

GUÍA DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE EL BOSÓN DE HIGGS

Qué es el bosón de Higgs?

Es un tipo de partícula elemental que se cree tiene un papel fundamental en el mecanismo por el que se origina la masa en el Universo. La confirmación o refutación de su existencia es uno de los objetivos del Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés), el mayor y más potente acelerador de partículas del mundo que opera el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN) en la frontera franco-suiza, cerca de Ginebra.

¿Por qué es tan importante?

Porque es la única partícula predicha por el Modelo Estándar de Física de Partículas que todavía no ha sido descubierta. El Modelo Estándar describe perfectamente las partículas elementales y sus interacciones, pero queda una parte importante por confirmar, precisamente la que da respuesta al origen de la masa de las partículas elementales. Sin masa, el Universo sería un lugar muy diferente. Si el electrón no tuviera masa no habría átomos, con lo cual no existiría la materia como la conocemos, por lo que tampoco habría química, ni biología ni existiríamos nosotros mismos.

Para explicar esto, varios físicos, entre ellos el británico Peter Higgs, postularon en los años 60 del siglo XX un mecanismo que se conoce como el “campo de Higgs”. Al igual que el fotón es el componente fundamental del campo electromagnético y de la luz, el campo de Higgs requiere la existencia de una partícula que lo componga, que los físicos llaman “bosón de Higgs”.

¿Cómo funciona el mecanismo de Higgs?

El campo de Higgs sería una especie de continuo que se extiende por todo el espacio, formado por un incontable número de bosones de Higgs. La masa de las partículas estaría causada por una “fricción” con el campo de Higgs, por lo que las partículas que tienen una fricción mayor con este campo tienen una masa mayor.

¿Qué es un ‘bosón’?

Las partículas subatómicas se dividen en dos tipos: fermiones y bosones. Los fermiones son partículas que componen la materia, y los bosones portan las fuerzas o interacciones. Los componentes del átomo (electrones, protones y neutrones) son fermiones, mientras que el fotón, el gluón y los bosones W y Z, responsables respectivamente de las fuerzas electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil, son bosones.

¿Cómo se puede detectar?

El bosón de Higgs no se puede detectar directamente, ya que una vez que se produce se desintegra casi instantáneamente dando lugar a otras partículas elementales. Lo que se pueden ver son sus “huellas”, esas otras partículas que podrán ser detectadas en el LHC. En el interior del anillo del acelerador colisionan protones entre sí a una velocidad cercana a la de la luz. Cuando se producen las colisiones en puntos estratégicos donde están situados grandes detectores, la energía del movimiento se libera y queda disponible para que se generen otras partículas. Cuanto mayor sea la energía de las partículas que chocan más masa podrán tener las resultantes, según la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$.

Debido a que la teoría no establece su masa sino un amplio rango de valores posibles, se requieren aceleradores muy potentes para explorar este nuevo territorio de la Física. El LHC es la

culminación de una “escalada energética” dirigida a descubrir el bosón de Higgs en los aceleradores de partículas. Cuando alcance su máxima potencia a partir de 2015, el LHC colisionará protones a una energía cercana a 14 teraelectronvoltios (TeV). En su primer periodo de funcionamiento (2010-2013), ha operado a algo más de la mitad, 8 TeV.

¿Qué sabemos hasta el momento del bosón de Higgs?

Búsquedas directas realizadas en anteriores aceleradores de partículas como el LEP del CERN y Tevatron, del Laboratorio Fermi de los Estados Unidos, establecieron que la masa del bosón de Higgs debe ser superior a los 114 GeV (gigaelectronvoltios; 1 gigaelectronvoltio equivale aproximadamente a la masa de un protón). Otras evidencias indirectas observadas en procesos físicos que involucran al bosón de Higgs descartaron una masa superior a 158 GeV.

Resultados sobre la búsqueda del bosón de Higgs en el LHC se presentaron en diciembre de 2011. Estos mostraron que el rango de masas más probable estaba entre los 116 y los 130 GeV (gigaelectronvoltios), según el experimento ATLAS, y entre 115 y 127 GeV, según el experimento CMS. Lo más interesante es que los dos grandes experimentos del LHC vieron indicios de su presencia en la región comprendida entre los 124 y los 126 GeV. Sin embargo, estos resultados no tenían la suficiente significación estadística para ser considerados un descubrimiento¹.

Este momento tan esperado llegó el 4 de julio de 2012, cuando las colaboraciones ATLAS y CMS presentaron nuevos resultados con los datos de 2011 y 2012, como antesala de la gran conferencia de Física de Partículas ICHEP2012. En un seminario celebrado en la sede del CERN, ante una sala abarrotada y la expectación de la comunidad científica internacional, los portavoces de ambos experimentos, Fabiola Gianotti (ATLAS) y Joe Incandela (CMS), mostraron por separado resultados que muestran la observación de una nueva partícula en el rango de masas entre 125 y 126 GeV (gigaelectronvoltios), unas 134 veces la masa de un protón.

Esta nueva partícula sería un bosón, el más pesado observado hasta la fecha. Sin embargo, todavía no se puede afirmar con rotundidad que se trata del bosón de Higgs descrito por el Modelo Estándar o es una versión más 'exótica', que abriría la puerta a la comprensión de otras preguntas fundamentales de la Física como la naturaleza de la materia y energías oscuras, que componen el 96% del Universo. Para estar seguros, será necesario estudiar en detalle y con más datos las propiedades de la nueva partícula. En concreto, si la forma en que se produce y se desintegra está de acuerdo con lo predicho por la teoría o no, lo cual sería aún más interesante.

La identificación de las características de la nueva partícula requerirá una considerable cantidad de tiempo y datos. Pero cualquiera que sea la forma que tome la partícula de Higgs, nuestro conocimiento de la estructura fundamental de la materia está a punto de dar un gran paso adelante.

¹ En Física de Partículas, el concepto de observación se define estadísticamente en términos de desviaciones estándar o 'sigmas', que indican la probabilidad de que un resultado experimental se deba a la casualidad en vez de ser un efecto real. Para conseguir una mayor significación estadística, y por tanto aumentar las probabilidades de observación, los experimentos necesitan analizar muchos datos. El LHC genera unos 300 millones de colisiones por segundo, por lo que la cantidad de datos a analizar es ingente. Se mide en femtobarns inversos, unidad que da idea de la cantidad de colisiones que se produce en un acelerador de partículas por unidad de área y tiempo (luminosidad). Si una medida tiene 5 sigmas de nivel de certeza se habla de “observación”. Para alcanzar 5 sigmas tendríamos que sacar cara más de 20 veces seguidas, una probabilidad menor de 0,00006%.

Beneficios para la sociedad de la física de partículas

La tecnología desarrollada en los aceleradores de partículas tiene beneficios indirectos para la Medicina, la Informática, la industria o el medio ambiente. Los imanes superconductores que se usan para acelerar las partículas han sido fundamentales para desarrollar técnicas de diagnóstico por imagen como la resonancia magnética. Los detectores usados para identificar las partículas son la base de los PET, la tomografía por emisión de positrones (antipartícula del electrón). Y cada vez más centros médicos utilizan haces de partículas como terapia contra el cáncer.

La World Wide Web (WWW), el 'lenguaje' en el que se basa Internet, fue creado en el CERN por Tim Berners-Lee para compartir información entre científicos ubicados alrededor del mundo, y las grandes cantidades de datos que producen los aceleradores de partículas motivan el desarrollo de una red de computación global distribuida llamada GRID.

Los haces de partículas producidos en aceleradores tipo sincrotrón o las fuentes de espalación de neutrones, instrumentos creados por los físicos para comprobar la naturaleza de la materia, tienen aplicaciones industriales en la determinación de las propiedades de nuevos materiales, así como para caracterizar estructuras biológicas o nuevos fármacos. Otras aplicaciones de la Física de Partículas son la fabricación de paneles solares, esterilización de recipientes para alimentos o reutilización de residuos nucleares, entre otros muchos campos.

¿Cuál es la participación española en el LHC?

Tras un primer periodo (1961-1968), España volvió a ingresar en el CERN como miembro de pleno derecho en 1983. Los 20 Estados miembros que componen el CERN contribuyen a su presupuesto con una cuota fija en función de su PIB. España es el quinto contribuyente detrás de Alemania, Reino Unido, Francia e Italia, con una cuota del 8,53% del total para 2013. Además de esta contribución fija, se aportan otros fondos para financiar la actividad de los grupos de investigación españoles que participan en los cuatro experimentos principales del LHC: ATLAS, CMS, LHCb y ALICE.

La Física de Partículas en España ha experimentado un importante desarrollo en las últimas décadas como resultado del reingreso en el CERN, que cuenta con un centenar de españoles en plantilla, a los que se suman 354 usuarios y otros colaboradores externos. En total, el número de científicos y técnicos españoles en el mayor laboratorio de física de partículas del mundo sobrepasa las 500 personas.

Unos 200 investigadores, ingenieros y técnicos españoles participan en el LHC y sus experimentos a través de diez centros de investigación. España contribuye con algo más del 4% de los recursos de la red de computación global distribuida (Grid), que almacena y distribuye los datos del LHC. La participación de los grupos de investigación españoles en el LHC cuenta con el apoyo de la Secretaría de Estado de I+D+i del Ministerio de Economía y Competitividad a través del Programa Nacional de Física de Partículas, y del Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN), proyecto Consolider-Ingenio 2010 gestionado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Además de haber diseñado y construido varios subdetectores que son clave en la búsqueda de nuevas partículas en el LHC, los grupos españoles participan de forma destacada en su operación y mantenimiento, así como en la recogida, procesado y análisis de las colisiones producidas por los experimentos, incluyendo aquellas que pueden conducir a la observación del bosón de Higgs.

ATLAS

El experimento ATLAS está formado por 3.000 científicos de 174 instituciones procedentes de 38 países, incluyendo la participación de investigadores del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universitat de València; el Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), consorcio entre la Generalitat de Catalunya y la Universitat Autònoma de Barcelona; el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (CNM-IMB-CSIC); y la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

El IFIC, en colaboración con el CNM-IMB-CSIC, ha contribuido al diseño del detector de trazas del experimento ATLAS, su electrónica y sensores, y ha construido 280 módulos de silicio completamente equipados. IFAE, junto con el IFIC, jugó un papel principal en el diseño y construcción del calorímetro hadrónico de ATLAS y se responsabilizó de la construcción de una de las tres secciones centrales del calorímetro formada por 64 módulos de 11 toneladas cada uno. El IFIC ha diseñado y producido la totalidad de la electrónica de lectura y adquisición de datos, mientras que el IFAE desarrolló una parte significativa de la electrónica de calibración y contribuyó a la arquitectura del sistema de *Trigger* de pre-selección y adquisición en tiempo real de los datos. La UAM participó en la construcción del calorímetro electromagnético, otro de los detectores de ATLAS, haciéndose cargo de la construcción de una cuarta parte.

Desde la puesta en marcha del detector ATLAS, los miembros de las diferentes instituciones españolas participan activamente en la operación y mantenimiento de los detectores, con una fuerte presencia en las actividades de alineamiento, calibración y selección de datos online.

Los grupos españoles en ATLAS participan en un gran número de líneas de investigación en el análisis de los datos, que cubren muchos de los temas a priori más interesantes del programa del LHC. En particular, en el caso de la búsqueda del bosón de Higgs del Modelo Estándar los grupos han estudiado diferentes estados finales resultado de la desintegración de la partícula de Higgs en dos fotones, dos leptones taus, dos quarks bottom, y dos bosones Z o W.

CMS

En CMS, donde participan 3.275 científicos de 179 institutos en 41 países, están presentes los grupos experimentales del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); Instituto de Física de Cantabria (IFCA), centro mixto CSIC-Universidad de Cantabria, la Universidad de Oviedo (UO) y la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

El CIEMAT ha participado en el desarrollo de prototipos de pequeños imanes superconductores para el acelerador, así como en el diseño y construcción de 70 cámaras de muones (25% del total) de CMS y en la fabricación de la electrónica de lectura de estas cámaras. El CIEMAT y el IFCA son responsables del sistema de alineamiento de muones y su electrónica asociada, sistema en el que colabora la UO. La UAM está involucrada en el desarrollo del sistema de selección de datos o *Trigger*. Además, los grupos españoles desempeñan un papel fundamental en la mayor parte de las actividades relacionadas con el detector de muones de CMS, con responsabilidades directas en mantenimiento, operación, calibración, reconstrucción y futuras mejoras.

La participación de los grupos españoles en actividades de análisis en CMS está muy diversificada y cubre un amplio abanico de los procesos de interés del programa de física del LHC. Todos los grupos participan activamente en la búsqueda del bosón de Higgs. Destaca la participación en el análisis del canal de desintegración del bosón de Higgs en bosones WW, así como en canales asociados a la desintegración en bosones ZZ.

LHCb

Este experimento, donde participan 650 científicos de 48 instituciones y 13 países, está diseñado para estudiar las diferencias entre materia y antimateria, y tratar de dar respuesta al enigma de la ausencia de esta última en el Universo. La Universidad de Santiago de Compostela (USC), la Universitat de Barcelona (UB) y la Universitat Ramon Llull (URL) han participado en la construcción del Silicon Tracker (ST), del Calorímetro Electromagnético (SPD/PS) y del sistema de trigger del LHCb. Investigadores de las tres universidades tienen importantes responsabilidades tanto en la operación del experimento como en el análisis de los datos que recolecta.

ALICE

En este experimento se recrean las condiciones instantes después del Big Bang, cuando comenzó a formarse la materia. El Instituto Galego de Física de Altas Enerxias (IGFAE) de la Universidade de Santiago de Compostela (USC) se encarga de la fenomenología de la física del experimento ALICE, mientras que el CIEMAT participa en tareas de computación asociadas.

GRID

Para llevar a cabo los objetivos del LHC es necesario procesar una cantidad de datos de una complejidad sin precedentes, para lo que se ha desarrollado el mayor sistema de procesado de datos jamás construido, llamado GRID. Los datos tomados por los detectores del LHC son procesados inicialmente en el CERN, centro Tier-0, y distribuidos posteriormente a otros 11 centros Tier-1, donde se realiza un segundo procesado. Finalmente, son transferidos a otros 100 centros, llamados Tier-2, distribuidos por todo el mundo donde los científicos realizan el análisis final. España contribuye con un 4% de los recursos totales al proyecto, a través de un centro Tier-1, el Port de Informació Científica (PIC, consorcio formado por el IFAE, la UAB y el CIEMAT) situado en el campus de la UAB; y 7 Tier-2: IFIC, IFAE, UAM, CIEMAT, IFCA, UB y USC.

Retorno industrial y participación de empresas españolas en el LHC

La participación en el CERN es una inversión para los países que conlleva importantes beneficios científicos, tecnológicos e industriales. El CERN destina entre el 30 y el 40% de su presupuesto anual a la contratación de suministros y servicios proporcionados por la industria de los países miembros. Este porcentaje se duplica durante los periodos en los que el CERN invierte en el desarrollo de su infraestructura técnica, esto es, en la construcción de aceleradores de partículas.

La construcción del LHC y sus experimentos representaron una oportunidad única para el desarrollo de tecnología por parte de las empresas españolas, que tuvieron que desarrollar una serie de capacidades tecnológicas, un *"know-how"*, en áreas como criogenia y vacío, superconductividad, control industrial, electrónica de potencia, infraestructuras, etc., que de otra manera no habrían alcanzado y que han impulsado con fuerza su competitividad. Unas 70 empresas españolas han participado en la construcción y mantenimiento del LHC.

A modo de ejemplo, se pueden reseñar el sistema de control de la línea criogénica del LHC, diseñado por la empresa GTD; los soportes para los dipolos diseñados en fibra de carbono, fabricados por EADS-CASA; las cámaras de vacío, los criostatos del detector ATLAS y los módulos de servicio para la línea criogénica, fabricados por FCM – Felguera Construcciones Mecánicas; o la construcción de la caverna en la que se aloja el detector CMS, realizado por Dragados. España fue el quinto país con mayor número de contratos a empresas españolas en la etapa de construcción del LHC, obteniendo el 6,5% del total de las adjudicaciones. Recientemente destacan los desarrollos en ingeniería mecánica de alta precisión de las empresas DMP y CADINOX para

componentes del nuevo acelerador LINAC4 para inyectar partículas al LHC, o los trabajos en los sistemas auxiliares de seguridad y control de las empresas INDRA y SADES. La contratación del CERN a compañías españolas ascendió a unos 252 millones de euros para el período 1998-2012.

Otro beneficio de la participación industrial en el CERN es el efecto “escaparate”: las empresas españolas se posicionan de manera preferente en otros proyectos científicos de especial relevancia europea, tales como el ITER (Reactor Termonuclear Experimental Internacional); XFEL (Láser Europeo de Electrones Libres de Rayos X); ESRF (Instalación Europea de Radiación Sincontrón); ILL (Instituto Laue-Langevin); y ESO (Observatorio Europeo Austral). Es el caso de la empresa ELYT, cuya experiencia en el diseño de los dipolos del LHC le ha permitido participar en la fabricación de las bobinas toroidales del ITER. O el de la empresa G&P Vacuum Projects, que tras fabricar componentes de vacío para el CERN ha podido realizar a la construcción de los criomódulos de los imanes superconductores del XFEL.

La participación española en el CERN ha permitido también la creación y consolidación de nuevas empresas innovadoras que tienen su origen en tecnologías desarrolladas en laboratorio europeo de física de partículas. Es el caso de las empresas españolas Gnubila, líder internacional en el desarrollo de Plataformas Tecnológicas para organizaciones en Red; Oncovision, empresa de visión molecular aplicada a las ciencias de la Salud; o ALIBAVA, dedicada al diseño y fabricación de sistemas electrónicos para detectores de radiación.

La industria española, además de participar en la contratación de suministros y servicios que permiten el funcionamiento del día a día del CERN, tiene la oportunidad de tomar parte en el desarrollo de grandes proyectos, como los futuros aceleradores LINAC 4 y HIE-ISOLDE, los trabajos de actualización de los inyectores de las partículas al LHC (PS y SPS) y la fase de desarrollo de los futuros aceleradores lineales CLIC/ILC. Estas oportunidades para las empresas españolas, por su posicionamiento tecnológico, estarán centradas en áreas como mecánica de alta precisión, sistemas magnéticos, sistemas de criogenia y vacío, sistemas de diagnóstico de haz, ingeniería de control y sincronización de haz, radiofrecuencia de potencia y sistemas de posicionamiento de alta resolución. La participación tecnológica/industrial de las empresas españolas en estos proyectos durante los próximos años va a contribuir, junto con los retornos científicos, a optimizar la inversión anual realizada en el CERN.

Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN)

El Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN) es un proyecto Consolider-Ingenio 2010 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de la Secretaría de Estado de I+D+i, y gestionado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Está formado por más de 400 científicos de 26 grupos de investigación del CSIC, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y varias universidades españolas. Sus principales objetivos son la promoción y coordinación científica de la participación española en proyectos internacionales, el desarrollo de actividades comunes de I+D y la formación e incorporación a los grupos de nuevos investigadores y técnicos. El CPAN pretende consolidar estas actuaciones mediante la constitución de un centro en red de carácter permanente, análogo a los existentes en otros países de nuestro entorno.

Oficina CPAN
comunicacion@i-cpan.es
96 354 48 46
www.i-cpan.es