

Operación materia oscura

Es el gran desafío de la física moderna. Telescopios en tierra y en órbita, laboratorios instalados a cientos de metros de profundidad y aceleradores de partículas compiten por cazar al componente que llena una cuarta parte del cosmos, que nadie ve y que solo se conoce por sus efectos gravitatorios.

Un reportaje de NÚRIA JAR



Los seres humanos y todo lo que nos rodea –incluidos planetas, estrellas y agujeros negros– es materia, pero tan solo ocupa el 4% del universo. Hay mucho más allá de lo que podemos observar: partículas con propiedades extravagantes que atraviesan nuestro cuerpo sin cesar e inciden en el movimiento de las galaxias. Los científicos han calculado que la presencia de esa llamada materia oscura abarca una cuarta parte del universo, pero nadie ha sido capaz de observar y describir su naturaleza.

La astrofísica Katie Mack, de la Universidad de Melbourne, en Australia, lo define como *poltergeist*, un fenómeno invisible que se ha inferido de forma indirecta. Las evidencias cosmológicas son muchas, pero aún no se ha conseguido describir de qué está hecha esa oscura materia exactamente. Tras confirmarse la existencia del bosón de Higgs, es el nuevo desafío de la física de partículas. En estos momentos, numerosos experimentos por todo el mundo intentan detectar alguna pizca de esa *x* en la ecuación. En 1933, el astrónomo suizo Fritz Zwicky fue el

primero en sospechar sobre su presencia: las observaciones del cúmulo de Coma lo dejaron intranquilo. En aquel archipiélago de galaxias a 321 millones de años luz de la Tierra había un desfase en la velocidad de rotación de las agrupaciones estelares situadas más al exterior. Los cálculos no cuadraban con las leyes de la gravitación universal de Newton: por su masa y posición, los astros alejados del centro del cúmulo se movían demasiado deprisa. Faltaba alguna pieza cosmológica que ejerciera el empujón necesario.

Un andamio cósmico. Desde entonces, nadie ha sido capaz de resolver el enigma. El mejor candidato para rendir cuentas del flujo gravitatorio es un componente imperceptible que no emite luz pero que incide sobre los movimientos de la materia ordinaria. Una entidad imprescindible, al parecer, en la formación de estrellas y galaxias. A su vez, también explicaría por qué los elementos astronómicos del centro de cualquier galaxia –donde la gravedad es muy intensa– no se cuelean hacia un vacío intergaláctico. El ingrediente secre-

to mantendría unida a la materia ordinaria: sin su influencia, todo se desmoronaría hacia la nada espacial, posiblemente por la acción de la también enigmática energía oscura.

David Jou, catedrático de Física en la Universidad Autónoma de Barcelona, lo resume con elocuencia en su libro *Cerebro y universo* (UAB, 2011): “Ayuda a formar las galaxias tejiendo una especie de andamiaje sobre el cual se va agrupando la materia normal, que dará lugar a sus conocidos puntos luminosos, y forma alrededor un gran halo invisible”.

Pero ¿de qué está hecho ese *pegamento*? Aceleradores enormes, telescopios y piscinas de elementos pesados enterrados a cientos de metros rastrean las partículas que den cuenta de ello. “Es como un juego de detectives: tenemos que ir buscando pistas hasta identificarlo”, cuenta José Ángel Villar, director científico del **Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)**, la única instalación capaz de albergar detectores directos de materia oscura en España.

Capturar un solo fragmento de»

1 Web



www.lsc-canfranc.es

En este centro se llevan a cabo diversos experimentos sobre materia oscura, neutrinos y geociencia.

◀ Detectives al acecho.

Aunque sin resultados positivos, el telescopio MPG/ESO –en primer plano– ha estudiado el movimiento de las estrellas de nuestra galaxia para rastrear huellas de materia oscura. Se encuentra junto a otros telescopios en el Observatorio de La Silla, en el desierto chileno de Atacama.



z=0.000



✦ **Puro cálculo.** La potencia de supercomputadoras como la de la Universidad de Durham —izquierda— permite recrear la ubicación de la materia oscura en cúmulos galácticos —derecha—.

Las partículas masivas de interacción débil o WIMP aparecen en todas las quinielas

» ese escurridizo ente exige una tarea de suma complejidad. Sus características son diferentes a las de otros viejos conocidos, como los electrones y los protones. Teóricamente, su carga sería cero, y por ahora se desconocen su masa y espín, el giro característico de las partículas. No constituirían átomos, pues su interacción es muy débil para formar núcleos. Además, tampoco interactúan de forma electromagnética. Esto hace que muchos investigadores bromeen con su apellido: más que oscura, dicen que tienen una personalidad *transparente*, ya que sus componentes básicos ni emiten ni absorben radiación.

¿Un neutrino estéril? Las evidencias empíricas descartan cualquier partícula del modelo estándar, y los expertos proponen teorías con elementos nuevos. De hecho, uno de los resultados más recientes apunta a un hipotético neutrino estéril como firme aspirante, según los trabajos independientes basados en rayos X de los equipos del Centro de Astrofísica Harvard-Smithsonian, en EE. UU., y de la Universidad de Leiden, en Holanda.

Los físicos han dibujado un mapa donde sitúan a todos los candidatos en función de su masa y la probabilidad de interacción con otras partículas. Pues bien, los ensayos actuales solo sondan una pequeña área. El plan de actuación es ir cubriendo y descartando regiones hasta tropezar con una señal realmente sospechosa que delate a la materia oscura.

✦ **La chispa delatora.** Un operario del laboratorio norteamericano LUX —siglas de Large Underground Xenon— revisa el sofisticado instrumental que es capaz de captar el fotón supuestamente emitido por una partícula de materia oscura al chocar con un átomo de xenón.

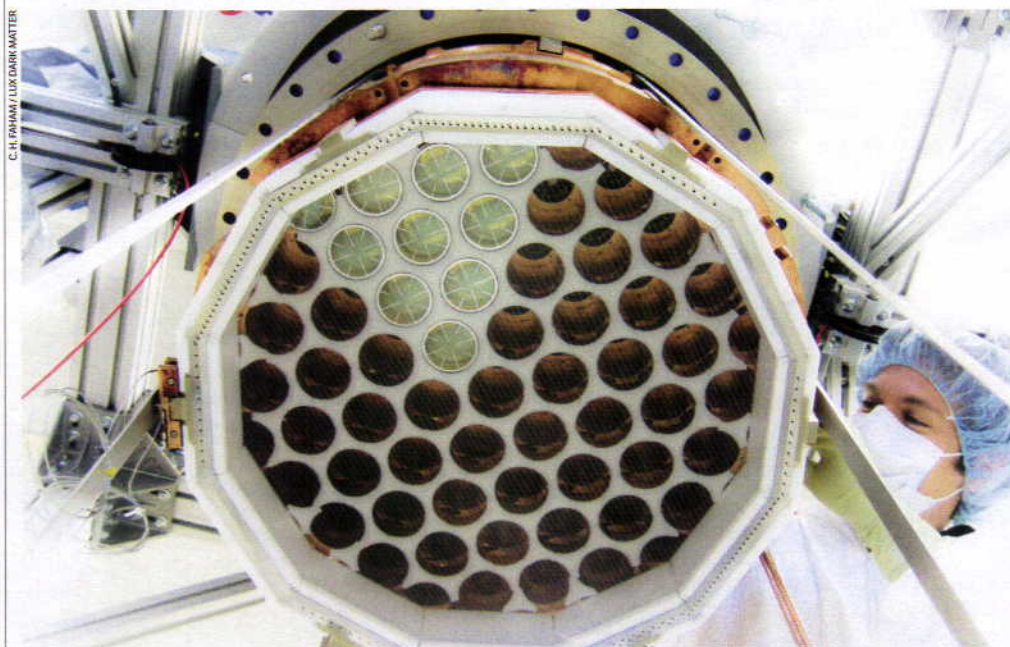
Los aspirantes más analizados son los neutrinos, relativamente asequibles para la tecnología actual. Su candidatura se ciñe a la descripción teórica, porque no interactúan de forma electromagnética, solo a través de la fuerza nuclear débil. Pero su ínfima masa no acaba de convencer a los físicos, pues es incapaz de explicar la cantidad de materia oscura que hay en el cosmos.

Por ahora, las partículas masivas de interacción débil, conocidas como WIMP —acrónimo de *weakly interacting massive particles*— aparecen en todas las quinielas. Los trabajos actuales barren el espectro donde se supone que se mueven. La devoción por esta familia es tan grande que muchos hablan

de la década de las WIMP: según sus cálculos, con los experimentos actuales y los resultados que esperan conseguir en los próximos diez años, sabrán si ellas encierran la clave de este caso abierto.

Mirando hacia el cielo y bajo tierra.

Los investigadores han diseñado tres aproximaciones diferentes para encontrarlas. Hay equipos que apuestan por que los aceleradores de partículas, como el gran colisionador de hadrones (LHC) del CERN, en Ginebra, generen su propia materia oscura en el laboratorio. Otros buscan pistas en el espacio, en los halos galácticos y los cúmulos de galaxias, fijándose en el rastro que dejarían las partícu-



las de materia oscura a su paso. Por último, detectores muy sensibles, enterrados en las profundidades, esperan a que una WIMP se cruce en su camino.

Los trabajos publicados hasta ahora han presentado resultados negativos, a excepción del proyecto italiano DAMA (Dark Matter), situado bajo la montaña Gran Sasso, perteneciente a la cordillera italiana de los Apeninos. En 2008, el grupo del Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN) de Italia anunció que había registrado la presencia de WIMP, sobre todo durante el mes de mayo, debido a la variación estacional de la órbita terrestre. No obstante, la comunidad científica internacional acogió esta revelación con escepticismo. La totalidad de los datos nunca se presentaron en abierto, y las conclusiones de DAMA no coincidieron con el experimento Xenon 100, en la misma cordillera italiana. Este detector de características similares no había encontrado absolutamente nada.

Los odiosos falsos positivos.

“Hay otro tipo de fenómenos físicos que podrían producir una señal semejante”, cuenta Javier Rico, investigador del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE), en Barcelona. Y añade: “Además, técnicas diferentes tendrían que haber llegado a idéntico resultado”. Por su parte, Rita Bernabei, directora del detector DAMA y científica de la Universidad de Roma Tor Vergata, dice que afronta la incredulidad de sus colegas con “trabajo serio y diario” para aportar nuevas evidencias. Bernabei se defiende de las críticas alegando que otros experimentos sí arrojan resultados que les son más favorables.

Los detectores estadounidenses CDMS y CoGeNT han descubierto modulaciones estacionales leves que podrían estar relacionados con partículas candidatas a WIMP. Sin embargo, los equipos que llevan a cabo estos dos experimentos son más cautelosos: ambos asumen que podrían ser *falsos positivos* provenientes de otros fenómenos, como las colisiones de neutrones.

En este ámbito, hay que citar el trabajo del español Juan Collar, investigador del Instituto Kavli de Astrofísica de Partículas, en la Universidad de Chicago, implicado en el pro-»

Tres tipos de detectores para fotografiar lo invisible



† Investigadores de LUX forman las tres letras del proyecto cuando se finalizó su construcción.

1. Detección directa

Esta clase de experimentos se centran en observar directamente la naturaleza.

Método

Se trata de localizar las partículas del modelo estándar surgidas de las colisiones entre partículas de materia ordinaria y materia oscura.

¿Qué variables son importantes?

Los físicos utilizan tanques rellenos de un elemento químico concreto, como el yoduro sódico y el xenón líquido a temperaturas ultrafías. La densidad de los átomos y el coste del material son relevantes a la hora de llenar esos depósitos.

Proyectos

Los principales detectores de yoduro sódico son el experimento español ANAIS y el italiano DAMA. Entre los de xenón líquido, destacan el Xenon 100 o el reciente LUX. China está construyendo PandaX.

2. Detección indirecta

Como el tipo anterior, también se basa en la observación de la naturaleza.

Método

Se buscan las partículas de materia ordinaria que surgen de las colisiones entre supuestas partículas de materia oscura.

¿Qué variables son importantes?

Los instrumentos científicos analizan los rincones del espacio donde se sospecha que hay un exceso de materia oscura. Aparte de la cantidad, también es importante la distancia de los grumos para que la tecnología alcance a localizarlos.

Proyectos

Telescopios de rayos gamma como MAGIC, H.E.S.S., VERITAS, Fermi y el módulo Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), situado en la Estación Espacial Internacional.



† El telescopio MAGIC, que analiza las emisiones de rayos gamma, está en la isla canaria de La Palma.



† Solenoide Compacto de Muones (CMS), uno de los dos detectores principales del CERN.

3. Aceleradores de partículas

Recrean la naturaleza.

Método

Intentan obtener partículas de materia oscura a partir de colisiones entre partículas de materia ordinaria.

¿Qué variables son importantes?

La eficacia depende de la energía liberada en los choques. A mayor potencia, más probabilidad de detectar una partícula de materia oscura.

Proyectos

Los experimentos ATLAS y CMS –los mismos que descubrieron el bosón de Higgs– del gran colisionador de hadrones (LHC), en el CERN de Ginebra.

» yecto CoGeNT y que ha diseñado otro de los experimentos internacionales más punteros: el COUPP (Chicago Land Observatory for Underground Particle Physics), en el laboratorio Fermilab de Chicago.

A muchos metros bajo tierra. Todos estos detectores se basan en la identificación directa. Su ubicación a centenares de metros bajo tierra los aísla del ruido ambiental, en especial de la radiactividad y la radiación cósmica. La mayoría están situados en antiguas minas o túneles ferroviarios en desuso, donde los investigadores miden con meticulosidad los cambios en el entorno. Día tras día, aguardan con paciencia a que una partícula de materia oscura choque dentro del tanque con algún átomo de elementos ordinarios.

Un halo de misterio. El objetivo del telescopio espacial Gaia, lanzado el pasado diciembre —en la foto inferior, preparación de su escudo contra el calor del Sol—, es confeccionar un mapa 3D de mil millones de estrellas de la Vía Láctea. De él se espera, por ejemplo, que dé pistas sobre como se distribuye la materia oscura —bajo estas líneas, recreación artística—.

Los científicos se mueven en el campo de la física de sucesos poco probables. “Las partículas de materia oscura nos rodean; nosotros esperamos a que una golpee contra uno de nuestros detectores para medir la señal”, comenta Villar sobre el experimento ANAIS de la Universidad de Zaragoza, en el LSC de Canfranc. Durante el breve encuentro se liberarían fotones que permitirían registrar el fenómeno. Estas *dianas* consisten básicamente en depósitos llenos de un elemento concreto. El proyecto DAMA y el español ANAIS son los únicos detectores que recurren al yoduro sódico. “Somos el hermano gemelo del experimento que en solitario dice haber encontrado una señal positiva”, dice Villar. Los detectores más actuales se inclinan por xenón a temperaturas criogénicas, que permiten llevarlo a su estado líquido. Como es uno de los gases nobles más pesados, concentra un alto número de átomos y, por tanto, más probabilidades de que una partícula de materia oscura colisione en su interior. El detector LUX (Large Underground Xenon), la máquina más reciente, se ha construido a 1.500 metros por debajo de las Colinas Negras de Dakota del Sur, en Estados Unidos. Sus resultados preliminares apagaron en octubre pasado el entusiasmo sobre el descubrimiento de partículas de poca masa anunciadas anteriormente.

» Ojo supremo.

El cerro Armazones, en el desierto chileno, ha sido el lugar elegido para construir el European Extremely Large Telescope (E-ELT), que será el mayor telescopio óptico del mundo. Los científicos confían en que ayude a desmenuar los ingredientes ocultos del cosmos.

El grupo de LUX publicó datos en “fuerte desacuerdo” con las conclusiones de varios proyectos. Daniel McKinsey, físico de la Universidad de Yale y portavoz del equipo, dice esto al respecto: “El resultado es bueno porque demuestra la increíble sensibilidad de nuestro experimento, aunque hubiese sido más divertido detectar partículas WIMP. Entonces seríamos capaces de recoger datos de sus propiedades y explorar la cara oscura del universo con más detalle”. A mediados de 2014, LUX empieza una observación de trescientos días con el nuevo detector LUX-ZEPLIN, que contendrá unos 7.000 kilos de xenón líquido. Su sensibilidad mejorará entre tres y cinco veces con respecto a la de su antecesor.

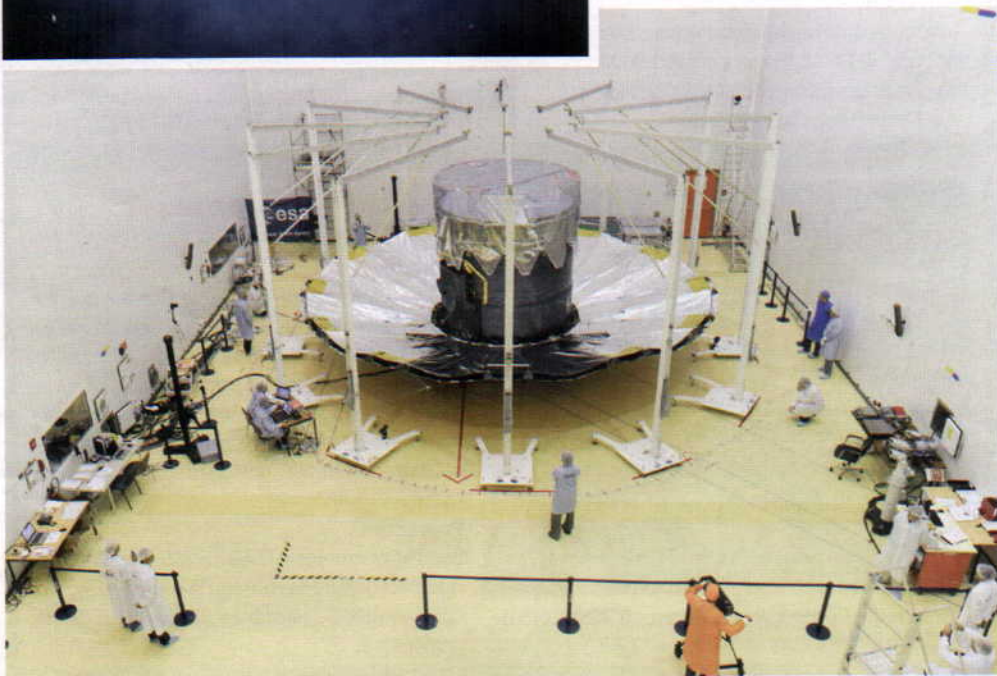
Un tanque de mármol. Mientras, científicos chinos, en colaboración con siete instituciones estadounidenses, se apresuran a construir su apuesta subterránea, también llena de xenón. Este año, el país asiático pondrá en marcha PandaX, el experimento más profundo del mundo, situado a 2.400 metros. El tanque, de 1,2 toneladas, está rodeado de mármol para reforzar el aislamiento.

Otros grupos apuestan por la detección indirecta. Este tipo de investigación se centra en la observación de regiones del espacio cercanas a la Tierra donde se supone que hay grumos de materia oscura. En las zonas escogidas se acumula materia ordinaria, como el centro de la Vía Láctea, las galaxias satélite y los cúmulos galácticos. Se supone que en esos barrios del cosmos la aniquilación y desintegración de materia oscura será mayor.

En el IFAE barcelonés escrutan los datos que proporciona el telescopio



ESO/L. CALZADA



ESA-M. PEDROSSAULT



China se suma a la cacería cósmica con su plan PandaX

MAGIC, en la isla de La Palma. Este tipo de instrumentos, conocidos como Cherenkov, son únicos en el mundo, juntamente con H.E.S.S., en Namibia, y Veritas, en EE. UU. En los próximos cinco años, otra iniciativa de red de telescopios Cherenkov (CTA) tiene previsto incrementar el parque de sabuesos cósmicos con más de un centenar de nuevos espejos.

Seducidos por las enanas. Los científicos analizan los rayos gamma de muy alta energía que se liberarían en las colisiones entre partículas de materia oscura. Pero para describir estos eventos de manera eficaz hace falta alejarse de otros objetos astronómicos que también los generan, como las supernovas y los agujeros negros. Uno de los escenarios más propicios son las galaxias enanas. Aunque la cantidad de rayos gamma que se observarían sería cincuenta veces inferior al centro de nuestra Vía Láctea, se cree que ningún otro objeto podría producir esa radiación de altísima energía. “Una detección positiva allí sería mucho más convincente que en cualquier otro lugar”, puntualiza Rico.

La competencia también incluye cazadores de rayos gamma ubicados en satélites. La NASA lanzó en 2008 el telescopio espacial Fermi, capaz de analizar las partículas liberadas a muy altas energías. A 300 kilómetros sobre la Tierra, la Estación Espacial Internacional alberga por su parte el detector Alpha Magnetic Spectrometer (AMS). Este módulo analiza desde hace tres años los rayos cósmicos en busca de la huella que dejarían las par-

tículas del componente oculto del cosmos al chocar entre sí.

Pero la observación de la naturaleza, ya sea a través de telescopios o de detectores subterráneos, no es la única forma de identificar materia oscura. También se puede fabricar, como intentan los aceleradores. Después de descubrir el bosón de Higgs hace un par de años, el mencionado gran colisionador de hadrones (LHC) pretende efectivamente crear partículas de materia oscura en su anillo de 27 kilómetros. Los experimentos ATLAS y CMS analizan colisiones entre protones a muy alta energía de forma independiente para llegar al mismo resultado. Según los planes del CERN, el acelerador doblaría en 2015 su energía actual, algo imprescindible para reconocer las partículas hipotéticamente más masivas.

El neutralino, de la familia WIMP, es la apuesta del CERN. Además, confirmaría que hay vida más allá del zoo subatómico descrito por el modelo estándar. El bosón de Higgs era la última pieza que faltaba encajar en ese puzzle, pero una vez completado han surgido nuevas preguntas. Por ejemplo, cuál es el mecanismo que regula la masa del propio Higgs. Los físicos creen que la teoría de la supersimetría podría darles una respuesta. SUSY, como la llaman cariñosamente, establece que cada partícula del modelo estándar tiene un compañero supersimétrico mucho más pesado. El neutralino sería uno de ellos y, a la vez, un buen candidato para resolver la intriga de la materia oscura.

Aparte de las WIMP, otras partículas se postulan a llenar el hueco.

→ Escalofriante precisión.

Situados a más de ochocientos metros de profundidad en una mina de Minnesota, los detectores del experimento CDMS (Cryogenic Dark Matter Search) se enfrían a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273 °C).



Libro



Jeremiah P. Ostriker y Simon Mitton

El corazón de las tinieblas
Ed. Pasado & Presente.
Barcelona, 2014.

Pero la mayoría de los experimentos actuales se centran en esa familia, asequible para la tecnología actual. Es su década, tanto para bien como para mal. De ella se espera que explique el origen del 85 % de toda la materia, que a su vez constituye aproximadamente una cuarta parte del universo. El resto queda reservado para otra incógnita cósmica: la energía oscura. Aunque esa es otra historia...

El premio: un Nobel. Mario Martínez, investigador principal del experimento ATLAS, anuncia que “los próximos años, entre 2015 y 2018, son muy importantes para la física de partículas”. Quien dé con la solución de la materia oscura abrirá las puertas de la nueva física, ofrecerá información muy valiosa sobre el origen y la evolución del universo y, lo más probable, se llevará un premio Nobel. ■