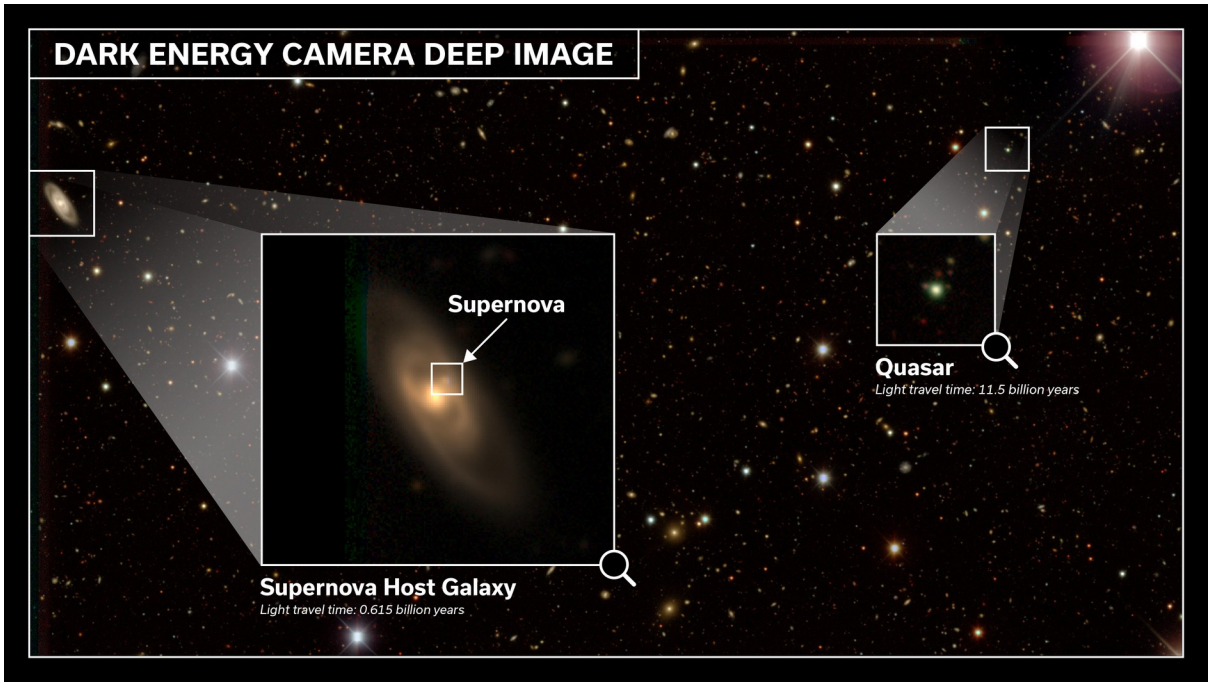
Instituto de Física Teórica UAM-CSIC

Nuevos resultados de supernovas ofrecen perspectivas únicas sobre la expansión del universo

- **Más de 1.500 nuevas supernovas han sido clasificadas mediante aprendizaje automático.**

- **Aunque son consistentes con el modelo cosmológico estándar actual, los resultados no descartan una teoría más compleja que sugiera que la densidad de la energía oscura en el universo podría haber variado con el tiempo.**



Madrid, 9 de enero de 2024.- Como culmen de una década de esfuerzo, la colaboración Dark Energy Survey (DES) ha analizado una muestra sin precedentes de más de 1500 supernovas clasificadas mediante aprendizaje automático o *machine learning*. Se trata de los resultados más precisos sobre la expansión del universo jamás obtenidos mediante el sondeo de supernovas del DES. Aunque son consistentes con el modelo cosmológico estándar actual, **los resultados no descartan una teoría más compleja que sugiera que la densidad de la energía oscura en el universo podría haber variado con el tiempo.**

Investigadores del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Institut de Ciències de l'Espai (ICE-CSIC), Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), el Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) y el Instituto de Física Teórica (UAM-CSIC) integran la contribución española al proyecto, DES-Spain.

En 1998, los astrofísicos descubrieron que el universo se está expandiendo a un ritmo acelerado, atribuido a una entidad misteriosa llamada energía oscura que constituye aproximadamente el 70% de nuestro universo. Aunque ya había sido predicho por mediciones anteriores, el descubrimiento fue algo sorprendente; en ese momento, los astrofísicos estaban de acuerdo en que la expansión del universo debería estar disminuyendo debido a la gravedad.

Este descubrimiento revolucionario, logrado por los astrofísicos mediante observaciones de estrellas de diferentes tipos que explotan, llamadas supernovas de tipo la (leído como "tipo uno-A"), fue reconocido con el Premio Nobel de Física en 2011.

Ahora, 25 años después del descubrimiento inicial, los científicos que trabajan en el Dark Energy Survey han publicado los resultados de un análisis utilizando la misma técnica para profundizar en los misterios de la energía oscura y la expansión del universo. En una presentación en la 243° reunión de la American Astronomical Society el 8 de enero de 2024 y en un artículo presentado al Astrophysical Journal en enero titulado "The Dark Energy Survey: Cosmology results with ~1500 new high-redshift type la supernovae using the full 5-year dataset," (El Dark Energy Survey: Resultados cosmológicos con ~1500 nuevas supernovas de tipo la de alto corrimiento al rojo utilizando el conjunto de datos completo de 5 años), los astrofísicos del DES dan cuenta de resultados que son consistentes con el modelo cosmológico estándar actual de un universo con una expansión acelerada. Sin embargo, los hallazgos no son lo suficientemente definitivos como para descartar un modelo posiblemente más complejo.

Un enfoque único para el análisis

El Dark Energy Survey es una colaboración internacional que comprende a más de 400 astrofísicos, astrónomos y cosmólogos de más de 25 instituciones dirigidos por miembros del Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi del Departamento de Energía de los Estados Unidos. El DES mapeó un área casi una octava parte del cielo completo utilizando la Dark Energy Camera, una cámara digital de 570 megapíxeles construida por Fermilab y financiada por la Oficina de Ciencia del DOE. Se montó en el Telescopio Víctor M. Blanco en el Observatorio Interamericano Cerro Tololo de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF), un Programa de NOIRLab de la NSF en 2012. Los científicos del DES tomaron datos durante 758 noches a lo largo de seis años.

Para comprender la naturaleza de la energía oscura y medir la tasa de expansión del universo, los científicos del DES realizan análisis con cuatro técnicas diferentes, incluida la técnica de supernovas utilizada en 1998.

Esta técnica requiere datos de supernovas de tipo Ia, que ocurren cuando una estrella muerta extremadamente densa, conocida como enana blanca, alcanza una masa crítica y explota. Dado que la masa crítica es casi la misma para todas las enanas blancas, todas las supernovas de tipo Ia tienen aproximadamente el mismo brillo real y cualquier variación restante puede calibrarse. Por lo tanto, cuando los astrofísicos comparan los brillos aparentes de dos supernovas de tipo Ia desde la Tierra, pueden determinar sus distancias relativas respecto a nosotros.

Los astrofísicos trazan la historia de la expansión cósmica con grandes muestras de supernovas que abarcan una amplia gama de distancias. Para cada supernova, combinan su distancia con una medición de su corrimiento al rojo, es decir, cuan rápido se está alejando de la Tierra debido a la expansión del universo. Pueden utilizar esa historia para determinar si la densidad de la energía oscura ha permanecido constante o ha cambiado con el tiempo.

"A medida que el universo se expande, la densidad de materia disminuye", según Rich Kron, director y portavoz del DES, que es científico de Fermilab y la Universidad de Chicago. "Pero si la densidad de la energía oscura es constante, eso significa que la proporción total de energía oscura debe estar aumentando a medida que aumenta el volumen".

El culmen de una década de esfuerzo

El modelo cosmológico estándar es LCDM, o Materia Oscura Fría Lambda, un modelo basado en la densidad de la energía oscura que permanece constante a lo largo del tiempo cósmico. Nos dice cómo evoluciona el universo, utilizando solo algunas características, como la densidad de materia, el tipo de materia y el comportamiento de la energía oscura. El método de supernovas limita muy bien dos de estas características: la densidad de materia y una cantidad llamada *w*, que indica si la densidad de la energía oscura es constante o no.

Según el modelo cosmológico estándar, la densidad de la energía oscura en el universo es constante, lo que significa que no se diluye a medida que el universo se expande. Si esto es cierto, el parámetro representado por la letra w debería ser igual a –1.

Cuando la colaboración DES presentó internamente sus resultados de supernovas, fue el culmen de una década de esfuerzo y un momento emocionante para muchos de los astrofísicos involucrados. "Estaba temblando", cuenta Tamara Davis, profesora en la Universidad de Queensland en Australia y co-coordinadora del grupo de trabajo de supernovas del DES. "Definitivamente fue un momento emocionante".

Los resultados encontraron w = –0,80 +/- 0,18 usando solo supernovas. Combinados con datos complementarios del telescopio Planck de la Agencia Espacial Europea, w alcanza –1 dentro de las barras de error. "w no es exactamente –1, pero lo suficientemente cercano como para ser consistente con –1", dijo Davis. "Podría ser necesaria un modelo más complejo. La energía oscura puede variar con el tiempo".

Para llegar a una conclusión definitiva, los científicos necesitarán más datos. Pero el DES no podrá proporcionarlos; el sondeo dejó de tomar datos en enero de 2019. El equipo de supernovas, liderado por muchos estudiantes de doctorado y becarios posdoctorales, pronto habrá extraído todo lo que pueden de las observaciones del DES.

"Más de 30 personas han estado involucradas en este análisis, y es el culmen de casi 10 años de trabajo", explica Maria Vincenzi, investigadora en la Universidad de Duke que co-lideró el análisis cosmológico de la muestra de supernovas del DES. "Algunos de nosotros comenzamos a trabajar en este proyecto cuando apenas estábamos comenzando nuestro doctorado, y ahora estamos comenzando posiciones académicas.

Por tanto, la Colaboración DES contribuye al crecimiento y desarrollo profesional de toda una generación de cosmólogos".

Un enfoque pionero

Este análisis final de supernovas del DES realizó muchas mejoras en comparación con el primer resultado de supernovas primer resultado de supernovas del DES publicado en 2018, que utilizó solo 207 supernovas y tres años de datos.

Para el análisis de 2018, los científicos del DES combinaron datos sobre el espectro de cada supernova para determinar sus corrimientos al rojo y clasificarlas como tipo Ia o no.

Luego utilizaron imágenes tomadas con diferentes filtros para identificar el flujo en el pico de la curva de luz, un método llamado fotometría. Pero los espectros son difíciles de adquirir, requiriendo mucho tiempo de observación en los telescopios más grandes, lo que será impráctico para futuros sondeos de energía oscura como el Legacy Survey of Space and Time (LSST) a llevarse a cabo en el Observatorio Vera C. Rubin, operado conjuntamente por el NOIRLab de la NSF y el Laboratorio Nacional de Aceleradores SLAC del DOE. El nuevo estudio pionero en un nuevo enfoque para usar fotometría, con cuatro filtros sin precedentes, para encontrar las supernovas, clasificarlas y medir sus curvas de luz. El seguimiento espectroscópico de la galaxia huésped con el Telescopio Anglo-Australiano proporcionó corrimientos al rojo precisos para cada supernova. El uso de los filtros adicionales también permitió datos más precisos que los sondeos anteriores y es un avance importante en comparación con las muestras de supernovas galardonadas con el Nobel, que solo usaron uno o dos filtros.

Los investigadores del DES utilizaron técnicas avanzadas de *machine-learning* para ayudar en la clasificación de las supernovas. Entre los datos de aproximadamente dos millones de galaxias observadas a gran distancia, el DES encontró varias miles de supernovas. Los científicos finalmente utilizaron 1.499 supernovas de tipo Ia con datos de alta calidad, lo que la convierte en la muestra de supernovas más grande y profunda de un solo telescopio jamás compilada. En 1998, los astrónomos galardonados con el Nobel utilizaron solo 52 supernovas para determinar que el universo se está expandiendo a un ritmo acelerado. "Es una escala masiva en comparación con hace 25 años", cuenta Davis.

Hay pequeñas desventajas del nuevo enfoque fotométrico en comparación con la espectroscopia: como las supernovas no tienen espectros, existe una mayor incertidumbre en la clasificación. Sin embargo, el tamaño de muestra mucho más grande habilitado por el enfoque fotométrico compensa con creces esto.

Las técnicas innovadoras que el DES pionero darán forma y promoverán aún más análisis astrofísicos futuros. Proyectos como el LSST de Rubin y el Telescopio Espacial Nancy Grace Roman de la NASA continuarán donde el DES se detuvo. "Estamos pionereando estas técnicas que serán directamente beneficiosas para la próxima generación de sondeos de supernovas", dijo Kron.

"Este nuevo resultado de supernovas es emocionante porque significa que realmente podemos atar un lazo y entregárselo a la comunidad y decir: 'Este es nuestro mejor intento de explicar cómo funciona el universo'", explica Dillon Brout, profesor asistente en la Universidad de Boston, quien co-lideró el análisis cosmológico de la muestra de supernovas del DES junto con Vincenzi. "Estas restricciones serán ahora el estándar de oro en la cosmología de supernovas durante bastante tiempo".

Incluso con experimentos más avanzados de energía oscura próximamente, los científicos del DES enfatizaron la importancia de tener modelos teóricos para explicar la energía oscura además de sus observaciones experimentales. "Todo esto es realmente un territorio desconocido", según Kron. "No tenemos una teoría que coloque la energía oscura en un marco que se relacione con otras físicas que entendemos. Por el momento, en DES estamos trabajando para limitar cómo funciona la energía oscura en la práctica con la expectativa de que, más adelante, algunas teorías puedan ser falsificadas".

Los científicos del DES continúan utilizando los resultados de las supernovas en más análisis al integrarlos con los resultados obtenidos mediante otras técnicas del DES. “Combinar la información de las supernovas del DES con estas otras sondas informará aún mejor nuestro modelo cosmológico”, según Davis.

“Incluso si medimos la energía oscura de manera infinitamente precisa, no significa que sepamos qué es”, comentó. “La energía oscura aún está ahí para ser descubierta”.

La financiación para los proyectos del DES ha sido proporcionada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, el Ministerio de Ciencia y Educación de España, el Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología del Reino Unido, el Consejo de Financiación de Educación Superior para Inglaterra, el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercomputación de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, el Instituto Kavli de Física Cosmológica de la Universidad de Chicago, la Autoridad de Financiamiento para Proyectos en Brasil, la Fundación Carlos Chagas Filho para el Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro, el Consejo Nacional Brasileño de Desarrollo Científico y Tecnológico y el Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Fundación Alemana de Investigación y las instituciones colaboradoras en el Dark Energy Survey.

El Laboratorio Nacional de Óptica-Infrarrojo en Astronomía de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NOIRLab) opera el Observatorio Interamericano Cerro Tololo (CTIO) y el Observatorio Vera C. Rubin (operado en cooperación con el Laboratorio Nacional de Aceleradores SLAC del Departamento de Energía de los Estados Unidos). La comunidad científica se siente honrada de tener la oportunidad de realizar investigaciones en Cerro Tololo y Cerro Pachón en Chile. Reconocemos y agradecemos el papel cultural muy significativo y la veneración que estos sitios tienen para las comunidades locales en Chile.

Basado en parte en datos adquiridos en el Telescopio Anglo-Australiano para el Dark Energy Survey por OzDES. Reconocemos a los custodios tradicionales de la tierra donde se encuentra el AAT, el pueblo Gamilaraay, y rendimos homenaje a los ancianos pasados y presentes. Fermilab es el laboratorio nacional líder en física de partículas e investigación de aceleradores en los Estados Unidos. Como laboratorio de la Oficina de Ciencia del Departamento de Energía de los Estados Unidos, Fermilab está ubicado cerca de Chicago, Illinois, y operado bajo contrato por Fermi Research Alliance LLC. Visite el sitio web de Fermilab en www.fnal.gov y síganos en Twitter en @Fermilab.

La Oficina de Ciencia del Departamento de Energía es el mayor patrocinador de investigación básica en ciencias físicas en los Estados Unidos y está trabajando para abordar algunos de los desafíos más urgentes de nuestro tiempo. Para obtener más información, visite science.energy.gov

El IFT

El IFT-UAM/CSIC es un centro mixto de la Universidad Autónoma de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dedicado íntegramente a la investigación en física teórica, con el foco en las cuestiones más fundamentales, desde las partículas elementales hasta la cosmología, pasando por la frontera de la complejidad cuántica. Sus investigadores lideran numerosos proyectos tanto en el ámbito nacional como internacional, apoyados en una intensa actividad de formación de jóvenes investigadores y una original labor de divulgación de la física.

Para más información y entrevistas:

Laura Marcos Mateos
laura.marcos@csic.es
comunicacion@ift.csic.es
912999879