

CAST: la nueva herramienta del CERN para buscar Física

Igor G. Irastorza

Una buena parte de los progresos de la Física de Partículas de la segunda mitad del siglo XX ha tenido como escenario el CERN, el Laboratorio Europeo para la Física de Partículas. Su liderato indiscutible en la construcción de aceleradores cada vez más potentes y de detectores cada vez más grandes y sensibles ha permitido escudriñar los niveles más fundamentales de la realidad que nos rodea y establecer sólidamente el Modelo Estándar de Partículas Elementales, la teoría que actualmente explica satisfactoriamente la totalidad de los datos recogidos en los aceleradores de partículas.

Sin embargo, durante los últimos años han tomado una relevancia especial vías alternativas de hacer física de partículas no necesariamente basadas en el uso de colisionadores. Un importante ejemplo de esto son los recientes experimentos de neutrinos atmosféricos y solares (SuperKamio-kande en Japón y SNO en Canadá) o provenientes de reactores (KamLAND en Japón) que han arrojado luz sobre sectores del Modelo Estándar que estaban todavía poco claros. La relevancia de estos resultados ha merecido el último premio Nobel de Física.

Otro ejemplo más exótico es el cada vez más importante esfuerzo experimental que está siendo motivado por el problema de la Materia Oscura del Universo, incluso a pesar de que la solución a dicho problema pasa por la aceptación de que el sólido Modelo Estándar es incompleto. El reciente estudio minucioso de las anisotropías del Fondo Cósmico de Microondas, verdaderos fósiles del Big Bang que nos hablan de un Universo entonces en formación, ha supuesto un verdadero impulso para la cosmología observacional. Desde que hace ya 70 años se propusiera por primera vez el concepto de Materia Oscura, nunca antes ha habido una evidencia tan fuerte a favor de su existencia. Una cantidad de materia muchas veces mayor que la que vemos con los telescopios convencionales debe coexistir en las galaxias y hacer que éstas roten más rápido de lo esperado, que el Universo pese más de lo que aparenta a los ojos y que por tanto tenga una estructura como la que hoy observamos en el cielo. Es más, dicha materia invisible debe ser de una naturaleza no convencional que ninguna partícula conocida hasta ahora (es decir, contenida en el Modelo Estándar) es capaz de dotar.

Tan coherente y sólida es la evidencia cosmológica de una Materia Oscura de estas características, que a pesar de que en los gigantes colisionadores como los del CERN no se haya evidenciado ninguno tipo de física más allá del Modelo Estándar, una nueva línea de investigación experimental viene consolidándose



Miembros de la colaboración CAST posan ante el experimento poco antes de la primera toma de datos preliminar (agosto 2002). El imán sobre su plataforma ocupa detrás todo el espacio de la fotografía, a la izquierda se aprecia parte de la instalación criogénica conectada al imán y a la derecha uno de los detectores, colocado en el extremo del imán.

en los últimos años para buscar nuevas partículas que puedan componer esta Materia Oscura. Estos experimentos de búsqueda de Materia Oscura miran al cielo, con la esperanza de que los aceleradores y colisionadores cosmológicos y astrofísicos muestren la clave que los aparatos terrestres no pueden todavía alcanzar. La apuesta de una gran institución como el CERN en una nueva línea de investigación que en algunos aspectos (sólo en algunos) difiere notablemente con las que tradicionalmente se han asociado con su nombre, supondrá sin duda un empuje importante de este tipo de experimentación. La apuesta del

CERN se llama CAST, nombre que significa *CERN Axion Solar Telescope*, es decir, el Telescopio de Axiones Solares del CERN.

El axión es una partícula hipotética, una de tantas que las mentes de los físicos teóricos han concebido para resolver problemas esenciales de las teorías de partículas. El axión, sin embargo, cuenta con un atractivo excepcional al que se añade el hecho de que su posible existencia no entra en conflicto con ninguna de las observaciones hechas hasta la fecha. Fue propuesta hace más de 25 años para resolver el llamado problema de la "CP fuerte" que consiste en por qué las interacciones fuertes parecen respetar con gran precisión la simetría CP (relacionada con la existencia de antimateria en el Universo) mientras que desde hace tiempo se conoce que las interacciones débiles no lo hacen. Propuesto para resolver un problema de teoría de partículas, el axión es ahora uno de los ingredientes de posibles extensiones del Modelo Estándar más buscados, por la importante razón de que sería un candidato idóneo para componer la Materia Oscura del Universo. El axión podría haber sido copiosamente producido en el Big Bang, llenando el Universo en la medida necesaria, y dado que es una partícula neutra, ligera, de extremadamente débil interacción y prácticamente estable, aun hoy en día el Universo estaría dominado por un fondo de axiones que habría permanecido desapercibido hasta la fecha, pero cuya presencia ha determinado drásticamente la evolución y destino del Universo.

Hay otra característica muy importante de dicha partícula, y es un débil pero no nulo acople con el fotón, lo que significa que bajo ciertas circunstancias (en el seno de un campo magnético, por ejemplo) el axión puede convertirse en fotón y viceversa, el fotón en axión. Esto abre la posibilidad de que escenarios con gran densidad fotónica e intensos campos magnéticos, como en el interior del Sol, sean fuentes intensas de estas partículas. Estos axiones solares son los que intenta detectar CAST, mediante un proceso de detección que es precisamente el inverso: con un

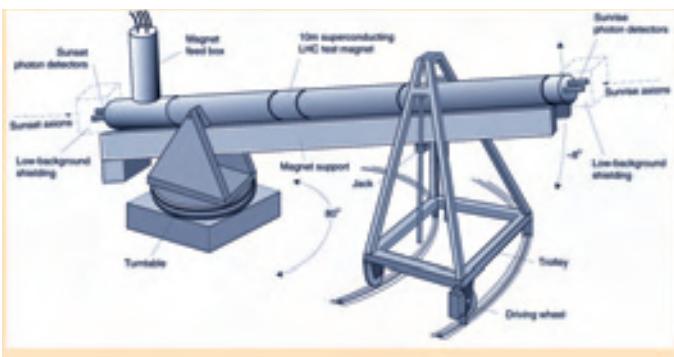


Figura 1. Esquema simplificado del montaje experimental de CAST. El imán de 10 metros de largo yace sobre la plataforma que permite orientarlo al Sol. Los axiones del amanecer y del atardecer entran por extremos distintos del imán y los rayos X producidos en el interior del mismo son eventualmente registrados por los detectores colocados en el extremo opuesto.

intenso campo magnético se intenta provocar la conversión de los axiones de nuevo en fotones (que dadas las energías en juego se trata de rayos X) y registrar éstos con un detector de rayos X.

No es casualidad por tanto que CAST se esté instalando en el CERN. Es bien conocida la experiencia que allí se concentra en la construcción y mantenimiento de grandes y potentes imanes para tecnología de aceleradores de partículas. De hecho, CAST está reutilizando uno de los imanes superconductores que se realizaron hace unos años para demostrar la tecnología a utilizar en el LHC, el gran futuro acelerador del CERN. Se trata de un dipolo recto de 10 metros de largo que es capaz de producir un campo magnético de 9 Tesla en el interior de sus dos tubos de unos 5 cms de diámetro cada uno. Expertos del CERN son también los que han desarrollado, construido y ahora mantienen la instalación criogénica necesaria para enfriar hasta 1.8 K toda la masa fría del imán necesaria para su funcionamiento superconductor. CAST ha añadido a dicha instalación una gran plataforma que es capaz de hacer rotar el imán un determinado rango vertical y horizontalmente. Así, mediante un preciso sistema de hardware y software que calcula la posición del Sol en el firmamento en cada instante y la transmite adecuadamente a los motores de la plataforma, el imán puede ser orientado en dirección al Sol y seguir su movimiento durante 3 horas al día en promedio. El procedimiento experimental es entonces simple, se trata de tomar datos tanto durante el tiempo de exposición al Sol como de no exposición (medida del fondo). Un exceso significativo (en el rango energético adecuado) durante las horas de alineamiento con el Sol sería una evidencia clara de la existencia de axiones solares.

Con una filosofía de complementariedad, tres detectores independientes han sido desarrollados para detectar dicha eventual señal a ambos extremos del imán, pues para aprovechar más el tiempo de exposición, CAST mira al Sol del amanecer con uno de los extremos del imán, y al Sol del atardecer con el otro, siendo el (los) detector(es) sensible(s) en cada caso el situado en el extremo opuesto. Aunque dos de ellos utilizan tecnologías convencionales –una CCD y una Time Projection Chamber (TPC), mientras que el tercer prototipo es otra cámara de gas con nueva tecnología MICROMEGAS– han tenido que afrontar el reto –novedoso para este tipo de detectores– de minimizar el fondo a baja energía, cuya presencia limita la sensibilidad del experimento. Para ello se ha tenido especial cuidado en los materiales utilizados en su fabricación, eligiendo aquéllos de más baja radiactividad, y se han diseñado blindajes que rodearán los detectores así como otras técnicas de reducción de fondo y rechazo de sucesos a nivel del análisis. En este aspecto ha sido crucial la experiencia en el tema que

ha aportado a la colaboración el grupo de la Universidad de Zaragoza, único grupo español participante en CAST.

Otra pieza clave del montaje experimental de CAST es un sofisticado dispositivo, que mediante calculadas reflexiones, es capaz de focalizar rayos X paralelos en un punto de menos de 2 mm de diámetro, de la misma manera que una lente funciona con luz visible. Este focalizador, construido en el Max Planck de Munich, es un producto de alta tecnología espacial, pues su uso habitual es en telescopios de rayos X en órbita. El prototipo que ha viajado al CERN, que fue realizado como sistema de reserva para el satélite ABRIXAS, será reciclado para CAST, y focalizará los supuestos rayos X creados por los axiones en el imán de CAST aumentando enormemente el cociente señal-ruido, y con ello la sensibilidad del experimento. Esto es otro ejemplo de cómo la conjunción de las más avanzadas tecnologías en campos distintos optimizará al máximo cada uno de los parámetros experimentales de CAST, obteniendo unas características globales muy superiores a anteriores experimentos de búsqueda de axiones.

La instalación de CAST en el CERN está prácticamente finalizada e incluso ya se ha obtenido un primer conjunto preliminar de datos. En los próximos meses el experimento afrontará la fase definitiva de toma de datos. Las características únicas del experimento, tamaño e intensidad del imán, exposición y fondo de los detectores, hacen esperar una sensibilidad a axiones sin precedentes, como se ha dicho, muy superior a previas búsquedas de axiones. En particular, CAST explorará la presencia del axión en regiones del espacio paramétrico de relevancia especial según ciertos modelos teóricos y donde su existencia no entraría en contradicción con ciertos argumentos astrofísicos que, aunque con incertidumbres, restringen las propiedades del axión. Por tanto, la posibilidad de sorpresas no puede ser descartada y, en cualquier caso, los límites que se obtendrán tendrán importantes consecuencias para las hipótesis de una física más allá del Modelo Estándar. El conjunto de datos que registrará CAST en los próximos tres años planeados de adquisición será de gran utilidad también para poner a prueba otros modelos teóricos más específicos, tanto de física de partículas como de astrofísica. En particular, la toma de datos durante la no exposición al Sol podrá ser proyectada en coordenadas galácticas, obteniendo un mapa celeste "sensible al axión" con el que poder detectar excesos de cuentas sobre el fondo de ruido correlacionados con coordenadas celestes fijas, e identificar así otras posibles fuentes de axiones en el firmamento. La expresión "astronomía de axiones", aunque algo aventurada siendo el axión una partícula todavía hipotética, podría ser acuñada por CAST.

En definitiva, en un momento de limitada producción científica para el CERN, dado que la mayoría de recursos se centran en la larga preparación de su gran futuro colisionador, la apuesta por una nueva ventana a la física de partículas con CAST puede representar una vía de gran rentabilidad científica. Los primeros pasos de CAST son ya una realidad, y pronto veremos los primeros resultados. Para muchos es una gran noticia que el CERN alberge la conexión entre Física de Partículas y Cosmología –que tan buenos frutos ha dado a lo largo del siglo pasado– que pueda dar un gran nuevo paso en ambas disciplinas en los albores del siglo XXI.

Igor G. Irastorza

Fellow del CERN y miembro de la colaboración CAST. La colaboración CAST consta de unos 70 científicos de 16 instituciones distintas, entre las que está la Univ. de Zaragoza