60\text{ K}$; -400°F a -350°F). "A estas bajas temperaturas, el hielo de agua pura generalmente debería formar un lecho rocoso inmóvil...", dice el estudio. El amoníaco y las sales en la mezcla de hielo pueden retrasar la congelación, "... pero las temperaturas de la superficie de Plutón son tan frías y la presión atmosférica tan baja que la congelación de un fluido en la superficie aún ocurriría en escalas de tiempo geológicas relativamente cortas".

Debido a las propiedades anticongelantes del amoníaco, los investigadores creen que el criomaterial probablemente fluyó con la consistencia de la pasta de dientes. Se habría movido por la superficie como lo hacen los glaciares en la Tierra. O, una parte superior sólida congelada tapó el material que fluía, y el material debajo continuó fluyendo. Eventualmente, todo se congeló en las formas que vio New Horizons en 2015.

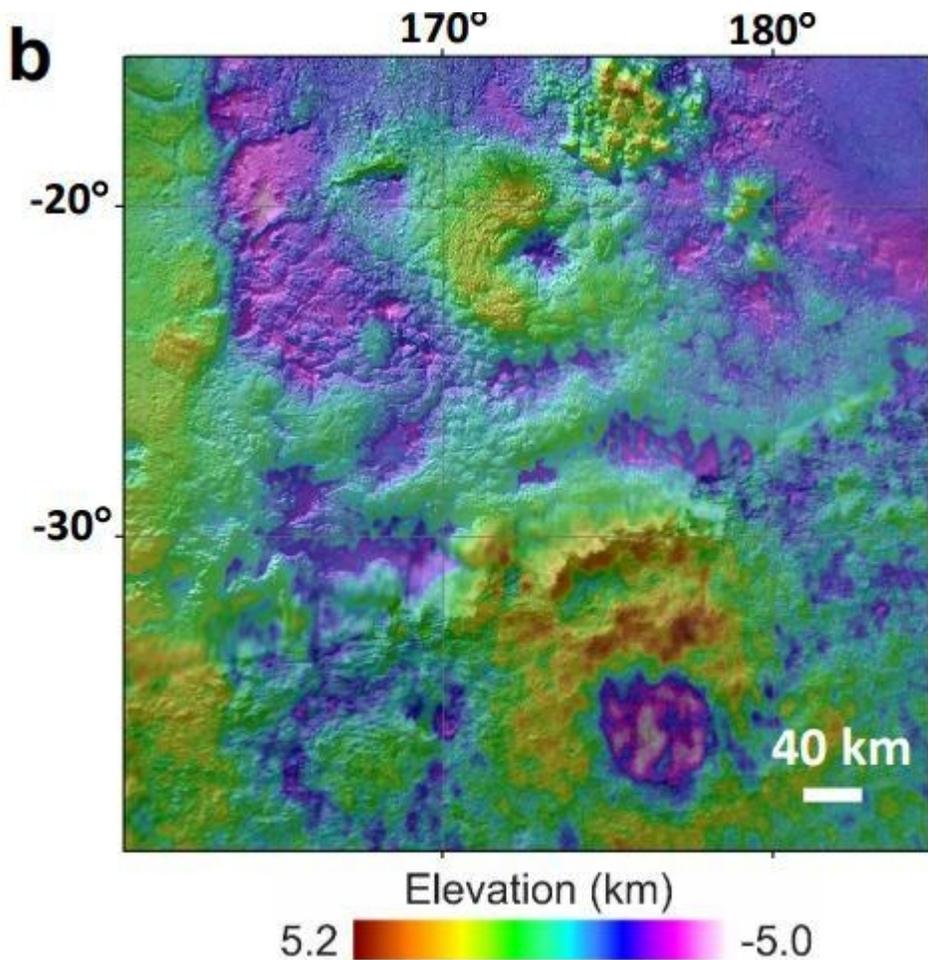


Figura 5. Esta imagen es una imagen topográfica de la región en estudio. Piccard Mons y Wright Mons son visibles. Crédito de la imagen: Singer et al. 2022.

Según los investigadores, ningún otro proceso geológico que no sea el criovulcanismo puede explicar estas características. “Estas características geológicas no parecen estar formadas predominantemente por erosión ni parecen estar construidas principalmente de hielos volátiles”, escriben los autores en su estudio. "Proponemos que un gran volumen de material haya brotado de múltiples fuentes (y probablemente en más de un episodio a lo largo del tiempo) para formar las muchas cúpulas grandes y elevaciones que se encuentran en esta región". Algunos de los detalles aún son oscuros. Si el

criovolcanismo formó estas características, debería haber alguna evidencia de la fuente. También debe haber alguna evidencia de flujo direccional. “La falta de indicaciones de las regiones de ventilación de la fuente o la direccionalidad del movimiento del material dificulta determinar positivamente el mecanismo de colocación del material en la superficie”, afirma el estudio.

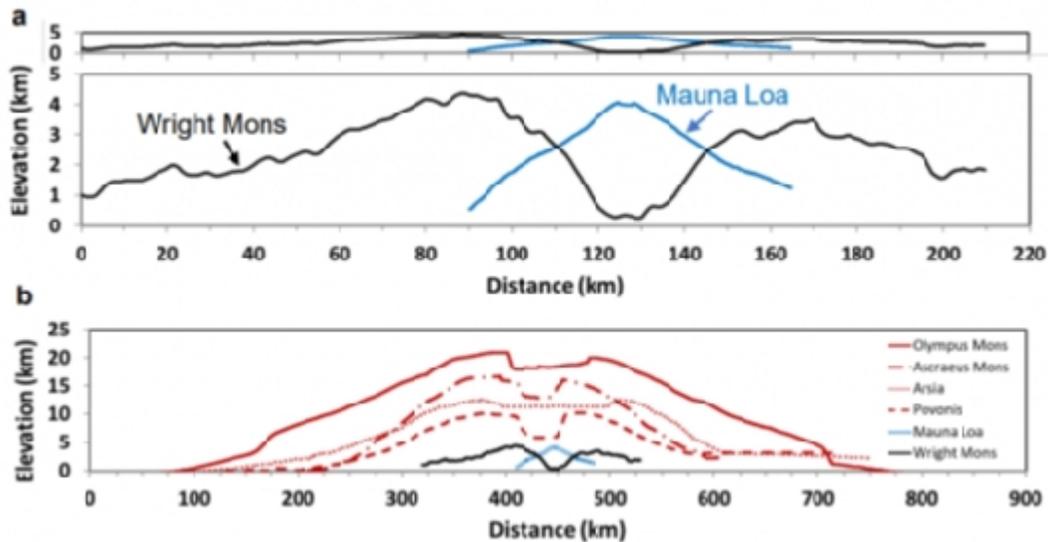


Figura 6. Esta imagen del estudio compara el Wright Mons de Plutón con volcanes terrestres y marcianos. Crédito de la imagen: Singer et al. 2022. Pero esto es Plutón, no la Tierra, y gran parte de nuestra comprensión inicial se deriva de lo que sucede en la Tierra. “Los escenarios descritos anteriormente ilustran cómo los modelos canónicos de emplazamiento (derivados principalmente de estudios terrestres) pueden no ser directamente aplicables a Plutón”, explican los autores. "Las características geológicas en la región de Wright Mons son morfológicamente diferentes a cualquier otra región de Plutón y también tienen muy pocas similitudes con la mayoría de los terrenos en otros cuerpos del sistema solar". Los autores dicen que su examen de los datos de New Horizons y, especialmente, la característica de Wright Mons proporciona pistas sobre su formación. El tamaño y la complejidad morfológica de las construcciones criovolcánicas apuntan a "... múltiples fuentes subterráneas donde las fuentes están debajo de las construcciones". "Este escenario permite un mecanismo de formación consistente para todas las grandes elevaciones y depresiones, donde algunas son abovedadas o anulares y otras tienen formas complejas, a través de la fusión de diferentes elevaciones", explican

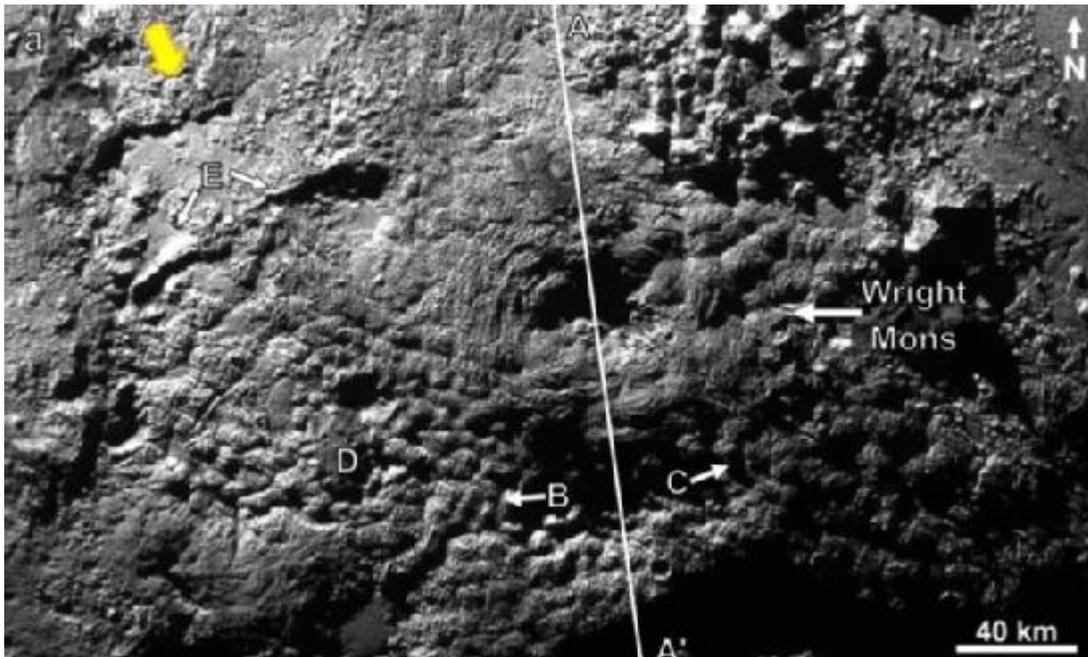


Figura 7. Esta imagen del estudio muestra la complejidad morfológica que distingue a la región de otras regiones de la superficie de Plutón. Wright Mons tiene unos 150 km (90 millas) de ancho y 4 km (2,5 millas) de altura, lo que lo convierte en el criovolcán más grande conocido en el Sistema Solar. La depresión central tiene unos 40-50 km (25-31 millas) de ancho y se extiende hasta aproximadamente el nivel del terreno circundante o ligeramente por debajo, lo que hace que tenga una profundidad de unos 4 km (2,5 millas) en promedio. Crédito de la imagen: Singer et al. 2022.

La existencia de estas características de la superficie criovolcánica es problemática para los científicos planetarios que estudian Plutón. En la comprensión científica actual, el flujo de calor del interior de Plutón es mínimo. "Dados los bajos flujos de calor esperados del interior de Plutón y las temperaturas frías de la superficie de Plutón, la movilización de material compuesto principalmente por hielo de agua es un desafío térmico", señalan los autores. Pero estas características están ahí, y sin cráteres de impacto inequívocos en la región, las erupciones criovolcánicas deben haber ocurrido en tiempos geológicos recientes. Sin embargo, ver estas características como problemáticas es solo una parte. También son piezas del rompecabezas de Plutón. "Múltiples construcciones criovolcánicas masivas de hielo de agua presentan nuevas piezas de información para comprender la historia térmica de Plutón", afirma el documento.

Aquí es donde se pone realmente interesante. Investigaciones anteriores han demostrado que el rompecabezas de calor de Plutón podría involucrar una capa de clatrato. Anteriormente en su vida, el núcleo rocoso de Plutón habría contenido elementos radiactivos que producían calor a través de la descomposición, como otros cuerpos rocosos del Sistema Solar. Ese calor habría mantenido el océano subterráneo en forma líquida. Pero si eso es todo lo que estaba involucrado, la superficie de Plutón se vería diferente. Las variaciones significativas en el espesor de la capa de hielo de Plutón sugieren que el calor no llega a la superficie. Un estudio de 2019 mostró que una capa de clatrato entre el océano y la superficie de la capa de hielo podría aislar el océano de la capa. Si parte de ese calor almacenado del océano se liberó a través de la capa de clatrato, podría haber causado los flujos criovolcánicos que crearon Wright Mons, Piccard Mons y todas las características asociadas e interconectadas. El estudio de 2019 dijo que "la formación de una delgada capa de hidratos de clatrato en un océano subterráneo puede ser un mecanismo genérico importante para mantener océanos subterráneos de larga vida en satélites helados relativamente grandes pero mínimamente calentados y objetos del cinturón de Kuiper". Las características criovolcánicas geológicamente jóvenes agregan peso a la idea de que Plutón tiene un océano subterráneo, similar a algunas lunas fuera de la línea de congelación del Sistema Solar. "... el modelado sugiere que un océano rico en agua subterránea podría persistir potencialmente en el presente en Plutón", dice el estudio. "En general, se predice que cualquier océano existe entre 100 y 200 km o más por debajo de la superficie de Plutón, en la base de la capa de hielo", explican los autores. Los afloramientos convectivos en el océano podrían explicar la erupción de criomaterial en la superficie de Plutón.

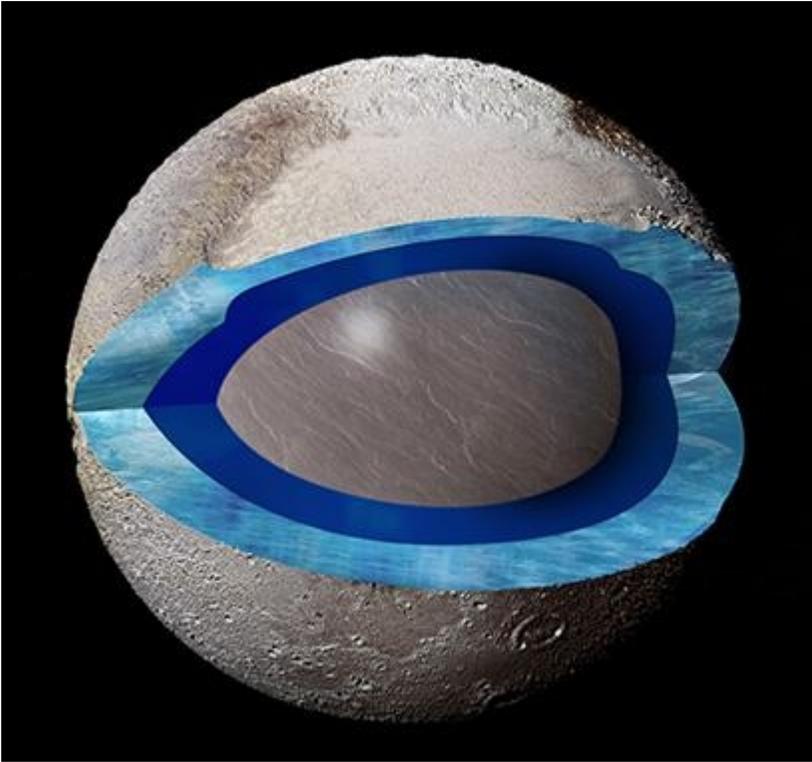


Figura 8. Esta imagen recortada de Plutón muestra una sección a través del área del Sputnik Planitia, donde el azul oscuro representa un océano subterráneo y el azul claro la corteza congelada. Artwfly por Pam Engebretson, cortesía de UC Santa Cruz. Si alguna vez hubo dudas sobre el valor de enviar una nave espacial a Plutón, estudios como este las han disipado. Cada vez que enviamos una nave espacial a uno de los destinos distantes del Sistema Solar, nos sorprende la variedad de lo que aprendemos. El próximo paso en nuestro esfuerzo por comprender a Plutón es probablemente un orbitador. Un orbitador nos permitiría mapear completamente la superficie, lo que New Horizons no pudo hacer durante su único sobrevuelo. No solo podría mapear la superficie, sino que un orbitador también debería poder confirmar la presencia de un océano subterráneo. Pero un módulo de aterrizaje real sería lo mejor. El problema es que la baja gravedad y la delgada atmósfera de Plutón dificultan la desaceleración de un módulo de aterrizaje. Cualquier módulo de aterrizaje tendría que llevar motores y combustible para reducir la velocidad y realizar un aterrizaje seguro. Eso es complicado y costoso para un destino tan lejano. Una solución propuesta fue el Plutón Orbiter and Lander con Fusion-Enabled. Tal como están las cosas ahora, no hay misiones planificadas a Plutón. Pero eso está bien. Todavía hay muchos datos de New Horizons para mantener ocupados a los científicos. Y esos datos revelan muchas cosas sorprendentes sobre mundos helados como Plutón.

“Uno de los beneficios de explorar nuevos lugares en el sistema solar es que encontramos cosas que no esperábamos”, dijo Singer. “Estos criovolcanes gigantes y de aspecto extraño observados por New Horizons son un gran ejemplo de cómo estamos ampliando nuestro conocimiento de los procesos volcánicos y la actividad geológica en mundos helados”.

Referencias

[1] Posted on April 1, 2022 by Evan Gough. *Pluto's Surface was Shaped by Ice Volcanoes*. UniverseToday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155221/plutos-surface-was-shaped-by-ice-volcanoes/>

[2] *Large-scale cryovolcanic resurfacing on Pluto*, Kelsi N. Singer, Oliver L. White, Bernard Schmitt, Erika L. Rader, Silvia Protopapa, William M. Grundy, Dale P. Cruikshank, Tanguy Bertrand, Paul M. Schenk, William B. McKinnon, S. Alan Stern, Rajani D. Dhingra, Kirby D. Runyon, Ross A. Beyer, Veronica J. Bray, Cristina Dalle Ore, John R. Spencer, Jeffrey M. Moore, Francis Nimmo, James T. Keane, Leslie A. Young, Catherine B. Olkin, Tod R. Lauer, Harold A. Weaver & Kimberly Ennico-Smith. *Nature Communications* volume 13, Article number: 1542 (2022) URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-29056-3>

[3] March 29, 2022. *Pluto's giant ice volcanos may have formed from multiple eruption events*. New horizons magazine. URL: <http://pluto.jhuapl.edu/News-Center/News-Article.php?page=20220329>

[4] *Pluto and Other Kuiper Belt Objects Started Out With Water Oceans, and Have Been Slowly Freezing Solid for Billions of Years*. UniverseToday.com, URL: <https://www.universetoday.com/146650/pluto-and-other-kuiper-belt-objects-started-out-with-water-oceans-and-have-been-slowly-freezing-solid-for-billions-of-years/>

[5] *Pluto's ocean is capped and insulated by gas hydrates*, por Shunichi Kamata, Francis Nimmo, Yasuhito Sekine, Kiyoshi Kuramoto, Naoki Noguchi, Jun Kimura and Atsushi Tani. URL: <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0369-8.epdf>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

A28. Telescopios fluídicos.

La NASA prueba nuevas formas y materiales fluidos para construir telescopios espaciales gigantes

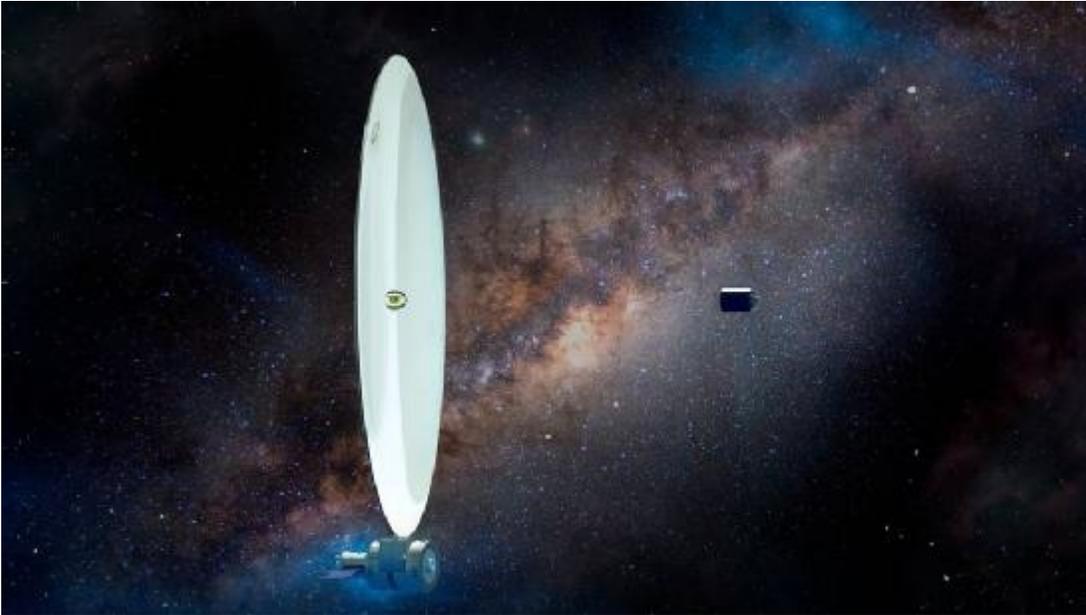


Figura 1. Una ilustración que muestra la etapa final de un posible futuro telescopio gigante que se está creando en el espacio utilizando fluidos. Créditos: Estudio Ella Maru.

Cuando se trata de telescopios, más grande es mejor. Los telescopios más grandes recogen más luz y permiten a los astrónomos mirar más lejos en el espacio y ver objetos distantes con mayor detalle. ¿Qué pasaría si hubiera una manera de hacer un telescopio 10 veces, o incluso 100 veces, más grande que antes? Lo que comenzó como una pregunta teórica ahora es una serie de experimentos para ver si se pueden usar fluidos para crear lentes en microgravedad. El próximo experimento está almacenado en el Laboratorio Nacional de la Estación Espacial Internacional esperando la llegada de los astronautas Axiom-1 para probarlo, y es parte de la cartera de investigación del especialista de la misión Ax-1 Eytan Stibbe.

Comienza con fluidos

Todos los líquidos tienen una fuerza elástica que los mantiene unidos en su superficie. Esta fuerza se llama tensión superficial. Es lo que permite que algunos insectos se deslicen por el agua sin hundirse y da forma a las gotas de agua. En la Tierra, cuando las gotas de agua son lo suficientemente pequeñas (2 mm o menos), la tensión superficial

supera a la gravedad y permanecen perfectamente esféricas. Si una gota crece mucho más, se aplasta por su propio peso.



Figura 2. La astronauta de la NASA Karen Nyberg observa una burbuja de agua flotar libremente entre ella y la cámara. La astronauta de la NASA Karen Nyberg observa una burbuja de agua flotando libremente entre ella y la cámara, mostrando su imagen refractada en la gota. Créditos: NASA.

Pero en el espacio, las gotas de agua y otros líquidos (después de tambalearse) eventualmente asumen una forma esférica perfecta. Edward Balaban, investigador principal del Experimento del Telescopio Fluídico, o FLUTE, en el Centro de Investigación Ames de la NASA en Silicon Valley, California, se asoció con investigadores de Ames, el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la agencia en Greenbelt, Maryland, y Technion - Instituto de Tecnología de Israel, para explorar si era posible fabricar lentes y espejos de alta precisión en el espacio utilizando líquidos. "Pensamos, ¿por qué no aprovechar la forma en que los líquidos se comportan naturalmente en microgravedad y aplicarla a la construcción de telescopios a gran escala o componentes ópticos fabricados en el espacio que pueden tener todo tipo de usos", dijo Balaban. "En microgravedad, los líquidos adquieren formas que son útiles para fabricar lentes y espejos, por lo que si los fabricamos en el espacio, podrían usarse para construir telescopios mucho más grandes de lo que se creía posible".

Pruebas en tierra: una gota en el cubo

Antes de llevar sus ideas a los cielos, el equipo quería probar sus ideas sobre el terreno. "Los líquidos son útiles no solo para crear las lentes en sí, sino también como un mecanismo para eliminar el efecto de la gravedad en un experimento en la Tierra", dijo Moran Bercovici, profesor asociado de Ingeniería Mecánica en Technion.

"Al inyectar un líquido que puede solidificarse en marcos circulares sumergidos en agua, pudimos crear lentes literalmente en un cubo de limpieza", dijo el Dr. Valeri Frumkin, quien desarrolló el método en el grupo de Bercovici. "Los polímeros, que también se usan en los salones de uñas para hacer uñas acrílicas o en adhesivos como superpegamento, son una elección natural para el material de las lentes. El truco es asegurarse de que el agua tenga exactamente la misma densidad que el polímero que estamos inyectando para que las fuerzas de flotabilidad precisamente se oponen a las fuerzas gravitatorias para simular las condiciones de ingravidez". Las lentes resultantes tienen una calidad de superficie sobresaliente comparable o incluso mejor que la que se puede lograr con los mejores métodos de pulido, y su construcción tomó solo una pequeña fracción del tiempo. "Este método nos permite omitir por completo cualquier proceso mecánico, como esmerilado o pulido", dijo Bercovici. "La física natural de los fluidos simplemente hace todo el trabajo por nosotros".

Siguiente: Pruebas en microgravedad

En diciembre de 2021, el equipo probó sus ideas en dos vuelos parabólicos ZeroG. Los vuelos brindaron 50 oportunidades para lograr períodos de microgravedad de 15 a 20 segundos, tiempo suficiente para que el equipo formara lentes líquidas y capturara datos para analizar si lograron sus objetivos. Los investigadores de FLUTE capturan datos mientras empujan aceite sintético en un marco circular (aproximadamente del tamaño de una moneda de un dólar), formando momentáneamente una lente líquida durante un período de microgravedad de 15 a 20 segundos en un vuelo parabólico ZeroG.



Figura 3. Los investigadores de FLUTE capturan datos mientras empujan aceite sintético en un marco circular (aproximadamente del tamaño de una moneda de un dólar), formando momentáneamente una lente líquida durante un período de

microgravedad de 15 a 20 segundos en un vuelo parabólico ZeroG. Créditos: Technion - Instituto de Tecnología de Israel.

Durante el vuelo, los investigadores utilizaron bombas para empujar el aceite sintético en un marco circular (aproximadamente del tamaño de una moneda de un dólar), dejando que el líquido llenara el espacio y lograra momentáneamente la forma deseada. Los aceites son similares al aceite de automóvil, con diferentes niveles de viscosidad, o pegajosidad, para probar cuál funciona mejor.

"Efectivamente, en unos segundos pudimos crear una lente líquida independiente, hasta que el avión se elevó hacia arriba nuevamente y la gravedad entró en acción y los aceites se derramaron", dijo. Bercovici.

"Nuestro experimento en la estación espacial agregará un paso para curar los fluidos para que mantengan su forma". Usando un láser para tomar medidas ultrarrápidas y ultraexactas, pudieron ver el momento preciso en que el líquido tomó forma. Habiendo superado con éxito la primera ronda de vuelos parabólicos, el equipo espera ansiosamente su experimento a bordo del laboratorio en órbita. El miembro de la tripulación del Ax-1, Eytan Stibbe, realizará el experimento y el exastronauta de la NASA y comandante del Ax-1, Michael Lopez-Alegria, será su respaldo. El experimento se llevará a cabo completamente en microgravedad, nuevamente utilizando polímeros líquidos (como las lentes endurecidas fabricadas en el laboratorio de Technion) y utilizará luz ultravioleta o temperatura para endurecerlas en órbita. Luego, las lentes regresarán a la Tierra, donde los investigadores de Ames las estudiarán.

"Esperamos que este enfoque cree superficies lisas y con formas perfectas: las mejores superficies para convertirlas en espejos", dijo Vivek Dwivedi, científico de FLUTE en Goddard y experto en tecnología de deposición de capas atómicas que podría usarse para fabricar espejos de telescopio ultraprecisos en espacio.

"Si nuestro experimento de estación tiene éxito, será la primera vez que se fabrique un componente óptico en el espacio", dijo Balaban. "Se siente un poco como hacer historia". El experimento de la estación espacial es parte de la Misión Rakia, dirigida por la Fundación Ramon, y cuenta con el apoyo de la Agencia Espacial Israelí y el Ministerio de Innovación, Ciencia y Tecnología de Israel. La Dirección de Misiones de Tecnología Espacial de la NASA apoya a FLUTE a través del Fondo de Innovación del Centro y el Programa de Oportunidades de Vuelo. La prueba de FLUTE a bordo de la estación espacial está patrocinada por el Laboratorio Nacional de la Estación Espacial

Internacional.



Vídeo 1. El agua se comporta en el espacio...de forma diferente. Créditos: NASA/Water in space behaves...differently. Credits: NASA.

¿Será el futuro de la Astronomía en el espacio la construcción de telescopios/lentes fluídicas enormes? Nuestros descendientes lo verán (ojalá...)...

Referencias

[1] *NASA Tries New Ways, Fluid Materials to Build Giant Space Telescopes.* NASA news at NASA.gov. Last Updated: Apr 5, 2022. Editor: Rachel Hoover. URL: <https://www.nasa.gov/feature/ames/nasa-tries-new-ways-fluid-materials-to-build-giant-space-telescopes>

[2] *Giant Space Telescopes Could Be Made Out of Liquid.* 2022, April 8th, by Shawn Dicensa for Universe.com. URL: <https://www.universetoday.com/155312/giant-space-telescopes-could-be-made-out-of-liquid/>

[3] *NASA Liquid Lens Space Telescope Could be 100 Times the Size of Webb,* April 6th by Michael Zhang. URL: <https://petapixel.com/2022/04/06/nasa-liquid-lens-space-telescope-could-be-100-times-the-size-of-webb/>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A29. Nuevas detecciones de LIGO O3.



Figura 1. Crédito: PixBay CC0.

En los últimos siete años, los científicos de la Colaboración LIGO-Virgo (LVC) han detectado 90 señales de ondas gravitacionales. Las ondas gravitacionales son perturbaciones en el tejido del espacio-tiempo que corren hacia el exterior a partir de eventos cataclísmicos como la fusión de agujeros negros binarios (BBH). En las observaciones de la primera mitad de la ejecución experimental más reciente, que continuó durante seis meses en 2019, la colaboración informó señales de 44 eventos BBH. Pero los valores atípicos se escondían en los datos. Ampliando la búsqueda, un grupo internacional de astrofísicos volvió a examinar los datos y encontró 10 fusiones de agujeros negros adicionales, todas fuera del umbral de detección del análisis original de LVC.

Las nuevas fusiones apuntan a escenarios astrofísicos exóticos que, por ahora, solo son posibles de estudiar utilizando la astronomía de ondas gravitacionales. "Con las ondas gravitacionales, ahora estamos comenzando a observar la gran variedad de agujeros negros que se han fusionado en los últimos miles de millones de años", dice el físico Seth Olsen, Ph.D. candidato de la Universidad de Princeton que dirigió el nuevo análisis. Cada observación contribuye a nuestra comprensión de cómo se forman y evolucionan los agujeros negros, dice, y la clave para reconocerlos es encontrar formas eficientes de separar las señales del ruido. Olsen describirá cómo su grupo encontró las fusiones el 11 de abril durante una sesión en la Reunión de abril de 2022 de APS.

También responderá preguntas de los medios durante una conferencia de prensa en línea el 10 de abril a las 10 a.m. EDT. En particular, las observaciones incluyeron fenómenos de agujeros negros de alta y baja masa, llenando los vacíos previstos en el espectro de masas de los agujeros negros donde se han detectado pocas fuentes. La mayoría de los modelos de física nuclear sugieren que las estrellas no pueden colapsar en agujeros negros con masas entre 50 y 150 veces la masa del sol. "Cuando encontramos un agujero negro en este rango de masas, nos dice que hay más en la historia de cómo se formó el sistema", dice Olsen, "ya que existe una buena probabilidad de que un agujero negro con brecha de masa superior sea el producto de un agujero negro anterior". fusión." Los modelos de física nuclear también sugieren que las estrellas con menos del doble de la masa del sol se convierten en estrellas de neutrones en lugar de agujeros negros, pero casi todos los agujeros negros observados tienen más de cinco veces la masa del sol. Las observaciones de fusiones de baja masa pueden ayudar a cerrar la brecha entre las estrellas de neutrones y los agujeros negros más ligeros conocidos. Tanto para las brechas de masa superiores como para las inferiores, ya se había detectado una pequeña cantidad de agujeros negros, pero los nuevos hallazgos muestran que este tipo de sistemas son más comunes de lo que pensábamos, dice Olsen.

Los nuevos hallazgos también incluyen un sistema que los científicos nunca antes habían visto: un agujero negro pesado que gira en una dirección y engulle a un agujero negro mucho más pequeño que lo había estado orbitando en la dirección opuesta. "El giro del agujero negro más pesado no está exactamente antialineado con la órbita", dice Olsen, "sino que está inclinado en algún lugar entre los lados y al revés, lo que nos dice que este sistema puede provenir de una subpoblación interesante de fusiones BBH donde los ángulos entre las órbitas de BBH y los giros del agujero negro son todos aleatorios". La identificación de eventos como fusiones de agujeros negros requiere una estrategia que pueda distinguir señales significativas del ruido de fondo en los datos de observación. No es diferente a las aplicaciones de teléfonos inteligentes que pueden analizar música, incluso si se reproduce en un lugar público ruidoso, e identificar la canción que se está reproduciendo. Así como una aplicación de este tipo compara la música con una base de datos de plantillas, o las señales de frecuencia de canciones conocidas, un programa para encontrar ondas gravitacionales compara los datos de observación con un catálogo de eventos conocidos, como fusiones de agujeros negros. Para encontrar los 10 eventos adicionales, Olsen y sus colaboradores analizaron los datos de LVC utilizando la "tubería IAS", un método desarrollado por primera vez en el

Instituto de Estudios Avanzados y encabezado por el astrofísico de Princeton Matias Zaldarriaga. La canalización de IAS difiere en dos formas importantes de las canalizaciones utilizadas por LVC. Primero, incorpora análisis de datos avanzados y técnicas numéricas para mejorar el procesamiento de señales y la eficiencia computacional de las tuberías LVC. En segundo lugar, utiliza una metodología estadística que sacrifica cierta sensibilidad a las fuentes que es más probable que encuentren los enfoques LVC para ganar sensibilidad a las fuentes que es más probable que pasen por alto los enfoques LVC, como los agujeros negros que giran rápidamente.

Anteriormente, Zaldarriaga y su equipo utilizaron la canalización de IAS para analizar datos de ejecuciones anteriores del LVC e identificaron de manera similar fusiones de agujeros negros que se pasaron por alto en el análisis de primera ejecución. No es computacionalmente factible simular todo el universo, dice Olsen, o incluso la asombrosamente amplia gama de formas en que se pueden formar los agujeros negros. Pero herramientas como el oleoducto IAS, dice, "pueden sentar las bases para modelos aún más precisos en el futuro".

Referencias

[1] *Ten new gravitational waves found in LIGO-Virgo's O3a data*, APS para phys.org, URL: <https://phys.org/news/2022-04-ten-gravitational-ligo-virgo-o3a.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A30. Generador multifotónico en un chip

Generador multifotónico en un chip

April 8, 2022 • Physics 15, 52. Un dispositivo para producir hasta seis fotones a la vez podría abrir nuevas puertas a tecnologías cuánticas.

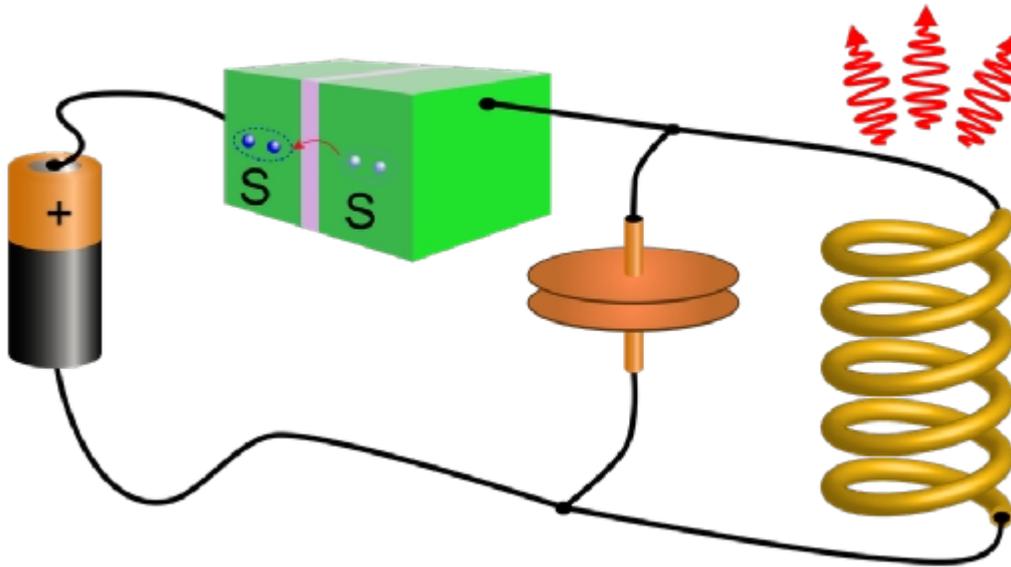


Figura 1. G. C. Ménard/Univ. de París-Saclay Tomando a la ligera los pares de Cooper. En el circuito utilizado para hacer multipletes de fotones, un voltaje (batería) permite que los pares de electrones superconductores de Cooper (S) pasen a través de un espacio aislante en una unión Josephson (verde) y entren en un circuito LC resonante hecho de un par de placas de capacitor y una bobina inductora. El número de fotones de microondas emitidos por el circuito depende de la energía impartida al par de Cooper por el voltaje aplicado.

Producir fotones entrelazados, cuyas propiedades son interdependientes, es clave para varias tecnologías de comunicación cuántica. La mayoría de las técnicas para generar estos fotones los hacen exclusivamente en pares, y aquellas que pueden producir más de dos fotones son difíciles de implementar. Pero los investigadores ahora han creado un dispositivo del tamaño de un chip que puede generar grupos de hasta seis fotones de microondas a la vez [1]. El dispositivo puede ser útil para tecnologías cuánticas como la comunicación cuántica extremadamente segura. Los pares de fotones entrelazados a menudo se forman en un proceso conocido como conversión descendente paramétrica, que utiliza un medio óptico no lineal para dividir un solo fotón en dos fotones de menor energía. Pero dividir la energía de una sola partícula cuántica o una transición cuántica entre más de dos fotones de salida (hacer un "multiplete" de fotones) no es fácil. Se han utilizado circuitos superconductores para hacer tales multipletes, pero esos dispositivos eran complicados y requerían mucho hardware y procesos de varios pasos [2, 3]. Gerbold Ménard de la Universidad de Paris-Saclay, Joachim Ankerhold de la Universidad de Ulm en Alemania y sus colegas han ideado una forma mucho más

sencilla de hacerlo. Utilizan un circuito superconductor porque les permite controlar con precisión la energía de los portadores de carga, que son pares de electrones llamados pares de Cooper. Estos pares se excitan a un nivel de energía específico y luego, cuando cada par se desintegra a su estado fundamental, el circuito emite una cantidad predecible de fotones. El circuito consta de un dispositivo llamado unión Josephson acoplado a un resonador de bobina de inductancia (LC) estándar, en el que la corriente oscila automáticamente a una frecuencia particular.

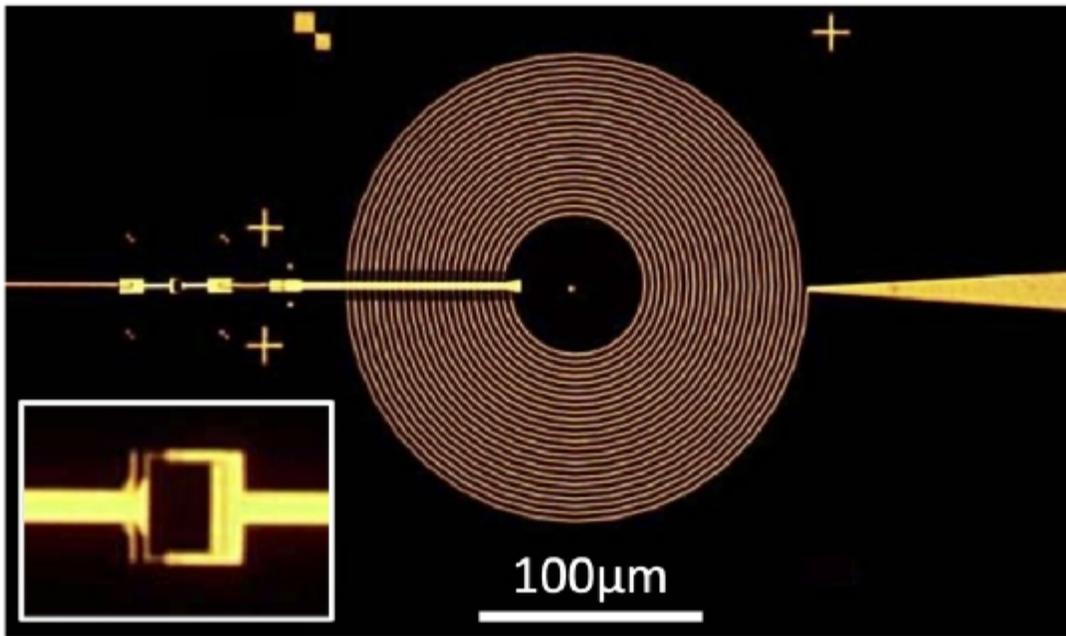


Figura 2. GC Ménard et al., [1] Enrollado y listo. Este circuito superconductor, hecho de niobio sobre un sustrato de cuarzo, puede emitir haces de hasta seis fotones de microondas. El recuadro muestra un primer plano de la unión de Josephson utilizada para inyectar portadores de carga con una energía específica en el resonador.

Una unión de Josephson consta de dos materiales superconductores separados por una losa delgada de material aislante. Si se aplica un voltaje a través de la unión de Josephson, un par de Cooper puede hacer un túnel de forma mecánica cuántica a través del espacio aislante, adquiriendo una cantidad de energía determinada por el voltaje aplicado. Luego, el par puede arrojar su energía al circuito resonador, que irradia la energía como una antena en forma de fotones. “El resonador desempeña el papel de descarga de energía para los pares de Cooper”, dice Ménard. El equipo ha demostrado previamente la emisión de fotones de un circuito de este tipo, pero solo en forma de pares de fotones [4]. “Al aumentar el acoplamiento efectivo entre la transferencia del par de Cooper y el resonador, nuevos procesos se vuelven posibles e incluso dominantes”,

dice Ménard. En su último circuito fuertemente acoplado, un solo par de Cooper excitado por su transferencia a través de la unión puede decaer y hacer que el resonador libere varios fotones a la vez. El circuito está grabado a partir de una película de niobio superconductora de 150 nanómetros de espesor depositada sobre cuarzo y mide solo 500 micrómetros de punta a punta; el componente más destacado es el cable en espiral de la bobina de inductancia. Las mediciones del equipo muestran que el dispositivo a escala de chip puede emitir hasta seis fotones de microondas de un solo par Cooper. Los investigadores aún no han probado si los fotones están entrelazados, pero Ménard dice que la teoría predice que sí lo están. El equipo también espera un entrelazamiento basado en indicaciones de sus observaciones previas de emisión de dos fotones [4].

Si se demuestra que los fotones están entrelazados, los multipletes podrían ser útiles en una variedad de aplicaciones. En la criptografía cuántica, por ejemplo, los datos cifrados en fotones entrelazados y enviados a través de una red de fibra óptica estándar no se pueden leer en tránsito sin que el remitente y el receptor detecten dicha manipulación. Con multipletes entrelazados, eventualmente podría ser posible enviar datos de forma segura y simultánea a varios usuarios. O tal vez se podrían distribuir grupos de fotones entrelazados entre los circuitos separados de una computadora cuántica modular para mantenerlos entrelazados entre sí. La creación del equipo de un estado con hasta seis fotones es "un logro importante en su trabajo", dice el físico cuántico Jukka Pekola de la Universidad Aalto en Finlandia. "Uno lo obtiene [gratis] simplemente ajustando un voltaje de CC", mientras que los experimentos anteriores requerían operaciones que involucraban un bit cuántico. Christopher Wilson, especialista en computación cuántica de la Universidad de Waterloo en Canadá, coincide en que la simplicidad es la clave. "Básicamente están haciendo esto solo desde un pequeño dispositivo en el chip", dice. Simplemente aplique el voltaje al dispositivo, "y comenzará a escupir multipletes de fotones".

–Philip Ball es un escritor científico independiente en Londres. Su último libro es *The Modern Myths* (University of Chicago Press, 2021).

Referencias

[1] G. C. Ménard et al., "Emission of photon multiplets by a dc-biased superconducting circuit," [Physical Review X 12, 021006 \(2022\)](#).

[2] M. Hofheinz et al., “Synthesizing arbitrary quantum states in a superconducting resonator,” [Nature 459 \(2009\)](#).

[3] S. Krastanov et al., “Universal control of an oscillator with dispersive coupling to a qubit,” [Phys. Rev. A 92, 040303\(R\) \(2015\)](#).

[4] A. Peugeot et al., “Generating Two Continuous Entangled Microwave Beams Using a dc-Biased Josephson Junction,” [Phys. Rev. X 11, 031008 \(2021\)](#).

[5] *Multiphoton Generator on a Chip*. April 8, 2022. Physics 15, 52. URL: <https://physics.aps.org/articles/v15/52>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

A31. Megamáser extragaláctico.

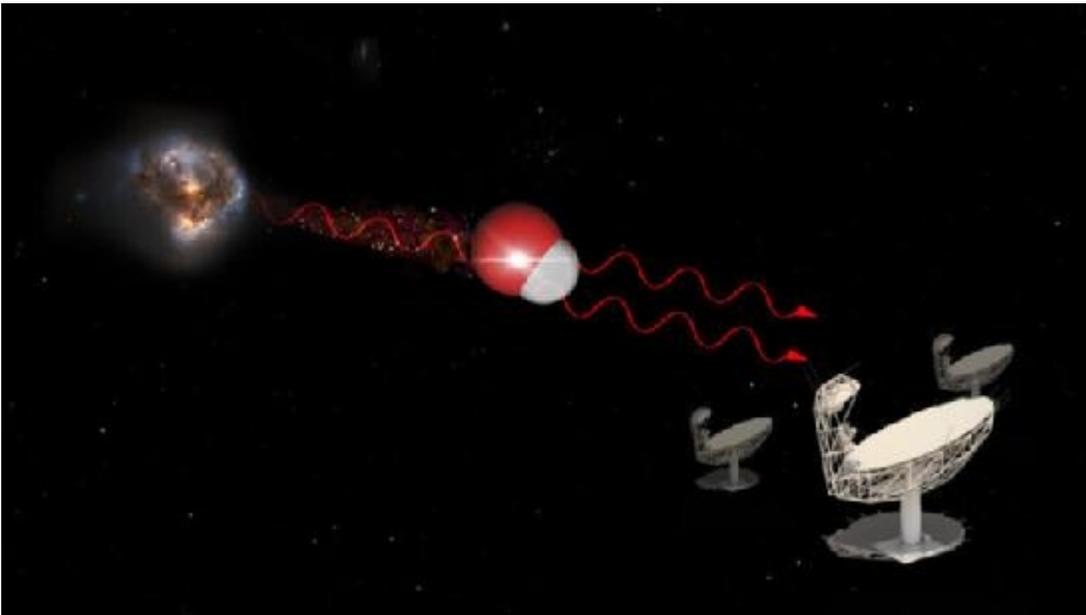


Figura 1. Impresión artística de un megamáser detectado por radiotelescopios. Crédito: IDIA/LADUMA utilizando datos de NASA/StSci/SKAO/MolView.

El telescopio MeerKAT en Sudáfrica ha observado un potente láser de ondas de radio, llamado "megamaser". El hallazgo récord es el megamaser más distante de su tipo jamás detectado, a unos cinco mil millones de años luz de la Tierra. La luz del megamaser ha viajado 58 mil billones de billones (58 seguidos de 21 ceros) de kilómetros hasta la Tierra. El descubrimiento fue realizado por un equipo internacional de astrónomos dirigido por el Dr. Marcin Glowacki, quien anteriormente trabajó en el Instituto

Interuniversitario de Astronomía Intensiva de Datos y la Universidad de Western Cape en Sudáfrica.

El Dr. Glowacki, que ahora trabaja en el nodo de la Universidad Curtin del Centro Internacional para la Investigación de Radioastronomía (ICRAR) en Australia Occidental, dijo que los megamasers generalmente se crean cuando dos galaxias chocan violentamente en el Universo. "Cuando las galaxias chocan, el gas que contienen se vuelve extremadamente denso y puede desencadenar haces de luz concentrados", dijo. "Este es el primer megamaser de hidroxilo observado por MeerKAT y el más distante visto por cualquier telescopio hasta la fecha. Es impresionante que, con solo una noche de observaciones, ya hayamos encontrado un megamaser récord. Muestra cómo bueno el telescopio es." El objeto que batió récords se llamó "Nkalakatha" [pronunciado ng-kuh-la-kuh-tah], una palabra isiZulu que significa "gran jefe".

El Dr. Glowacki dijo que el megamaser se detectó la primera noche de un estudio que involucró más de 3000 horas de observaciones realizadas por el telescopio MeerKAT. El equipo está utilizando MeerKAT para observar regiones estrechas del cielo extremadamente profundas y medirá el hidrógeno atómico en galaxias desde el pasado lejano hasta ahora. La combinación del estudio de los máseres de hidroxilo y el hidrógeno ayudará a los astrónomos a comprender mejor cómo ha evolucionado el Universo a lo largo del tiempo. "Tenemos observaciones de seguimiento del megamaser planificadas y esperamos hacer muchos más descubrimientos", dijo el Dr. Glowacki. MeerKAT es un instrumento precursor de Square Kilometer Array (SKA), una iniciativa global para construir los radiotelescopios más grandes del mundo en Australia Occidental y Sudáfrica.

Referencias

[1] *Astronomers detect galactic space laser*, by Curtin University. 7 de Abril de 2022, en Phys.org news, URL: <https://phys.org/news/2022-04-astronomers-galactic-space-laser.html>

[2] *Megamaser "Nkalakatha" discovered by astronomers using MeerKAT*. Thursday, 7 April 2022 URL: <https://www.sarao.ac.za/media-releases/megamaser-nkalakatha-discovered-by-astronomers-using-meerkat/>

[3] Marcin Glowacki et al, LADUMA: Discovery of a luminous OH megamaser at $z > 0.5$. [arXiv:2204.02523v1](https://arxiv.org/abs/2204.02523v1) [astro-ph.GA], doi.org/10.48550/arXiv.2204.02523

[4] *Astronomers detect 'galactic space laser'*. *Science Daily*, 7 de Abril de 2022. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/04/220407101031.htm>

Notas a los editores: Los resultados científicos de este estudio están publicados en: LADUMA: Descubrimiento de un megamaser OH luminoso a $z > 0,5$ Marcin Glowacki, Jordan D. Collier, Amir Kazemi-Moridani, Bradley Frank, Hayley Roberts, Jeremy Darling, Hans-Rainer Klöckner, Nathan Adams, Andrew J. Baker, Matthew Bershad, Tariq Blecher, Sarah-Louise Blyth, Rebecca Bowler, Barbara Catinella, Laurent Chemin, Steven M. Crawford, Catherine Cress, Romeel Davé, Roger Deane, Erwin de Blok, Jacinta Delhaize, Kenneth Duncan, Ed Elson, Sean February, Eric Gawiser, Peter Hatfield, Julia Healy, Patricia Henning, Kelley M. Hess, Ian Heywood, Benne W. Holwerda, Munira Hoosain, John P. Hughes, Zackary L. Hutchens, Matt Jarvis, Sheila Kannappan, Neal Katz, Dušan Kereš, Marie Korsaga, Renée C. Kraan-Korteweg, Philip Lah, Michelle Lochner, Natasha Maddox, Sphesihle Makhathini, Gerhardt R. Meurer, Martin Meyer, Danaïl Obreschkow, Se-Heon Oh, Tom Oosterloo, Joshua Oppor, Hengxing Pan, D.J. Pisano, Nandrianina Randriamiarinarivo, Swara Ravindranath, Anja C. Schröder, Rosalind Skelton, Oleg Smirnov, Mathew Smith, Rachel S. Somerville, Raghunathan Srianand, Lister Staveley-Smith, Masayuki Tanaka, Mattia Vaccari, Wim van Driel, Marc Verheijen, Fabian Walter, John F. Wu y Martin A. Zwaan aceptados para su publicación en *Astrophysical Journal Letters* LADUMA LADUMA significa Mirando el Universo Distante con la Matriz MeerKAT.

La prospección LADUMA es uno de los grandes proyectos de prospección de MeerKAT. LADUMA tiene como objetivo estudiar la evolución de las galaxias detectando el gas de hidrógeno neutro en galaxias distantes, remontándose a los últimos 9 mil millones de años de tiempo cósmico. <http://www.laduma.uct.ac.za>

Instituto Interuniversitario de Astronomía Intensiva de Datos. El Instituto Interuniversitario de Astronomía Intensiva de Datos es una asociación de tres universidades sudafricanas, las Universidades de Ciudad del Cabo, del Cabo Occidental y de Pretoria, así como el Observatorio de Radioastronomía de Sudáfrica. El objetivo general de IDIA es construir dentro de la comunidad de investigación universitaria sudafricana la capacidad y la experiencia en investigación intensiva de datos para permitir el liderazgo global en grandes proyectos de estudio MeerKAT y grandes proyectos en otros telescopios pioneros SKA. <https://www.idia.ac.za>

Suricata: El radiotelescopio sudafricano MeerKAT, situado a 90 km de la pequeña ciudad de Carnarvon en el norte del Cabo, es un precursor del telescopio Square Kilometre Array (SKA) y se integrará en el componente de frecuencia media de la Fase 1 de SKA. El telescopio MeerKAT está una matriz de 64 receptores interconectados (un receptor es la estructura completa de la antena, con el principal).

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A32. Hemos hallado una nueva...¿galaxia “más lejana”?

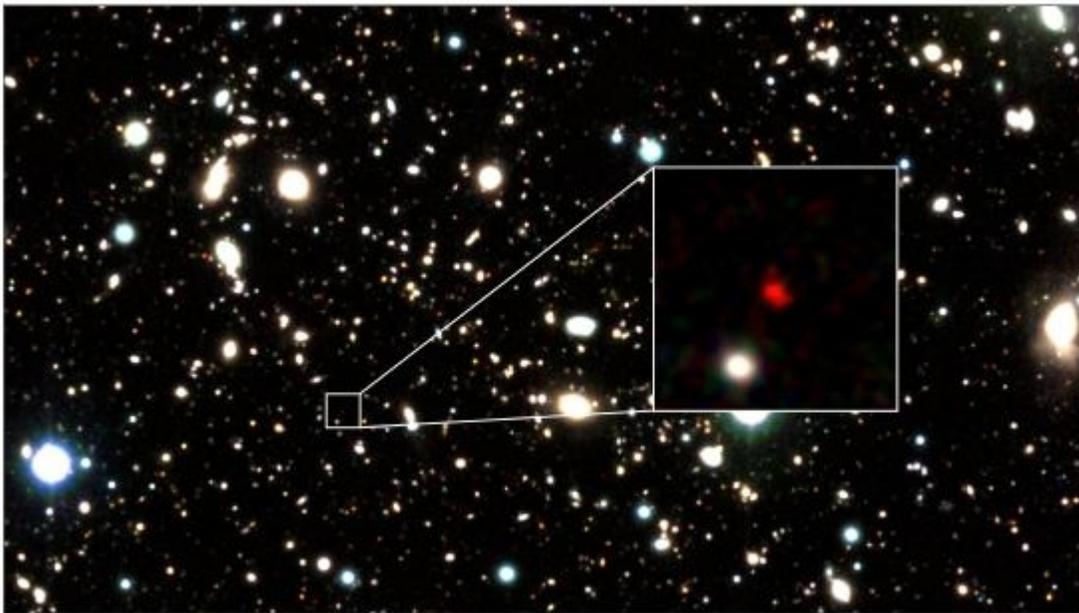


Figura 1. HD1: una candidata a "galaxia más lejana" en 2022. HD1, object in red, appears at the center of a zoom-in image. Credits. Harikane et al./HD1, objeto en rojo, aparece en el centro del zoom de la imagen. Fuente: <https://pweb.cfa.harvard.edu/news/9690/imagelist>

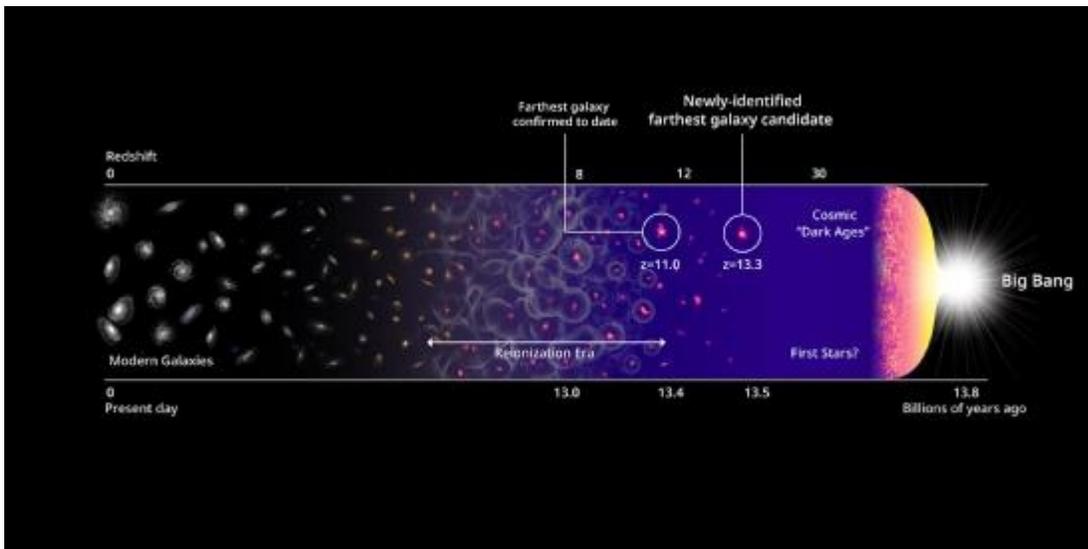


Figura 2. Origen de las galaxias tempranas, Harikane et al. Fuente: <https://pweb.cfa.harvard.edu/news/9690/imagelist>

Un equipo internacional de astrónomos, incluidos investigadores del Centro de Astrofísica | Harvard & Smithsonian, ha descubierto el objeto astronómico más distante jamás visto: una galaxia.

Nombrada HD1, la candidata a galaxia está a unos 13500 millones de años luz de distancia y se describe el jueves en el *Astrophysical Journal*. En un artículo adjunto publicado en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*, los científicos han comenzado a especular qué es exactamente la galaxia. El equipo propone dos ideas: HD1 puede estar formando estrellas a un ritmo asombroso y posiblemente incluso alberga estrellas de la Población III, las primeras estrellas del universo, que, hasta ahora, nunca se habían observado. Alternativamente, HD1 puede contener un agujero negro supermasivo de unas 100 millones de veces la masa de nuestro Sol. "Responder preguntas sobre la naturaleza de una fuente tan lejana puede ser un desafío", dice Fabio Pacucci, autor principal del estudio *MNRAS*, coautor del artículo de descubrimiento sobre *ApJ* y astrónomo del Centro de Astrofísica. "Es como adivinar la nacionalidad de un barco por la bandera que ondea, estando lejos en tierra, con el barco en medio de un vendaval y una densa niebla. Uno puede ver algunos colores y formas de la bandera, pero no en su totalidad. En última instancia, es un largo juego de análisis y exclusión de escenarios inverosímiles". HD1 es extremadamente brillante en luz ultravioleta. Para explicar esto, "algunos procesos energéticos están ocurriendo allí o, mejor aún, ocurrieron hace miles de millones de años", dice Pacucci.

Al principio, los investigadores asumieron que HD1 era una galaxia con brote estelar estándar, una galaxia que está creando estrellas a un ritmo elevado. Pero después de calcular cuántas estrellas estaba produciendo HD1, obtuvieron "una tasa increíble: HD1 estaría formando más de 100 estrellas cada año. Esto es al menos 10 veces más alto de lo que esperamos para estas galaxias". Fue entonces cuando el equipo comenzó a sospechar que HD1 podría no estar formando estrellas normales y cotidianas. "La primera población de estrellas que se formó en el universo era más masiva, más luminosa y más caliente que las estrellas modernas", dice Pacucci. "Si asumimos que las estrellas producidas en HD1 son estas primeras, o estrellas de Población III, entonces sus propiedades podrían explicarse más fácilmente. De hecho, las estrellas de Población III son capaces de producir más luz ultravioleta que las estrellas normales, lo que podría aclarar el extremo luminosidad ultravioleta de HD1". Sin embargo, un agujero negro supermasivo también podría explicar la extrema luminosidad de HD1. A medida que engulle enormes cantidades de gas, la región alrededor del agujero negro puede emitir fotones de alta energía. Si ese es el caso, sería, con mucho, el agujero negro supermasivo más antiguo conocido por la humanidad, observado mucho más cerca del Big Bang en comparación con el actual poseedor del récord. "HD1 representaría un bebé gigante en la sala de partos del universo primitivo", dice Avi Loeb, astrónomo del Centro de Astrofísica y coautor del estudio MNRAS. "Rompe el corrimiento al rojo más alto del cuásar registrado en casi un factor de dos, una hazaña notable". HD1 fue descubierto después de más de 1200 horas de tiempo de observación con el telescopio Subaru, el telescopio VISTA, el telescopio infrarrojo del Reino Unido y el telescopio espacial Spitzer. "Fue un trabajo muy duro encontrar HD1 entre más de 700.000 objetos", dice Yuichi Harikane, astrónomo de la Universidad de Tokio que descubrió la galaxia. "El color rojo de HD1 coincidió con las características esperadas de una galaxia a 13.500 millones de años luz de distancia sorprendentemente bien, lo que me puso un poco de piel de gallina cuando lo encontré". Luego, el equipo realizó observaciones de seguimiento utilizando el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) para confirmar la distancia, que es 100 millones de años luz más que GN-z11, el actual poseedor del récord de la galaxia más lejana. Usando el Telescopio Espacial James Webb, el equipo de investigación pronto volverá a observar HD1 para verificar su distancia de la Tierra. Si los cálculos actuales resultan correctos, HD1 será la galaxia más distante y más antigua jamás registrada. Las mismas observaciones permitirán al equipo profundizar en la identidad de HD1 y confirmar si una de sus teorías es correcta. "Formado unos cientos de millones de años después del Big Bang, un agujero negro en

HD1 debe haber crecido a partir de una semilla masiva a un ritmo sin precedentes", dice Loeb. "Una vez más, la naturaleza parece ser más imaginativa que nosotros".

Referencias

- [1] Yuichi Harikane, Akio K. Inoue, Ken Mawatari, Takuya Hashimoto, Satoshi Yamanaka, Yoshinobu Fudamoto, Hiroshi Matsuo, Yoichi Tamura, Pratika Dayal, L. Y. Aaron Yung, Anne Hutter, Fabio Pacucci, Yuma Sugahara, Anton M. Koekemoer. . The Astrophysical Journal (in press), 2022 [[abstract](#)]
[A Search for H-Dropout Lyman Break Galaxies at \$z\sim 12-16\$](#)
- [2] Fabio Pacucci, Pratika Dayal, Yuichi Harikane, Akio K. Inoue, Abraham Loeb. [Are the Newly-Discovered \$z\sim 13\$ Drop-out Sources Starburst Galaxies or Quasars?](#) Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 2022 [[abstract](#)]
- [3] *Astronomers have spotted the farthest galaxy ever*, Date: April 7, 2022. Source: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/04/220407101043.htm>
- [4] News Release 7-Apr-2022, *Scientists have spotted the farthest galaxy ever*. Peer-Reviewed Publication Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/948716>
- [5] *Descubren la galaxia más lejana detectada hasta la fecha*. Hipertextual.com, URL: <https://hipertextual.com/2022/04/galaxia-mas-lejana-3>

Artículo editado y traducido por Juan F. González

A33. 3 modos de búsqueda de exoplanetas en el espacio.

3 modos de búsqueda de exoplanetas en el espacio

El telescopio espacial Nancy Grace Roman buscará con estos métodos más exoplanetas en nuestra galaxia.

MÉTODO 1. Microlente gravitacional (gravitational microlensing).

La gran mayoría de los exoplanetas conocidos son exóticos en comparación con los de nuestro sistema solar. Los científicos esperan que los estudios de Roman también encuentren algunos mundos salvajes, pero se especializará en encontrar planetas en la

zona habitable de su estrella y más lejos, incluidos análogos a casi todos los planetas de nuestro sistema solar.

00:00

00:10

Vídeo 1. Los sondeos romanos buscarán planetas hacia el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, que está densamente poblada de estrellas. La mayor densidad de estrellas producirá más eventos de microlente, incluidos aquellos que revelan exoplanetas. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA/Laboratorio CI.

Microlente gravitacional: curso 101

La lente gravitacional es un efecto de observación que ocurre porque la presencia de masa deforma la estructura del espacio-tiempo, algo así como la abolladura que hace una bola de boliche cuando se coloca en un trampolín. El efecto es extremo alrededor de objetos muy masivos, como agujeros negros y galaxias enteras. Pero incluso las estrellas y los planetas causan un grado detectable de deformación, llamado microlente. Así es como funciona. La luz viaja en línea recta, pero si el espacio-tiempo se dobla, lo que sucede cerca de algo masivo, como una estrella, la luz sigue la curva. Cada vez que dos estrellas se alinean estrechamente desde nuestro punto de vista, la luz de la estrella más distante se curva a medida que viaja a través del espacio-tiempo deformado alrededor de la estrella más cercana. Si la alineación es especialmente cercana, la estrella más cercana actúa como una lente cósmica natural, magnificando la luz de la estrella de fondo. Los planetas que orbitan alrededor de la estrella de la lente pueden producir un efecto similar en una escala más pequeña.

00:00

00:16

Vídeo 2. Animaciones de microlente del telescopio espacial romano Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA.

Mundos familiares y exóticos

Las técnicas comúnmente utilizadas para encontrar otros mundos están sesgadas hacia planetas que tienden a ser muy diferentes a los de nuestro sistema solar. El método de tránsito, por ejemplo, es mejor para encontrar planetas similares a Neptuno que tienen órbitas mucho más pequeñas que las de Mercurio. Para un sistema solar como el nuestro, los estudios de tránsito podrían pasar por alto todos los planetas. El estudio del dominio del tiempo del abultamiento galáctico de Roman nos ayudará a encontrar análogos a todos los planetas de nuestro sistema solar excepto a Mercurio, cuya pequeña órbita y baja masa se combinan para ponerlo fuera del alcance de la misión. Roman encontrará planetas que tienen la masa de la Tierra e incluso más pequeños, tal vez incluso lunas grandes, como Ganímedes, la luna de Júpiter. Roman también encontrará planetas en otras categorías poco estudiadas. La microlente es más adecuada para encontrar mundos desde la zona habitable de su estrella y más lejos. Esto incluye gigantes de hielo, como Urano y Neptuno en nuestro sistema solar. Si bien los gigantes de hielo son una minoría en nuestro sistema solar, un estudio de 2016 indicó que pueden ser el tipo de planeta más común en toda la galaxia. Roman pondrá a prueba esa teoría y nos ayudará a comprender mejor qué características planetarias prevalecen más.

De enanas marrones a agujeros negros

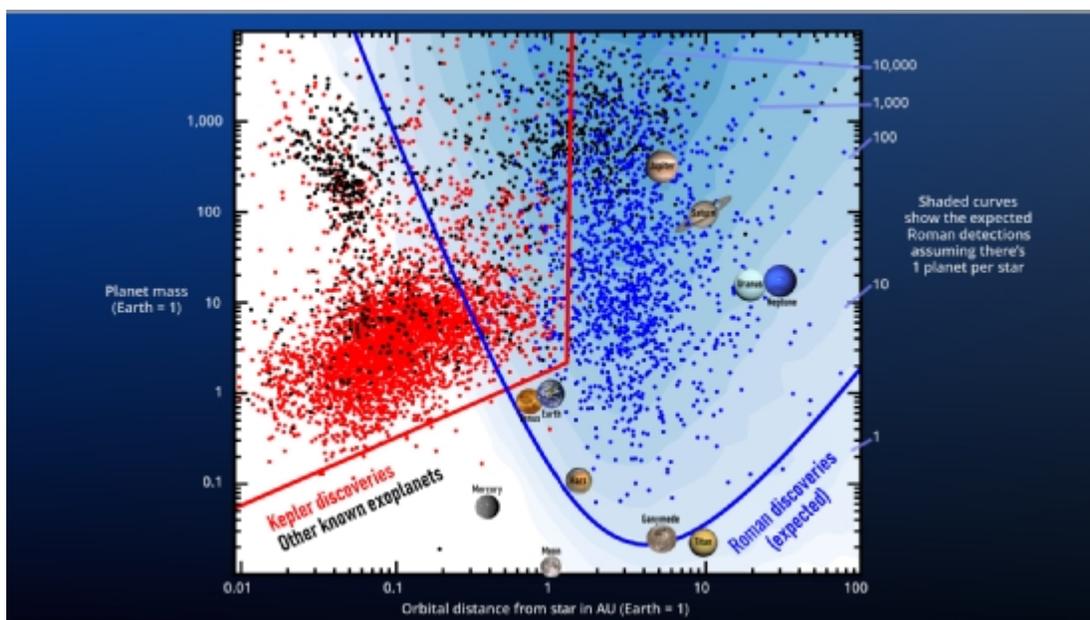


Figura 1. Kepler y otros esfuerzos de búsqueda de exoplanetas han descubierto miles de planetas grandes con órbitas pequeñas, representados por los puntos rojos y negros en este gráfico. Kepler y otros esfuerzos de búsqueda de exoplanetas han descubierto miles de planetas grandes con órbitas pequeñas, representados por los puntos rojos y negros en este gráfico. Roman encontrará planetas con una gama mucho más amplia de masas que orbitan más lejos de su estrella anfitriona, como se muestra con los puntos azules. Crédito: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA, adaptado de Penny et al. (2019).

Roman revelará más que solo exoplanetas: también identificará cientos de otros objetos cósmicos extraños e interesantes. Los científicos podrán estudiar cuerpos que flotan libremente con masas que van desde la de Marte hasta 100 veces la del Sol. El extremo inferior del rango de masas incluye planetas que fueron expulsados de sus estrellas anfitrionas y ahora vagan por la galaxia solos como planetas rebeldes. Luego están las enanas marrones, que son demasiado masivas para ser caracterizadas como planetas, pero no lo suficientemente masivas como para impulsarse por fusión como lo hacen las estrellas. Las enanas marrones no brillan visiblemente como las estrellas, pero Roman podrá estudiarlas en luz infrarroja a través del calor que queda de su formación. Los objetos en el extremo superior incluyen cadáveres estelares (estrellas de neutrones y agujeros negros) que quedan atrás cuando las estrellas masivas agotan su combustible. Los astrónomos creen que debería haber alrededor de 100 millones de agujeros negros de masa estelar en nuestra galaxia, pero nunca hemos encontrado sin ambigüedades uno solo, ya que son invisibles. Dado que el estudio de Roman se basa en la masa de un objeto para la detección, la misión nos ayudará a encontrarlos incluso cuando no haya nada cerca que nos indique su presencia.

El Roman's Galactic Bulge Time Domain Survey no solo mejorará nuestra comprensión de los sistemas planetarios, sino que también permitirá una gran cantidad de otros estudios que son difíciles o imposibles de estudiar de otra manera.

MÉTODO 2. Imagen directa (direct imaging).

Roman demostrará la tecnología de imágenes directas que nunca antes se había volado a bordo de un observatorio espacial. Usando esta tecnología, Roman ayudará a allanar el camino para futuras misiones para obtener imágenes de planetas similares a la Tierra alrededor de estrellas cercanas y medir sus espectros para buscar signos de vida.

Un hogar lejos de casa

Los exoplanetas son tan tenues y distantes que son prácticamente invisibles, incluso para telescopios potentes. Es por eso que casi todos los mundos que hemos descubierto alrededor de otras estrellas hasta ahora se han encontrado indirectamente, gracias al efecto que tienen sobre su estrella anfitriona. Sin embargo, los avances tecnológicos relativamente recientes permiten a los astrónomos tomar imágenes y espectros reales de exoplanetas. Los planetas pueden ser miles de millones de veces más tenues que sus estrellas anfitrionas, por lo que generalmente se pierden en el resplandor. Pero al bloquear la luz de la estrella con un coronógrafo o una pantalla estelar, los astrónomos pueden obtener imágenes de planetas más débiles en órbita. Esta técnica funciona mejor para sistemas planetarios jóvenes y cercanos, cuyos planetas son especialmente brillantes. Al estudiar imágenes reales y espectros de exoplanetas, los astrónomos pueden descubrir de qué están hechas las atmósferas de los planetas. Esto, a su vez, puede ofrecer pistas sobre los procesos que ocurren en los mundos representados, que pueden afectar su habitabilidad. El estudio de las atmósferas de los exoplanetas podría incluso revelar signos de vida, ya que los seres vivos modifican su entorno de formas que podríamos detectar, como la producción de oxígeno o metano. La imagen directa de planetas como la Tierra alrededor de estrellas como nuestro Sol podría ofrecer la mejor manera de comprender cómo se formó y evolucionó nuestro propio sistema solar. Más emocionante aún, podría abrirnos los ojos a un número incalculable de otros mundos potencialmente habitables.

Roman cerrará la brecha

Roman tiene como objetivo demostrar que las tecnologías de imágenes directas que han funcionado bien en los telescopios terrestres pueden funcionar aún mejor en el espacio. La misión también ampliará las observaciones actuales, que se limitan principalmente a la luz infrarroja, al ver la luz visible. Esto ayudará a los astrónomos a ver planetas más fríos por primera vez a través de la luz visible que reflejan de sus estrellas anfitrionas, e incluso a detectar nubes. El instrumento Coronagraph de Roman ofrecerá un escalón crucial en el viaje para encontrar vida en otros mundos. Los esfuerzos actuales de obtención de imágenes directas se limitan a planetas enormes y brillantes. Estos mundos son típicamente super-Júpiter que tienen menos de cien millones de años, tan jóvenes que todavía brillan por el calor que les quedó de su formación, lo que los hace detectables en luz infrarroja. También tienden a estar muy lejos de su estrella anfitriona

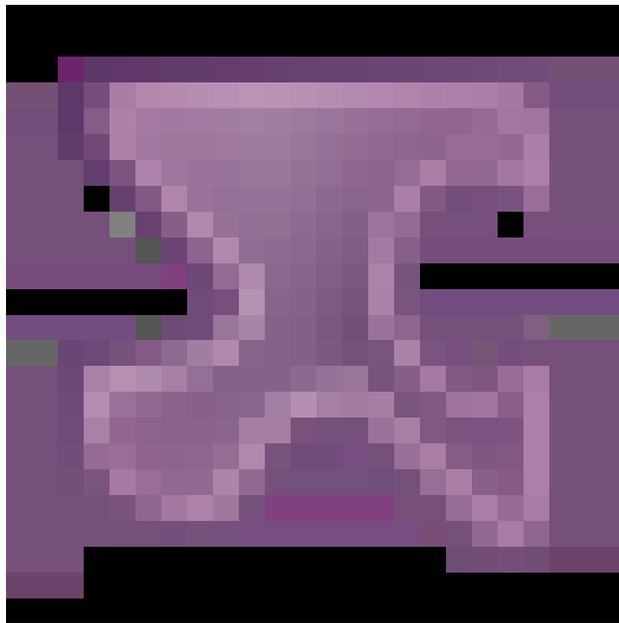
porque es más fácil bloquear la luz de la estrella y ver planetas en órbitas más distantes. Pero a los científicos les gustaría obtener imágenes directas de planetas similares al nuestro: planetas rocosos del tamaño de la Tierra en la zona habitable de estrellas similares al Sol, el rango de distancias orbitales donde podría existir agua líquida en la superficie de un planeta. Para hacerlo, debemos poder ver planetas más pequeños, más fríos y más tenues que orbitan mucho más cerca de sus estrellas anfitrionas de lo que los telescopios actuales son capaces de detectar. Roman nos acercará un paso más al observar planetas del tamaño de Júpiter que giran alrededor de estrellas similares al Sol, orbitando tan lejos como Júpiter está del Sol. La misión podrá tomar imágenes de planetas que abarcan edades de hasta varios miles de millones de años, algo que nunca antes se había hecho, demostrando tecnología que podría ser utilizada por futuras misiones para estudiar mundos que son aún más parecidos a la Tierra. También ofrecerá una forma complementaria de sondear los sistemas planetarios al tomar imágenes de débiles discos de gas y polvo que rodean a las estrellas similares al Sol cercanas. Roman puede incluso ser capaz de revelar estructuras en los discos, como espacios creados por planetas invisibles.

El instrumento Coronagraph/Coronógrafo de Roman incluirá un modo de polarimetría que puede generar imágenes de los discos alrededor de las estrellas en luz polarizada, familiar para la mayoría de nosotros como el resplandor reflejado bloqueado por gafas de sol polarizadas. Los astrónomos utilizarán imágenes polarizadas para estudiar los granos de polvo que forman los discos alrededor de las estrellas, incluido su tamaño de grano, forma y posiblemente incluso propiedades minerales. La combinación de observaciones en luz regular y polarizada proporcionará aún más información sobre los discos alrededor de las estrellas. El instrumento Coronagraph también tendrá un modo de espectroscopia, que permitirá a los astrónomos observar la intensidad de la luz que se emite en un rango de energías. Los astrónomos podrán ver no solo si un planeta tiene una atmósfera, sino también determinar si su atmósfera contiene metano o si tiene nubes. Abriendo una nueva frontera El Instrumento Coronógrafo de la misión contendrá varios componentes de última generación que nunca antes habían volado a bordo de un observatorio espacial. Por ejemplo, utilizará máscaras especialmente diseñadas para bloquear el resplandor de las estrellas anfitrionas, pero permitirá que se filtre la luz de los planetas en órbita más tenues. Estas máscaras tienen formas innovadoras y complejas que bloquean la luz de las estrellas con mayor eficacia que las máscaras tradicionales. El

Instrumento Coronógrafo también estará equipado con espejos deformables, que ayudan a contrarrestar las pequeñas imperfecciones que reducen la calidad de la imagen. Usando estos espejos especiales, las imágenes de Roman revelarán mundos mucho más oscuros más cerca de su estrella anfitriona de lo que podríamos ver de otra manera. Los planetas que Roman observará son tan débiles que el Instrumento Coronógrafo incluirá detectores especiales para contar los fotones individuales de luz a medida que llegan, con segundos o incluso minutos de diferencia. Ningún otro observatorio ha hecho antes este tipo de imágenes en luz visible. Las misiones futuras pueden aprovechar las lecciones que Roman aprende en el transcurso de su misión para ayudarlos a desempeñarse aún mejor. La información que proporcione Roman ayudará a estas misiones a buscar vida en planetas similares a la Tierra, proporcionando un paso vital para descubrir planetas habitables y posiblemente saber si estamos solos en el universo.

MÉTODO 3. Método de tránsito (Transit method).

Dado que la encuesta de microlente de Roman monitoreará la luz de cientos de millones de estrellas, la misión también revelará más de 100,000 exoplanetas en tránsito. Los astrónomos encuentran estos mundos cuando un planeta cruza la cara de su estrella anfitriona mientras completa una órbita, lo que bloquea parte de la luz de la estrella.



Vídeo 3. Explicación del método de tránsito. Esencialmente, consiste en monitorear el brillo de una estrella en función del tiempo. Una bajada de su brillo, de forma periódica, es indicio de la presencia de un exoplaneta que "eclipsa" la estrella parcialmente. This animation shows a planet crossing in front of, or transiting, its host star and the

corresponding light curve astronomers would see. Using this technique, scientists anticipate Roman could find 100,000 new worlds. Credits: NASA's Goddard Space Flight Center/Chris Smith (USRA/GESTAR).

El método de tránsito para encontrar exoplanetas ha tenido un gran éxito para las misiones Kepler y K2 de la NASA, que han descubierto más de 3000 planetas confirmados hasta la fecha, y actualmente lo utiliza el Satélite de sondeo de exoplanetas en tránsito (TESS) de la NASA. Los métodos de detección gemelos de microlente y tránsitos se complementan entre sí, lo que permite a Roman encontrar una gran variedad de planetas. El método de tránsito funciona mejor para los planetas que orbitan muy cerca de su estrella anfitriona. La microlente, por otro lado, puede detectar planetas que orbitan lejos de sus estrellas anfitrionas. Esta técnica también puede encontrar los llamados planetas rebeldes, que no están ligados gravitacionalmente a una estrella en absoluto. Estos mundos pueden variar desde planetas rocosos más pequeños que Marte hasta gigantes gaseosos. Se espera que aproximadamente las tres cuartas partes de los planetas en tránsito que encontrará Roman sean gigantes gaseosos como Júpiter y Saturno, o gigantes de hielo como Urano y Neptuno. La mayoría del resto probablemente serán planetas que tienen entre cuatro y ocho veces la masa de la Tierra, conocidos como mini-Neptunos. Estos mundos son particularmente interesantes ya que no hay planetas como ellos en nuestro sistema solar. Se espera que algunos de los mundos en tránsito que capturan los romanos se encuentren dentro de la zona habitable de su estrella, o el rango de distancias orbitales donde un planeta puede albergar agua líquida en su superficie. La ubicación de esta región varía según el tamaño y la temperatura de la estrella anfitriona: cuanto más pequeña y fría sea la estrella, más cerca estará de su zona habitable. La sensibilidad de Roman a la luz infrarroja la convierte en una poderosa herramienta para encontrar planetas alrededor de estas estrellas naranjas más tenues. La combinación de los resultados de las búsquedas de planetas en tránsito y microlente de Roman ayudará a proporcionar un censo de planetas más completo al revelar mundos con una amplia gama de tamaños y órbitas. La misión ofrecerá la primera oportunidad de encontrar una gran cantidad de planetas en tránsito ubicados a miles de años luz de distancia, lo que ayudará a los astrónomos a aprender más sobre la demografía de los planetas en diferentes regiones de la galaxia.

Referencias

- [1] El método de la microlente gravitacional, NGR space telescope site, URL: https://roman.gsfc.nasa.gov/exoplanets_microlensing.html
- [2] El método de la imagen directa, NGR space telescope site, URL: https://roman.gsfc.nasa.gov/exoplanets_direct_imaging.html
- [3] El método de tránsito, NGR space telescope site, URL: https://roman.gsfc.nasa.gov/exoplanets_transit_method.html
- [4] *La misión ROMAN de la NASA espera encontrar miles de planetas por método de tránsito*, nasa.gov news, URL: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-s-roman-mission-predicted-to-find-thousands-of-transiting-planets>
- [5] [Coronagraph Instrument](#)
- [6] [Exoplanet Coronagraphy observing program](#)
- [7] [Roman Coronagraph Instrument Parameters \(IPAC\)](#)
- [8] [Roman Coronagraph Simulations \(IPAC\)](#)
- [9] [JPL Roman mission homepage](#)
- [10] [Galactic Bulge Time Domain Survey](#)
- [11] ["Stars by the Billions" \(STScI Roman fact sheet\)](#)

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

A34. Un gemelo de Júpiter por microlente gravitacional

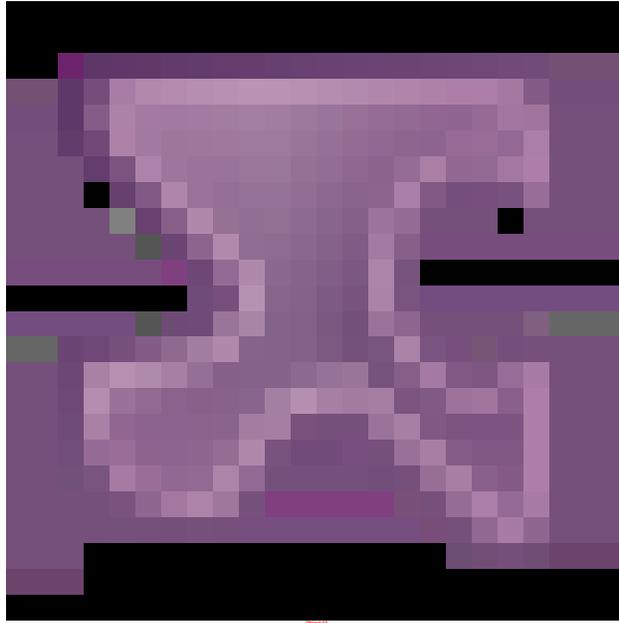
Excavar a través de los datos de Kepler revela un gemelo cercano de Júpiter

La nave espacial de caza de planetas Kepler de la NASA se desactivó en noviembre de 2018, unos diez años después de su lanzamiento. La misión detectó más de 5000 exoplanetas candidatos y 2662 exoplanetas confirmados utilizando el método de tránsito. Pero los científicos aún están trabajando con todos los datos de Kepler, con la esperanza de descubrir más planetas en las observaciones. Un equipo de investigadores

ha anunciado el descubrimiento de un planeta más en los datos de Kepler, y este es casi un gemelo de Júpiter. El planeta se llama K2-2016-BLG-0005Lb (lo siento), y está a 17000 años luz de distancia. Eso es casi el doble de lejos que el siguiente planeta más lejano descubierto por Kepler. Su masa es casi idéntica a la de Júpiter y orbita su estrella a la misma distancia que Júpiter orbita alrededor del Sol. Los astrónomos encontraron el mundo en los datos de Kepler de 2016. Kepler encontró planetas usando el método de tiempo de tránsito. Pero descubrió éste de manera diferente. Se basó en una de las predicciones de Einstein; que los objetos extremadamente masivos tienen una gravedad tan poderosa que pueden desviar la luz. Se llama microlente gravitacional.

"La posibilidad de que una estrella de fondo se vea afectada de esta manera por un planeta es de decenas a cientos de millones a uno en contra". Dr. Eamonn Kerins, investigador principal del Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología.

Un nuevo artículo [1] titulado "Kepler K2 Campaign 9: II. Primer descubrimiento basado en el espacio de un exoplaneta usando microlente" presenta el descubrimiento. Está disponible en línea en el sitio de preimpresión arxiv.org y aún no ha sido revisado por pares. El autor principal es Ph.D. estudiante David Specht de la Universidad de Manchester. Las oportunidades para detectar exoplanetas con microlente gravitacional aumentaron entre abril y julio de 2016, cuando Kepler observaba millones de estrellas hacia el centro de la Vía Láctea. En la técnica de microlente, los astrónomos observan la luz de una estrella de fondo doblada por la masa de un exoplaneta en primer plano. Eso no es fácil de hacer; requiere una alineación precisa del fondo y el primer plano desde el punto de vista de Kepler.



Vídeo 1. Efecto de una microlente gravitacional. Roman observará el centro galáctico, una región llena de estrellas.

Cuanto más estrellas mire, más eventos de microlente es probable que vea. La misión Euclid de la ESA también utilizará microlentes gravitacionales. Su misión principal es estudiar la materia oscura, la energía oscura y la expansión del Universo. Pero también puede detectar exoplanetas. Euclid y Roman están diseñados para complementarse entre sí, así que quién sabe exactamente qué podríamos aprender de ellos. El Dr. Kerins es líder adjunto del Grupo de trabajo científico de exoplanetas Euclid de la ESA. “Kepler nunca fue diseñado para encontrar planetas utilizando microlentes, por lo que, en muchos sentidos, es sorprendente que lo haya hecho. Roman y Euclid, por otro lado, estarán optimizados para este tipo de trabajo. Podrán completar el censo de planetas iniciado por Kepler”, dijo. “Aprenderemos cuán típica es la arquitectura de nuestro propio sistema solar. Los datos también nos permitirán probar nuestras ideas sobre cómo se forman los planetas. Este es el comienzo de un nuevo capítulo emocionante en nuestra búsqueda de otros mundos”.

"Para ver el efecto se requiere una alineación casi perfecta entre el sistema planetario de primer plano y una estrella de fondo", dijo el Dr. Eamonn Kerins, investigador principal de la subvención del Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología (STFC) que financió esta investigación. “La posibilidad de que una estrella de fondo se vea afectada de esta manera por un planeta es de decenas a cientos de millones a uno en contra. Pero

hay cientos de millones de estrellas hacia el centro de nuestra galaxia. Así que Kepler simplemente se sentó y los observó durante tres meses”.

El año pasado, un equipo de investigadores desarrolló un nuevo algoritmo para buscar candidatos a microlentes en los datos de Kepler. Algunos de esos mismos investigadores están detrás de este nuevo estudio. Los investigadores desarrollaron el algoritmo para buscar candidatos a planetas que flotan libremente. Encontraron cinco nuevos candidatos, incluido uno que es "... un evento binario de cruce cáustico, consistente con un planeta unido", dijo ese estudio.

Ese esfuerzo amplió las posibilidades de los datos de Kepler, a pesar de que la NASA no diseñó explícitamente la misión para microlente. "Incluso a través de un telescopio espacial no diseñado para estudios de microlentes, este resultado destaca las ventajas para el descubrimiento de microlentes de exoplanetas que provienen del muestreo temporal continuo y de alta cadencia que es posible desde el espacio", escriben los autores del nuevo estudio.

El estudio de 2021 "solo" encontró un candidato a exoplaneta, y este nuevo estudio confirma su candidatura. Pero en la ciencia, cada planeta es un punto de datos que les dice algo a los científicos, ahora o en el futuro.

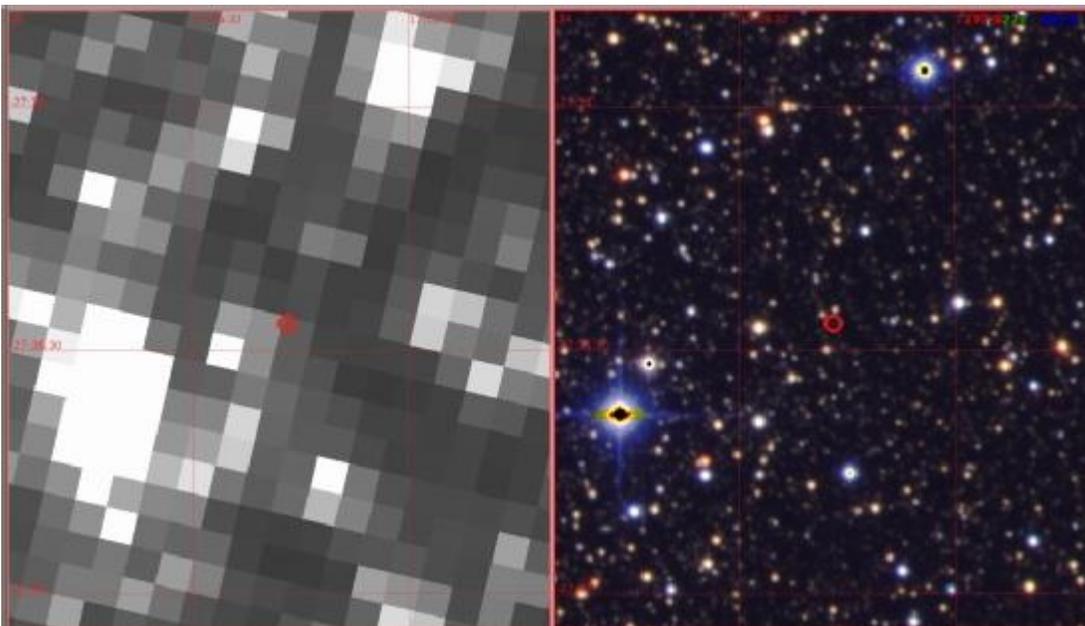


Figura. La imagen de la izquierda es una imagen de Kepler con K2-2016-BLG-0005Lb en un círculo rojo. La imagen de la derecha es una imagen del Telescopio Hawái de Canadá-Francia de la misma región, con el exoplaneta en un círculo rojo. K2-2016-BLG-0005Lb es casi idéntico a Júpiter en términos de masa y distancia a su estrella. Los

astrónomos lo descubrieron utilizando datos obtenidos en 2016 por el telescopio espacial Kepler de la NASA. El sistema exoplanetario está dos veces más lejos que cualquier otro visto anteriormente por Kepler, que encontró más de 2700 planetas confirmados antes de cesar sus operaciones en 2018. Crédito de la imagen: Specht et al. 2022.

Cinco sondeos terrestres también observaron la misma área del cielo que Kepler entre abril y julio de 2016. Kepler vio la anomalía de microlente antes que ellos porque Kepler está más de 100 millones de kilómetros más cerca. Ese retraso permitió a los investigadores tener una mejor idea de lo que vieron y dónde lo estaban viendo. "La diferencia en el punto de vista entre Kepler y los observadores aquí en la Tierra nos permitió triangular dónde se encuentra el sistema planetario a lo largo de nuestra línea de visión", dijo el Dr. Kerins. El punto de vista de Kepler sobre la atmósfera de la Tierra también le permitió observar continuamente.

"Kepler también pudo observar sin interrupciones por el clima o la luz del día, lo que nos permitió determinar con precisión la masa del exoplaneta y su distancia orbital desde su estrella anfitriona", dijo el Dr. Kerins. "Básicamente es el gemelo idéntico de Júpiter en términos de su masa y su posición con respecto a su Sol, que es aproximadamente el 60% de la masa de nuestro propio Sol".

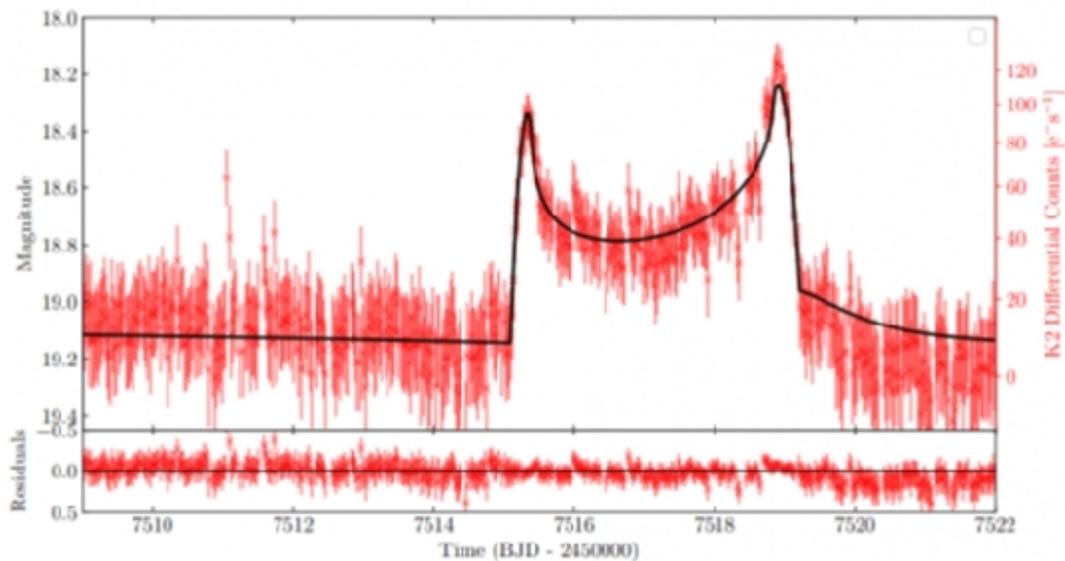


Figura. Esta figura del estudio muestra los datos fotométricos de Kepler para el exoplaneta detectado K2-2016-BLG-0005Lb. La región de cruce cáustico es claramente visible y bien muestreada entre $2450000 = 7515$ y 7519 . Crédito de la imagen: Specht et al. 2022.



Figura. Esta imagen muestra la impresión de un artista de 10 exoplanetas calientes de Júpiter estudiados con los telescopios espaciales Hubble y Spitzer. Los astrónomos creen que alrededor del 10 % de los exoplanetas son Júpiter calientes, pero se detectan más fácilmente. (Los colores son solo para ilustración). Crédito de la imagen: Por ESA/Hubble, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45642004>

"Las simulaciones también indican que los planetas de menor masa deberían existir en grandes cantidades más allá de la línea de nieve, pero que estos no suelen migrar desde su órbita de formación", escriben los autores. "Al sondear el la demografía de exoplanetas fríos y de baja masa, por lo tanto, podemos probar las predicciones de formación de planetas directamente, sin la necesidad de considerar dinámicas de migración complejas". Los astrónomos han demostrado que las microlentes gravitacionales pueden detectar exoplanetas distantes, pero no tendrán que depender de datos más antiguos de Kepler para usar la técnica. El telescopio romano Nancy Grace de la NASA debería detectar miles de exoplanetas utilizando microlentes gravitacionales. Un estudio mostró que podía detectar más de 100000 de ellos. "Roman encontrará planetas en otras categorías poco estudiadas", dice la NASA. "La microlente es más adecuada para encontrar mundos desde la zona habitable de su estrella y más lejos. Esto incluye gigantes de hielo, como Urano y Neptuno en nuestro sistema solar", explica el sitio web de la NASA para el Telescopio Espacial Romano. Cierta evidencia muestra que los gigantes de hielo son el tipo de exoplaneta más común en la galaxia, lo que hace que nuestro propio Sistema Solar sea un poco atípico con solo dos de ellos. "Roman

pondrá a prueba esa teoría y nos ayudará a comprender mejor qué características planetarias son las más frecuentes”.

Este estudio destaca la creciente importancia de las microlentes gravitacionales en la ciencia de los exoplanetas. "La microlente sigue siendo el método principal para detectar exoplanetas fríos y de baja masa, incluidos los planetas más allá de la línea de nieve", escriben los autores. El método de tránsito tiene un sesgo de muestreo incorporado: es más probable que detecte planetas gigantes cerca de estrellas grandes porque la señal de bloqueo de luz es más robusta. El método de tránsito tiene dificultades para identificar planetas en órbitas más amplias porque pueden pasar cientos de años antes de que ocurran múltiples tránsitos, y los astrónomos necesitan múltiples tránsitos para confirmar candidatos a exoplanetas. Las microlentes gravitacionales no tienen las mismas limitaciones. Pero detectar planetas como 2-2016-BLG-0005Lb más allá de la línea de nieve de un sistema solar es esencial para desarrollar nuestra comprensión de la arquitectura del sistema solar y fortalecer nuestras teorías sobre la formación de planetas. El pensamiento actual muestra que los planetas de gran masa se forman a través de la acumulación del núcleo más allá de la línea de nieve y luego migran hacia el interior de la estrella. (Aunque algunos pueden formarse debido a la inestabilidad gravitacional). Es probable que Júpiter lo haya hecho, y aunque Júpiter finalmente se estableció en su órbita más allá de la línea de nieve, es posible que otros planetas no lo hagan. Este proceso explica la gran cantidad de Júpiter calientes en la base de datos de exoplanetas.

Referencias

- [1] *Kepler K2 Campaign 9: II. First space-based discovery of an exoplanet using microlensing*, D. Specht et al. <https://arxiv.org/pdf/2203.16959.pdf>
- [2] *NASA's Kepler telescope delivers new planetary discovery from the grave*, <https://www.manchester.ac.uk/discover/news/nasas-kepler-telescope-delivers-new-planetary-discovery-from-the-grave/>
- [3] *Roman Telescope Could Turn up Over 100,000 Planets Through Microlensing*, Universetoday.com, URL: <https://www.universetoday.com/150766/roman-telescope-could-turn-up-over-100000-planets-through-microlensing/>

[4] *Digging Through Kepler Data Turns Up a Near Twin of Jupiter*. Universetoday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155318/digging-through-kepler-data-turns-up-a-near-twin-of-jupiter/>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

A35. Buscando señales alienígenas.

Buscando señales alienígenas

Si los extraterrestres nos estuvieran enviando señales, éste es el aspecto que tendrían...

Durante más de sesenta años, los científicos han estado buscando en el cosmos posibles señales de transmisión de radio que indiquen la existencia de inteligencia extraterrestre (ETI). En ese tiempo, la tecnología y los métodos han madurado considerablemente, pero quedan los mayores desafíos. Además de no haber detectado nunca una señal de radio de origen extraterrestre, existe una amplia gama de posibles formas que podría tomar tal transmisión. En resumen, los investigadores de SETI deben asumir cómo se vería una señal, pero sin el beneficio de ningún ejemplo conocido. Recientemente, un equipo internacional liderado por la Universidad de California Berkeley y el Instituto SETI desarrollaron una nueva herramienta de aprendizaje automático que simula el aspecto que podría tener un mensaje de inteligencia extraterrestre (ETI). ¡Se conoce como Setigen, una biblioteca de código abierto que podría cambiar las reglas del juego para futuras investigaciones de SETI! El equipo de investigación estuvo dirigido por Bryan Brzycki, un estudiante graduado de astronomía en UC Berkeley. A él se unieron Andrew Siemion, director del Centro de Investigación SETI de Berkeley, e investigadores del Instituto SETI, Breakthrough Listen, el Instituto Dunlap de Astronomía y Astrofísica, el Instituto de Ciencias Espaciales y Astronomía, el Centro Internacional de Investigación de Radioastronomía (ICRAR) y el Instituto Goergen para la ciencia de datos.



Figura 1. El radiotelescopio Howard E. Tatel de 85 pies (26 m) en NRAO utilizado en el Proyecto Ozma. Crédito: Z22/Wikipedia Commons

Desde la década de 1960, el método más común de SETI ha consistido en buscar en el cosmos señales de radio de origen artificial. El primer experimento de este tipo fue el Proyecto Ozma (de abril a julio de 1960), dirigido por el famoso astrofísico de Cornell, Frank Drake (creador de la Ecuación de Drake). Esta encuesta se basó en el plato de 25 metros en el Observatorio Nacional de Radioastronomía en Green Bank, Virginia Occidental, para monitorear Epsilon Eridani y Tau Ceti en frecuencias de aproximadamente 400 kHz alrededor de 1,42 GHz. Desde entonces, estas búsquedas se han expandido para cubrir áreas más grandes del cielo nocturno, rangos de frecuencia más amplios y una mayor diversidad de señales. Como explicó Brzycki a Universe Today por correo electrónico:

“En la década de 1960, la idea era centrarse en una región alrededor de una frecuencia conocida donde el hidrógeno neutro emite radiación en el espacio interestelar, 1,42 GHz. Dado que esta emisión natural prevalece en toda la galaxia, la idea es que cualquier civilización inteligente lo sepa y potencialmente apunte a esta frecuencia para la transmisión para maximizar la posibilidad de detección. Desde entonces, especialmente a medida que la tecnología ha avanzado rápidamente, la radio SETI se ha expandido a lo

largo de todos los ejes de medición. “Ahora podemos tomar medidas en un ancho de banda de varios GHz de forma instantánea. A medida que ha mejorado el almacenamiento, podemos recopilar grandes cantidades de datos, lo que permite observaciones de mayor resolución en las direcciones de tiempo y frecuencia. Del mismo modo, hemos realizado estudios de estrellas cercanas y en otras direcciones de la galaxia, para maximizar la exposición a direcciones potencialmente interesantes en el cielo”.

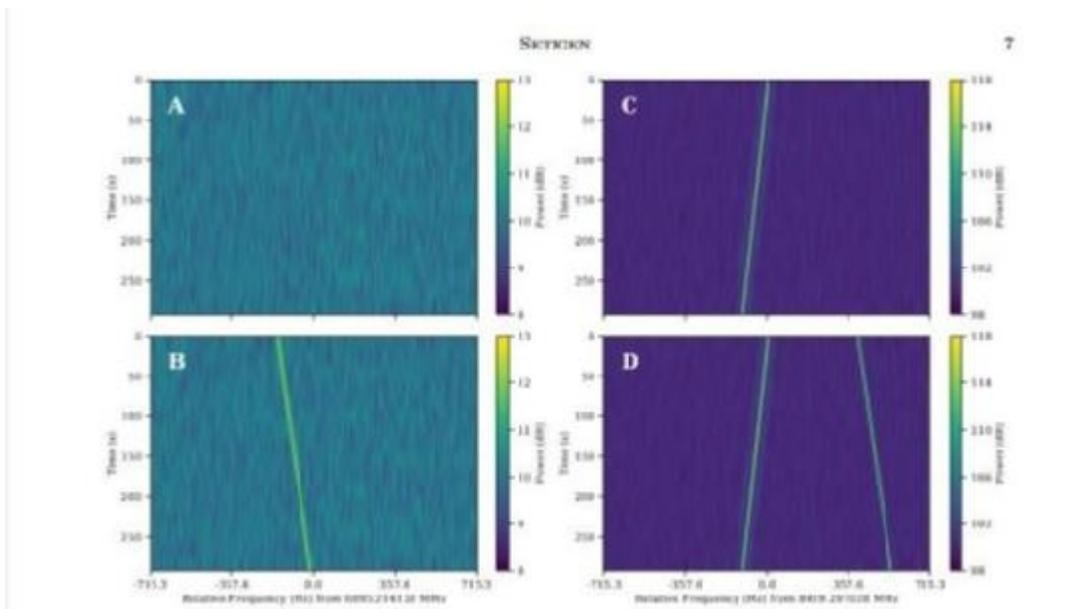


Figura 2. Gráficos de espectrogramas de radio creados a partir de marcos de Setigen. Crédito: Brzycki et al. Otro cambio importante ha sido la incorporación de algoritmos basados en aprendizaje automático diseñados para encontrar transmisiones en medio del ruido de fondo de radio del cosmos y corregir la interferencia de radiofrecuencia (RFI). Los algoritmos empleados en las encuestas SETI han caído en una de dos categorías: aquellos que miden datos de series de tiempo de voltaje y aquellos que miden datos de espectrograma de frecuencia de tiempo.

“Los datos sin procesar recopilados por una antena de radio son mediciones de voltaje; una onda de radio induce una corriente en la antena, que se lee y registra como voltaje”.

dijo Brzycki. “Un radiotelescopio es realmente solo una antena aumentada por un plato parabólico para enfocar un área más grande de luz, aumentando la resolución y el brillo. Resulta que la intensidad es proporcional al voltaje al cuadrado. Además, nos preocupamos por la intensidad en función de la frecuencia y el tiempo (el cuándo y el dónde de una señal potencial)”. Para obtener esto, dice Brzycki, los astrónomos comienzan empleando algoritmos que calculan la potencia de cada frecuencia que se observa hacia los datos de la serie temporal de entrada. En otras palabras, el algoritmo transforma los datos de la señal de radio de una función de espacio y/o tiempo en una función que depende de la frecuencia espacial o la frecuencia temporal, también conocida como. una transformada de Fourier (FT). Al elevar esto al cuadrado, los astrónomos pueden medir la intensidad de cada frecuencia durante el período de recopilación de datos. “Para obtener un espectrograma completo, una matriz de intensidad en función del tiempo y la frecuencia, tomamos una sección de la serie de voltaje-tiempo, obtenemos el FT y luego repetimos este proceso durante toda la observación para que podamos apilar una serie de manera efectiva. de conjuntos de datos FT uno encima del otro en la dirección del tiempo”, agregó Brzycki. “[U]na vez que decide una resolución de tiempo, determinamos la cantidad de muestras de tiempo necesarias y calculamos el FT para ver cuánta potencia hay en cada contenedor de frecuencia”.



Figura 3. Impresión artística de Breakthrough Listen y los instrumentos en los que se basa. Crédito: Breakthrough Listen/Univ. de Mánchester/Daniëlle Futselaar.

El algoritmo de búsqueda principal utilizado por los investigadores de SETI se conoce como el algoritmo "de Doppler de árbol incoherente", que cambia el espectro de ondas de radio para corregir la deriva de frecuencia y maximiza la relación señal-ruido de una señal. El programa de búsqueda SETI más completo jamás montado, Breakthrough Listen, utiliza una versión de código abierto de este algoritmo conocido como TurboSETI, que ha servido como la columna vertebral de muchas búsquedas de "firmas tecnológicas" (también conocidas como signos de actividad tecnológica). Como explicó Brzycki, este método tiene algunos inconvenientes: "El algoritmo asume que una señal SETI potencial es continua con un ciclo de trabajo alto (lo que significa que casi siempre está 'encendida'). Buscar una señal de onda sinusoidal continua es un buen primer paso, ya que es relativamente fácil y económico para los humanos producir y transmitir tales señales. "Dado que TurboSETI está dirigido a señales de línea recta que siempre están 'activadas', puede tener dificultades para captar morfologías alternativas, como señales de banda ancha y pulsadas. Se están desarrollando algoritmos adicionales para tratar de detectar estos otros tipos de señales, pero como siempre, nuestros algoritmos son tan efectivos como las suposiciones que hacemos de las señales a las que están dirigidos". Para los investigadores de SETI, el aprendizaje automático es una forma de identificar transmisiones en datos de radiofrecuencia sin procesar y clasificar múltiples tipos de señales. El principal problema, dice Brzycki, es que la comunidad astronómica no tiene un conjunto de datos de señales extraterrestres, lo que dificulta el entrenamiento supervisado en el sentido tradicional. Con este fin, Brzycki y sus colegas desarrollaron una biblioteca de código abierto basada en Python llamada Setigen que facilita la producción de observaciones de radio sintéticas. "Lo que hace Setigen es facilitar la producción de señales SETI sintéticas, que pueden usarse en datos completamente sintéticos o agregarse sobre datos de observación reales para proporcionar un ruido de fondo RFI más realista", dijo Brzycki. "De esta manera, podemos producir grandes conjuntos de datos de señales sintéticas para analizar la sensibilidad de los algoritmos existentes o para que sirvan como base para el entrenamiento de aprendizaje automático".



Figura 4. Imagen compuesta del SKA que combina todos los elementos en Sudáfrica y Australia. Crédito: SKAO.

Esta biblioteca estandariza los métodos de síntesis para el análisis de algoritmos de búsqueda, especialmente para productos de datos de observación de radio existentes como los que utiliza Breakthrough Listen. “Estos vienen en formato de espectrograma y voltaje complejo (serie de tiempo), por lo que tener un método para producir datos simulados puede ser realmente útil para probar el código de producción y desarrollar nuevos procedimientos”, agregó Brzycki. En este momento, se están desarrollando algoritmos para observaciones multihaz utilizando Setigen para producir señales simuladas. La biblioteca también se actualiza y mejora constantemente a medida que avanza la investigación de SETI. Brzycki y sus colegas también esperan agregar soporte para la síntesis de señales de banda ancha para ayudar a los algoritmos de búsqueda que se dirigen a señales que no son de banda estrecha. Serán posibles estudios SETI más robustos en un futuro cercano a medida que los radiotelescopios de próxima generación entren en funcionamiento. Esto incluye Breakthrough Listen, que incorporará datos de la matriz MeerKAT en Sudáfrica. También está el Square Kilometer Array (SKA), un proyecto de radiotelescopio masivo que combinará datos de observatorios en Sudáfrica y Australia. Estos incluyen MeerKAT y Hydrogen Epoch of Reionization Array (HERA) en Sudáfrica y Australian SKA Pathfinder (ASKAP) y Murchison Widefield Array (MWA) en Australia.

Por desgracia, todavía existe el factor más limitante con respecto a SETI, que es nuestro marco de referencia extremadamente limitado. Cuando se trata de eso, los astrónomos

no tienen idea de cómo se vería una señal extraterrestre porque nunca antes habíamos visto una. Esto, paradójicamente, hace que sea más difícil descubrir evidencia de firmas tecnológicas en medio del ruido de fondo del cosmos. Como tal, los astrónomos se ven obligados a adoptar el enfoque de "fruta madura", lo que significa buscar la actividad tecnológica tal como la conocemos.



Figura 5. Uno de los 42 platos de la matriz de telescopios Allen que busca señales del espacio. Crédito: Seth Shostak / Instituto SETI.

Sin embargo, al establecer parámetros basados en lo que es teóricamente posible, los científicos pueden reducir la búsqueda y aumentar las probabilidades de encontrar algo algún día. Como resumió Brzycki: “La única solución potencial para esto es algún tipo de encuesta de aprendizaje automático no supervisada que minimice nuestras suposiciones; se está trabajando en este frente. Setigen ciertamente se basa en esta suposición: las señales sintéticas que uno puede producir son de naturaleza heurística, en el sentido de que el usuario decide cómo deberían verse. “Al final del día, la biblioteca proporciona una forma de evaluar nuestros algoritmos existentes y crear conjuntos de datos de señales potenciales para desarrollar nuevos métodos de búsqueda, pero los problemas fundamentales de dónde y cuándo siempre permanecerán: lo mejor que podemos hacer es mantener al mirar!” En momentos como este, es bueno recordarnos que la paradoja de Fermi solo necesita resolverse una vez. En el momento en que

detectemos una transmisión de radio en el cosmos, sabremos con certeza que no estamos solos en el Universo, que la vida inteligente puede existir y existe más allá de la Tierra, ¡y se comunica utilizando tecnologías que podemos detectar!

Referencias

[1] *Setigen: Simulating Radio Technosignatures for SETI*, Bryan Brzycki, Andrew P. V. Siemion, Imke de Pater, Steve Croft, John Hoang, Cherry Ng, Danny C. Price, Sofia Z. Sheikh, Zihe Zheng. URL: <https://arxiv.org/abs/2203.09668>

[2] *If Aliens Were Sending us Signals, This is What They Might Look Like*. Universetoday.com, URL: <https://www.universetoday.com/155173/if-aliens-were-sending-us-signals-this-is-what-they-might-look-like/>

Artículo traducido y editado por Juan F. González.

A36. El Universo, las matemáticas y la imaginación.

Hace casi 400 años, en "El ensayador", Galileo escribió: "La filosofía está escrita en este gran libro, el universo... [Pero el libro] está escrito en el lenguaje de las matemáticas".

Era mucho más que un astrónomo, y esto casi puede considerarse como el primer escrito sobre el método científico moderno. No sabemos quién fue el primero en aplicar las matemáticas al estudio científico, pero es plausible que fueran los [babilonios](#), quienes las usaron para descubrir el patrón subyacente a los eclipses, hace casi 3000 años. Pero se necesitaron 2500 años y la invención del cálculo y la [física newtoniana](#) para explicar los patrones.



Figura 1. Las matemáticas son el lenguaje del universo. Crédito: Shutterstock.

Desde entonces, probablemente todos los grandes descubrimientos científicos han utilizado las matemáticas de alguna forma, simplemente porque son mucho más poderosas que cualquier otro lenguaje humano. No es de extrañar que esto haya llevado a mucha gente a afirmar que las matemáticas son mucho más: que el universo lo crea un matemático. Entonces, ¿podríamos imaginar un universo en el que las matemáticas no funcionen?

El lenguaje de las matemáticas

La [hipótesis de Sapir-Whorf](#) afirma que no se puede discutir un concepto a menos que se tenga el lenguaje para describirlo. En cualquier ciencia, y en física en particular, necesitamos describir conceptos que no se corresponden bien con ningún lenguaje humano. Uno puede describir un electrón, pero en el momento en que comenzamos a hacer preguntas como "¿De qué color es?" empezamos a darnos cuenta de las deficiencias del inglés.



Vídeo 1. Science Magazine analiza las tablillas de arcilla babilónicas que contenían fórmulas matemáticas que son precursoras del cálculo.

El color de un objeto depende de las longitudes de onda de la luz reflejada por él, por lo que un electrón no tiene color, o más exactamente, todos los colores. La pregunta en sí no tiene sentido. Pero pregunta "¿Cómo se comporta un electrón?" y la respuesta es, en principio, sencilla. En 1928, Paul A.M. Dirac escribió una ecuación que describe el comportamiento de un electrón casi a la perfección en todas las circunstancias. En el caso de que se mueva sin campos electromagnéticos, la ecuación de Dirac del electrón en el vacío se escribe como sigue:

Esta ecuación predice la existencia de la antimateria, que sin embargo en nuestro Universo es casi inexistente.

Esto no quiere decir que sea simple cuando nos fijamos en los detalles. Por ejemplo, un electrón se comporta como un pequeño imán. La magnitud se puede calcular, pero el cálculo es terriblemente complicado. Explicar una aurora, por ejemplo, requiere que entendamos la mecánica orbital, los campos magnéticos y la física atómica, pero en el fondo, estas son solo más matemáticas. Pero es cuando pensamos en el individuo que nos damos cuenta de que el compromiso humano con el pensamiento lógico y matemático es mucho más profundo. La decisión de adelantar a un automóvil que se mueve lentamente no implica la integración explícita de las ecuaciones de movimiento,

pero ciertamente lo hacemos implícitamente. Un Tesla en piloto automático en realidad los resolverá explícitamente.

Prediciendo el caos

Por lo tanto, no debería sorprendernos que las matemáticas no sean solo un lenguaje para describir el mundo externo, sino el único en muchos sentidos. Pero el hecho de que algo se pueda describir matemáticamente no significa que se pueda predecir. Uno de los descubrimientos más notables de los últimos 50 años ha sido el descubrimiento de los ["sistemas caóticos"](#). Estos pueden ser sistemas matemáticos aparentemente simples que no pueden resolverse con precisión. Resulta que muchos sistemas son caóticos en este sentido. Las trayectorias de los huracanes en el Caribe son superficialmente similares a las trayectorias de los eclipses, pero no podemos predecirlas con precisión con todo el poder de las computadoras modernas. Sin embargo, entendemos por qué: las ecuaciones que describen el clima son intrínsecamente caóticas, por lo que podemos hacer predicciones precisas a corto plazo (alrededor de 24 horas), pero estas se vuelven cada vez menos confiables con el paso de los días. Este, mal llamado, "efecto mariposa" es inherente a la no linealidad. De hecho el caos o un sistema dinámico caótico se suele definir en general en términos de 3 condiciones más o menos independientes:

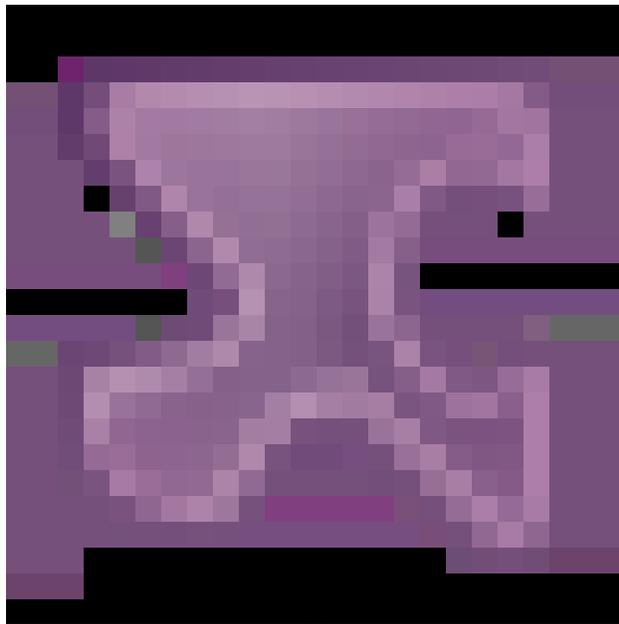
1. Un sistema es caótico si es sensible a cambios en las condiciones iniciales del sistema. ¿Qué significa esta condición? Quiere decir que una variación insignificante en cómo comienza el sistema puede producir comportamientos futuros muy diferentes. Popularmente, se denomina a esta condición "efecto mariposa" (butterfly effect), porque sugiere que el aleteo de una mariposa en Pekín/Beijing, puede producir un tornado en Texas o Europa.

2. Un sistema dinámico caótico debe ser "topológicamente transitivo", es decir, si $f: X \rightarrow X$ es una aplicación dinámica topológicamente transitiva, entonces para todo par de conjuntos no vacíos $A, B \subset X$ existe un número entero tal que $f^n(A) \cap B \neq \emptyset$. ¿Qué significa esta condición? Intuitivamente, si una aplicación es topológicamente transitiva, entonces, dado un punto x y una región del espacio V , entonces existe un punto y cerca de x cuya órbita dinámica pasa a través del espacio V donde estaba x . Dicho de otro modo más gráfico, la transitividad topológica implica que es imposible descomponer el sistema en dos conjuntos abiertos (dos espacios separados).

3. Un sistema dinámico caótico debe tener órbitas densas periódicas. Esto es, cualquier punto en el espacio dinámico es atravesado (o al menos acercado) por órbitas periódicas (cercanas).

Otros efectos de los sistemas dinámicos caóticos son los denominados atractores extraños o las dimensiones fractales. Pero no hablaremos de estas ideas en este artículo por su complejidad y extensión.

De manera similar, la mecánica cuántica proporciona una teoría en la que sabemos con precisión qué predicciones no se pueden hacer con precisión. Uno puede calcular las propiedades de un electrón con mucha precisión, pero no podemos predecir lo que hará uno individual. Los huracanes son obviamente eventos intermitentes, y no podemos predecir cuándo sucederá con anticipación. Pero el mero hecho de que no podamos predecir un evento con precisión no significa que no podamos describirlo cuando sucede. Incluso podemos manejar eventos únicos: generalmente se acepta que el universo se creó en el Big Bang y tenemos una teoría notablemente precisa al respecto.



Vídeo 2. Las aplicaciones de citas online también usan Matemáticas. En una charla de TED, la futurista Amy Webb muestra que las matemáticas realmente funcionan en los algoritmos de datación o de citas.

Diseño de sistemas sociales

Una gran cantidad de fenómenos sociales, desde el mercado de valores hasta las revoluciones, carecen de buenas matemáticas predictivas, pero podemos describir lo que ha sucedido y, hasta cierto punto, construir sistemas modelo. Entonces, ¿qué hay de las relaciones personales? El amor puede ser ciego, pero las relaciones son ciertamente predecibles. La gran mayoría de nosotros elegimos parejas dentro de nuestra clase social y grupo lingüístico, por lo que no hay ninguna duda de que es cierto en el sentido estadístico. Pero también es cierto en el sentido local. Una gran cantidad de sitios de citas ganan dinero mediante algoritmos que al menos pretenden emparejarte con tu pareja ideal. Un universo que no pudiera describirse matemáticamente necesitaría ser fundamentalmente irracional y no simplemente impredecible. El hecho de que una teoría sea inverosímil no significa que no podamos describirla matemáticamente.

Hacia el Multiverso (¿de la locura?)

No creo que vivamos en ese universo antimatemático o amatemático, y sospecho/sospechamos que no podemos imaginar un universo no matemático. Si existiera, estaría fuera de la clasificación de Max Tegmark de los diferentes tipos de Multiversos.

Nivel I – Más allá de nuestro Universo Cósmico observable.

Este, según Max, es el tipo de multiverso menos controvertido. Esto se debe a que todos aceptamos el hecho de que las cosas que son invisibles forman parte de la existencia, pero podríamos tener la oportunidad de verlas si estuviéramos en una buena posición. “Más allá de nuestro horizonte cósmico se usa rutinariamente para evaluar las teorías actuales de la cosmología moderna, aunque el procedimiento no se explica explícitamente” (Tegmark, 2003). “La lección que se deriva del estudio del multiverso es que esta teoría tiene la capacidad de ser probada y refutada aunque los otros universos no sean visibles” (Tegmark, 2003). El Universo más allá de nuestro horizonte cosmológico representa el primer nivel de Multiverso.

El multiverso de nivel II: otras burbujas posteriores a la inflación. El multiverso de nivel II: otras burbujas posteriores a la inflación (época temprana del Universe en el que el espacio-tiempo se expandió más rápido que la velocidad de la luz) se predice mediante la teoría actualmente común de la inflación caótica eterna, aunque es un modelo entre otros varios. “La inflación dentro de este contexto se refiere a “una extensión de la teoría del Big Bang y ata muchos de los cabos sueltos de esa teoría, como por qué el universo es tan grande, tan uniforme y tan plano y un rápido estiramiento del espacio hace mucho

tiempo puede explicar todos estos y otros atributos de una sola vez” (Tegmark, 2003). Las burbujas muestran variaciones tanto en su estado como en sus condiciones. El Universo conocido podría o estaría conectado de alguna forma con varias de esas burbujas mediante topologías no triviales (agujeros de gusano o similares entidades). En principio, las leyes físicas podrían ser idénticas, solamente diferenciándose unos universos burbuja de otros en términos de constantes o parámetros físicos (como el valor de la carga del electrón y su masa, la constante de gravitación, etc.).

Nivel III – Muchos Mundos Cuánticos (Many Worlds)

“El multiverso cuántico de muchos mundos está a nuestro alrededor y es un producto de la interpretación de la mecánica cuántica y esta teoría del multiverso especifica el estado del universo, no en términos clásicos como en las otras teorías, sino en términos del objeto matemático llamado onda. función” (Tegmark, 2003). Este hecho está bien establecido por Tegmark (2003) que “Según la ecuación de Schrödinger, el estado evoluciona a lo largo del tiempo de una manera que los matemáticos denominan unitaria, lo que significa que la función de onda gira en un espacio abstracto de dimensión infinita llamado espacio de Hilbert. ”

Si esta interpretación "es" correcta, cada medida de un observador ramifica la realidad en múltiples e infinitas (en el caso más extremo) realidades. Por supuesto, totalmente inconexas entre sí, aunque se especula sobre la forma de poner de manifiesto la existencia de tales realidades mediante algunos experimentos.

Nivel IV – Otras Estructuras Matemáticas

Esta teoría respalda el hecho de que las “leyes fundamentales que gobiernan nuestra naturaleza siguen siendo las mismas en oposición a las variaciones del multiverso proyectadas por los tres primeros niveles de las teorías del multiverso” (Tegmark, 2003). Esta teoría proyecta un hecho de que el último tipo de universo paralelo se abre en un reino lleno de posibilidades. Las diferencias en los universos no son solo el resultado de la ubicación, las propiedades cosmológicas, sino también las leyes físicas existentes. Tegmark afirma que todos los universos matemáticos posibles son de hecho realidades físicas en algún lugar. Esto puede verse como una especie de neoplatonismo cósmico multiversal.

Conjetura: ¿Hay un *Nivel V*- Universos caóticos, mágicos, espirituales o religiosos no matemáticos?

3 preguntas finales para mentes inquietas y curiosas

1. ¿Cuál es la característica común de las cuatro teorías según lo proyectado por el artículo? “Una característica común de los cuatro multiversos es que el artículo presagia que la teoría más simple y elegante lleva consigo una consideración de universo paralelo por defecto”. (Tegmark, 2003). Negar el hecho de que otros universos no existen significa que tienes que encontrar evidencia sin respaldo para solidificar tu afirmación.
2. ¿Cuál de los cuatro niveles de teorías se verá profundamente afectado si las computadoras cuánticas de construcción actual tienen éxito y cómo? Nivel III – Quantum Many Worlds registrará un efecto profundo porque explorar el paralelismo del multiverso de nivel III proporcionará más evidencia de la violación de la unitaridad que finalmente descartará las teorías y afirmaciones de nivel III.
3. ¿Cuál es la conclusión general de los cosmólogos cuando consideran teorías que están menos establecidas? Concluyen que otros universos pueden tener propiedades y leyes físicas completamente diferentes y la presencia de los universos referidos explicaría varios aspectos extraños que forman parte de los suyos.

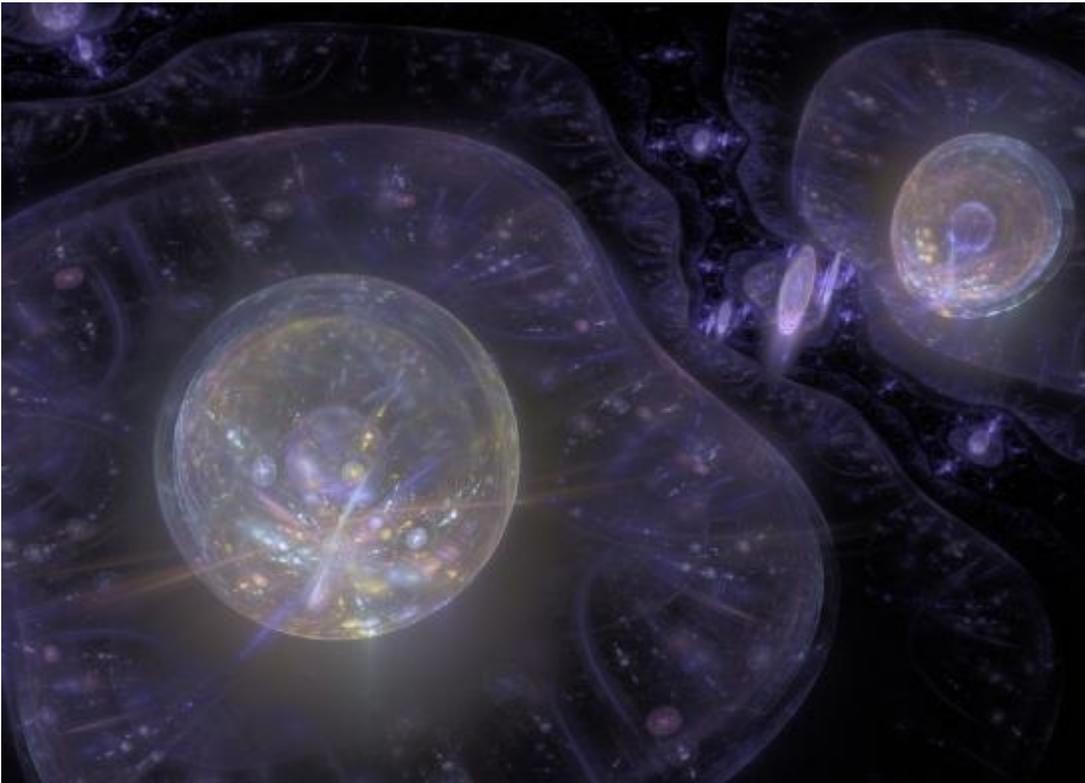


Figura 2. Multiverso burbuja.

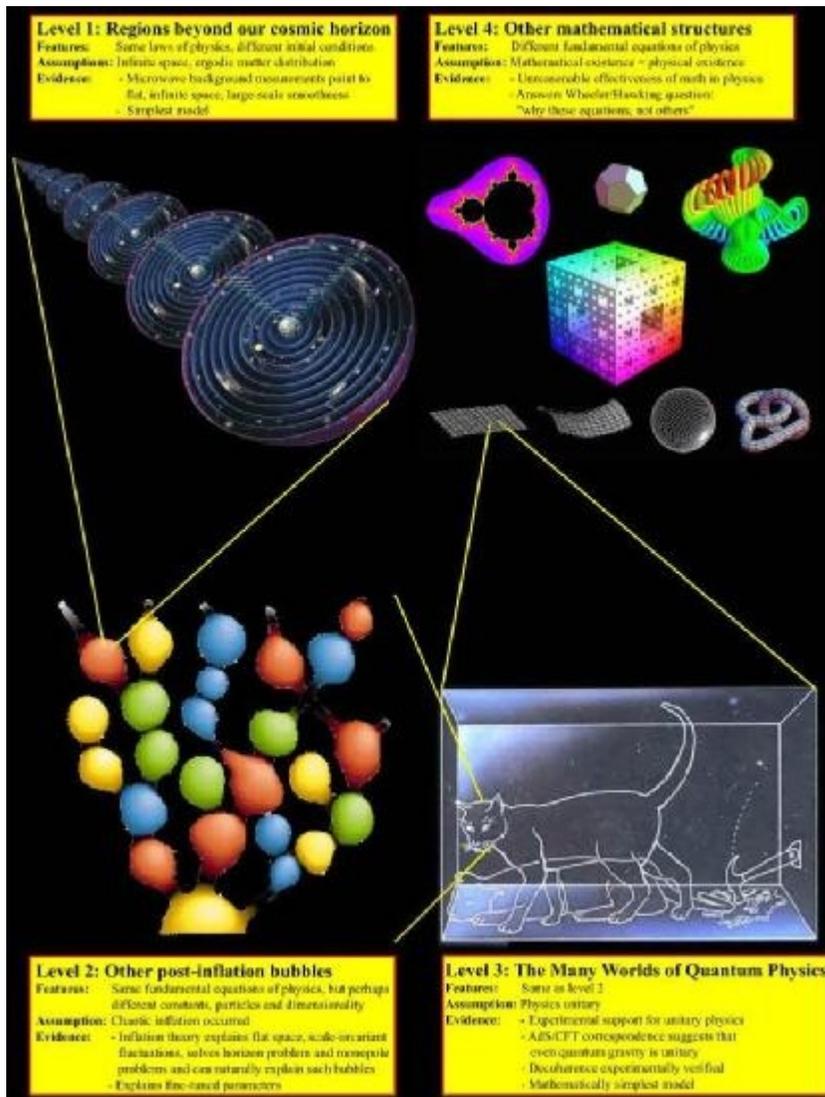


Figura 3. Los 4 niveles del Multiverso, según Max Tegmark.

Referencias

- [1] *A universe without mathematics is beyond the scope of our imagination*, by Peter Watson, The Conversation. URL: <https://phys.org/news/2022-04-universe-mathematics-scope.html>
- [2] *The Four Levels of the Multiverse* by Max Tegmark, URL: <https://studycorgi.com/the-four-levels-of-the-multiverse-by-max-tegmark/>
- [3] Tegmark, M, 2003. *Parallel Universes*. Journal of Scientific American.
- [4] *What is Chaos?* URL: <https://www.stsci.edu/~lbradley/seminar/chaos.html>

Artículo editado y traducido por Juan F. González.

Tabla de contenidos

- A1. JWST: lanza la imagen IR más profunda del espacio.**
- A2. El púlsar enana blanca AR Sco.**
- A3. Mapeando las enanas blancas de nuestra galaxia.**
- A4. El premio Abel de Matemáticas 2022: D. P. Sullivan.**
- A5. Más de 5000 exoplanetas...ahí fuera...**
- A6. Monopolos magnéticos en diamantes.**
- A7. La velocidad del sonido en Marte.**
- A8. El telescopio espacial Nancy Grace Roman.**
- A9. Simetría, superconductividad y física de aislantes de Mott.**
- A10. Los próximos telescopios: en busca de las exotecnocivilizaciones.**
- A11. Gravitones masivos como materia oscura.**
- A12. ¿Son los electrones agujeros negros o singularidades desnudas?**
- A13. La ley de Coulomb-Newton en otras dimensiones.**
- A14. Círculos de radio raros.**
- A15. Orígenes de los púlsares de milisegundo más lentos.**
- A16. Agujeros negros masivos como partículas cuánticas.**
- A17. Agujeros negros supermasivos en el Universo primitivo.**

A18. Eärendel.

A19. Planetas errantes, solitarios o vagabundos.

A20. La Batalla de las Ecuaciones/The Battle Of Equations.

A21. Fluctuaciones de espín y superconductividad basada en el hierro.

A22. Los vientos de los agujeros negros.

A23. Cristales coloidales.

A24. Detección de ondas gravitacionales mediante algoritmos cuánticos.

A25. Cotas de materia oscura por microlentes de ondas gravitacionales.

A26. Nueva simulación del Universo que aún no hemos visto.

A.27. Criovulcanismo plutoniano.

A28. Telescopios fluídicos.

A29. Nuevas detecciones de LIGO O3.

A30. Generador multifotónico en un chip.

A31. Megamáser extragaláctico.

A32. Hemos hallado una nueva...¿`galaxia más lejana?

A33. 3 modos de búsqueda de exoplanetas en el espacio.

A34. Un gemelo de Júpiter por microlente gravitacional.

A35. Buscando señales alienígenas.

A36. El Universo, las matemáticas y la imaginación.