

¿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 el bosón de Higgs?

Porque es la única partícula predicha por el Modelo Estándar de Física de Partículas que aún 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. 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?

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 más familiares. 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 en 2014, el LHC colisionará



protones a una energía cercana a 14 teraelectronvoltios (TeV). Actualmente funciona a algo más de la mitad, 8 TeV. En cualquier caso, si existe, la partícula de Higgs se producirá en el LHC.

¿Cuándo se sabrá si se ha encontrado el bosón de Higgs?

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%. Para estar seguros de que una observación corresponde a un bosón de Higgs del Modelo Estándar y no a otra partícula diferente, 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.

¿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 está 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 descubrimiento.

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, estos resultados todavía son preliminares, por lo que no se puede afirmar que estamos ante el bosón de Higgs descrito por el Modelo Estándar o 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.

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.

¿Qué pasa si se descubre el bosón de Higgs?

Sería el comienzo de una nueva fase en la Física de Partículas. Marcaría el camino en la investigación de otros muchos fenómenos físicos como la naturaleza de la materia oscura, cuyas propiedades son completamente desconocidas. Este es otro reto para la disciplina y experimentos como el LHC.

¿Qué pasa si NO se descubre el bosón de Higgs?

No descubrir el bosón de Higgs en los parámetros establecidos en el Modelo Estándar obligará a formular otra teoría para explicar cómo las partículas obtienen su masa, lo que requerirá nuevos experimentos que confirmen o desmientan esta nueva teoría. Así es como funciona la ciencia.

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?

España es miembro del CERN desde 1983. La aportación española es proporcional a su PIB, y se sitúa detrás de Alemania, Reino Unido, Francia e Italia. 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.

En la plantilla del CERN hay un centenar de españoles, a los que se suma otra serie de personal en las categorías de investigadores (*fellows* y asociados), estudiantes técnicos y de doctorado, investigadores colaboradores en experimentos del LHC y otros del CERN... En total, 900 científicos e ingenieros españoles participan activamente en el CERN.



La participación de los grupos de investigación españoles en el LHC cuenta con el apoyo 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. 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.

Dentro del amplio programa de investigación del LHC, 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.

Al igual que en el caso de ATLAS, 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

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

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 científicos 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 (actualmente equivalente a unos 100.000 núcleos), 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 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 de España en el CERN, y en concreto en el LHC y sus experimentos, ha representado una oportunidad única de adquisición de tecnología para las empresas españolas, que han desarrollado *know-how* en diversas áreas: criogenia, técnicas de vacío ultra-alto, superconductividad, control industrial, electrónica de potencia, e-infraestructuras, etc.

En relación con el LHC, España se sitúa como el 5º país con mejor retorno industrial de los participantes, alcanzando las adjudicaciones a empresas españolas el 6,3% del total, lo que supone unos 160,6 millones de euros (200,1 millones de francos suizos). Desde 1995 hasta finales de 2011, la contratación total a empresas españolas para el conjunto de aceleradores del CERN asciende a 306,9 millones de euros (382,2 millones de francos suizos). Fuente CDTI: www.cdti.es



En la construcción y mantenimiento del LHC participan 50 empresas españolas en ingeniería civil (Empresarios Agrupados, Dragados, IDOM); ingeniería eléctrica (JEMA, ANTEC); ingeniería mecánica (Felguera Construcciones Mecánicas, Asturfeito, Nortemecánica, Elay, EADS-CASA); tecnologías de vacío y baja temperatura (Telstar, Vacuum projects), electrónica (GTD, CRISA, INSYTE, SAIFOR); y servicios (IBERINCO, SENER, INTECSA-INARSA, TAM), entre otras.

La implicación de la industria española en el diseño, construcción y mantenimiento de sistemas para el funcionamiento de los aceleradores y detectores del CERN ha significado un incremento notable de las actividades de I+D del sector, así como una mejora de su competitividad de cara a futuros proyectos de relevancia internacional en el área de la Física de Partículas, además de generar exitosos casos de transferencia de las tecnologías otros sectores como las energías renovables, la salud o las tecnologías de la información.

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 Investigación, Desarrollo e Innovación, 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.

Última actualización, 5 julio 2012

MÁS INFORMACIÓN

Oficina CPAN

comunicacion@i-cpan.es

96 354 48 46

<http://www.i-cpan.es/lhc.php>