

EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2013

¡ Aquí está, al fin !

François Englert y Peter W. Higgs han sido premiados conjuntamente con el Premio Nobel de Física 2013 por la teoría de cómo las partículas adquieren masa. En 1964, ambos propusieron la teoría de forma independiente (Englert junto con su colega **Robert Brout**, ya fallecido). En 2012, sus ideas se vieron confirmadas con el descubrimiento de la llamada *partícula de Higgs* en el laboratorio del CERN, situado en la afueras de Ginebra, Suiza.

La teoría premiada es una parte fundamental del Modelo Estándar de física de partículas que describe cómo ha sido construido el mundo. Según el modelo estándar, todo, desde las flores y las personas, hasta las estrellas y los planetas, están formados por unos pocos bloques fundamentales: *las partículas fundamentales*. Estas partículas interactúan mediante fuerzas, mediadas mediante *partículas de fuerza* que aseguran de que todo funciona como debiera.



Todo el modelo estándar se basa en la existencia de un tipo especial de partícula: la partícula de Higgs. Esta partícula está conectada a un campo invisible que llena todo el espacio. Aunque nuestro universo parece vacío, ese campo está presente. Si no existiera los electrones y los quarks serían partículas sin masa, igual que los fotones, las partículas de luz. Y como los fotones viajarían, tal y como predice la teoría de Einstein, a través del espacio a la velocidad de la luz, sin ninguna posibilidad de quedar atrapados en los átomos o moléculas. Nada de lo que conocemos, ni nosotros, existiría.

François Englert y Peter Higgs eran dos jóvenes científicos cuando en 1964, y de forma independiente, propusieron una teoría que evitó el colapso del Modelo Estándar. Casi medio siglo después, el miércoles 4 de julio de 2012, ambos se encontraban entre la audiencia concentrada en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas, CERN, en las afueras de Ginebra, cuando el descubrimiento de la particular de Higgs fue anunciado al mundo confirmando, por fin, la teoría.



El modelo que creaba orden

La idea de que la totalidad del mundo podía ser explicado a partir de unos pocos bloques básicos es vieja. Alrededor del 400 a.C. el filósofo Demócrito postuló que todo estaba formado por átomos (átomos en griego significa indivisible). Hoy sabemos que los átomos no son indivisibles. Constan de electrones que orbitan alrededor de un núcleo formado por protones y neutrones. Los protones y neutrones, a su vez, está formados por pequeñas partículas llamadas quarks. Actualmente, y de acuerdo con el Modelo Estándar, solo los electrones y los quarks son indivisibles..

François Englert y Peter W. Higgs, juntos por primera vez, en el CERN, cuando el descubrimiento de la partícula de Higgs fue anunciada al mundo el 4 de julio de 2012.

Photo: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459503>

En los núcleos atómicos existen solamente dos tipos de quarks: up y down. Así con solo tres partículas: electrones, quarks up y quarks down se construye toda la materia existente. Pero durante los años 1950 y 1960 nuevas partículas fueron observadas inesperadamente en los rayos cósmicos y en los aceleradores recientemente construidos, así que el Modelo Estándar tuvo que incluir estas nuevas generaciones de electrones y quarks.

Además de partículas materiales, existen también las partículas de fuerza para cada una de las cuatro fuerzas de la naturaleza: gravitación, electromagnetismo, fuerza débil y fuerza nuclear fuerte. Gravitación y electromagnetismo son las que se conocen mejor, son atractivas o repulsivas, y podemos ver sus efectos con nuestros propios ojos. La fuerza nuclear fuerte actúa sobre los quarks y mantiene a los protones y a los neutrones juntos en el núcleo, mientras que la fuerza débil es la responsable del decaimiento radiactivo, proceso necesario, por ejemplo, en los procesos nucleares que tienen lugar en el interior del Sol.

El Modelo Estándar de partículas ha unificado las partículas fundamentales y tres de las cuatro fuerzas conocidas por nosotros (la cuarta, la gravitación, queda fuera del modelo). Durante mucho tiempo fue un enigma el cómo funcionan en realidad estas fuerzas. Por ejemplo, cómo una pieza de metal que es atraída por el imán sabe que el imán está ahí, un poco más lejos. Y ¿cómo se transmite a la Luna la fuerza de gravedad ejercida por la Tierra?

Campos invisibles que llenan el espacio

La explicación que da la física es que el espacio está lleno de campos invisibles. El campo gravitatorio, el campo electromagnético, el campo de los quarks y otros, llenan el espacio, o mejor, el espacio-tiempo tetradimensional, un espacio abstracto en el que se desarrolla la teoría. El Modelo Estándar es una teoría cuántica de campos en la cual los campos y las partículas constituyen los componentes esenciales del universo.

En física cuántica todo se concibe como vibraciones en campos cuánticos. Estas vibraciones son transportadas a través de los campos mediante pequeños paquetes, cuantos, que nosotros percibimos como partículas. Existen dos clases de campos: campos de materia, con partículas materiales, y campos de fuerza, con partículas de fuerza – los mediadores de la fuerza- la partícula de Higgs, también es una vibración de un campo- conocido como campo de Higgs

Sin este campo el Modelo Estándar se vendría abajo como un castillo de naipes, porque la teoría cuántica de campos conduciría a infinitos que deben ser evitados y a simetrías inobservables. Hasta que François Englert, con Robert Brout, Peter Higgs, y luego otros, demostraron que el campo de Higgs puede romper la simetría del modelo estándar sin destruir el propio modelo.

Y es que el Modelo Estándar sólo funcionaría si las partículas no tuvieran masa. Para la fuerza electromagnética, con sus fotones sin masa como mediadores, no había ningún problema. La fuerza débil, sin embargo, es mediada por tres partículas masivas; dos partículas W con carga eléctrica y una partícula Z, que no casan bien con el fotón. ¿Cómo se entiende, entonces, la fuerza electrodébil, que unifica la fuerza electromagnética y la débil? El modelo estándar estaba amenazado. Entonces, Englert, Brout y Higgs entran en escena proponiendo un ingenioso mecanismo mediante el cual las partículas adquieren masa que salva el Modelo Estándar.

El fantasmagórico campo de Higgs

El campo de Higgs no es como otros campos. Los otros campos son variables adquiriendo el valor cero en su nivel más bajo de energía. El campo de Higgs, no. Incluso en el espacio completamente vacío, existiría un campo fantasmal que no se anula: el campo de Higgs. No podemos percibirlo, es como el aire para nosotros, o el agua para los peces, pero sin él no existiríamos, porque las partículas adquieren masa sólo en contacto con el campo de Higgs. Las partículas que no interactúan con el campo de Higgs no adquieren masa. Las partículas que interactúan débilmente se convierten en partículas de luz, y las que interactúan intensamente se convertirán en partículas pesadas. Por ejemplo, los electrones, que adquieren su masa debido a la interacción con el campo, juegan un papel crucial en la constitución de los átomos y en los enlaces entre estos para formar moléculas. Si el campo de Higgs desapareciera repentinamente, toda la materia colapsaría repentinamente y los electrones, ahora sin masa, se dispersarían a la velocidad de la luz.

¿Por qué el campo de Higgs es tan especial? Porque rompe la simetría intrínseca del mundo. En la naturaleza, abunda la simetría; nuestros rostros son simétricos, las flores y los copos de nieve exhiben diversos tipos de simetría. La física revela otros tipos de simetrías que describen nuestro mundo, aunque en un nivel más profundo. Una de esas simetrías estipula que los resultados de un experimento no diferirán si se lleva a cabo en Estocolmo o en París. Tampoco habrá diferencia si se lleva a cabo en un instante o en otro. La teoría especial de la relatividad de Einstein se ocupa de simetrías en el espacio y tiempo y se ha convertido en un modelo para muchas otras teorías, entre ellas el Modelo Estándar de física de partículas. Las ecuaciones del modelo estándar son simétricas; de la misma manera que una bola se ve igual desde cualquier ángulo, las ecuaciones del modelo estándar permanecen inalteradas aunque la perspectiva que las define se cambie.

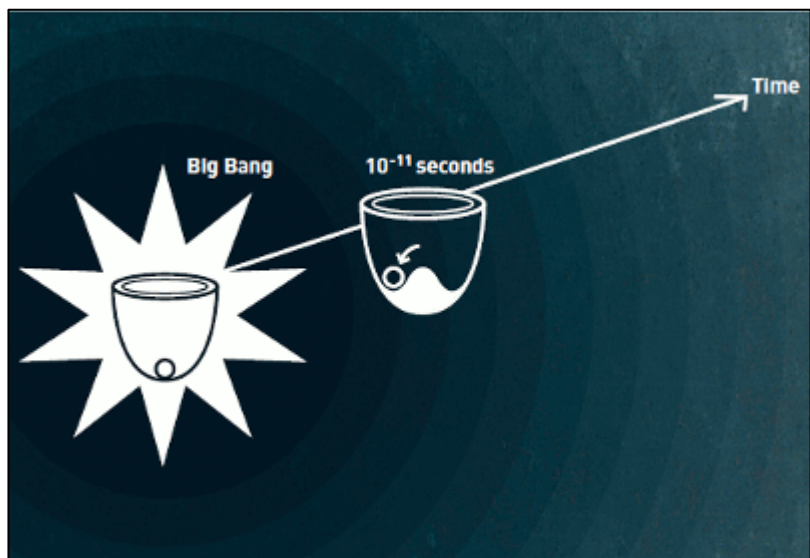
Los principios de simetría también llevan, a veces, a resultados inesperados. En 1918, la matemática alemana Emmy Noether pudo demostrar que las leyes de conservación de la física, como las leyes de la conservación de la energía y la conservación de la carga eléctrica, también tienen su origen en la simetría.

La simetría, sin embargo, establece ciertos requisitos que deben respetarse. Una bola tiene que ser perfectamente redonda; la más pequeña joroba romperá la simetría. Para las ecuaciones se aplican criterios similares. Y una de las simetrías del modelo estándar prohíbe las partículas muy másicas. Ahora, esto no es lo que sucede en nuestro mundo, así que las partículas deben de haber adquirido su masa de alguna forma. Aquí es donde el mecanismo ahora galardonado proporciona una forma de simetría que existe y, al mismo tiempo, estaba oculta.

La simetría está oculta pero está aún allí

Nuestro universo probablemente nació simétrico. En el momento del Big Bang, las partículas no tenían masa y todas las fuerzas estaban unificadas en una sola fuerza primordial. Este orden original ya no existe, la simetría se ha perdido. Algo pasó sólo 10^{-11} segundos después del Big Bang. El campo de Higgs perdió su equilibrio original. ¿Cómo sucedió?

Todo comenzó de forma simétrica. Este estado puede describirse como la posición de una bola en medio de un bol redondo, en su estado de mínima energía. Con un impulso la pelota comienza a rodar, pero después de un tiempo vuelve hasta el punto más bajo. Sin embargo, si en el centro del tazón hay un abultamiento, que le daría la apariencia de un sombrero mexicano, la posición central seguirá siendo simétrica pero se ha vuelto inestable. La bola rodará hacia uno u otro lado. El sombrero es simétrico, pero una vez que la pelota ha rodado en una dirección, lejos del centro, queda oculta la simetría. De manera similar el campo de Higgs rompió su simetría y encontró un nivel estable de energía en el vacío lejos de la simétrica posición inicial. Esta ruptura espontánea de la simetría también se denomina transición de fase del campo de Higgs; es como cuando el agua se congela y aparece el hielo.



El universo fue, probablemente, creado simétrico y entonces el campo de Higgs tenía una simetría que podemos hacer corresponder a la posición estable de una bola en un bol. Pero alrededor de 10^{-11} segundos después del Big Bang el campo de Higgs rompió la simetría desplazando su nivel de más baja energía del punto central.

Para producir la transición de fase eran necesarias cuatro partículas, pero sólo una, la partícula de Higgs, ha sobrevivido. Las otras tres fueron consumidas por los mediadores de la fuerza débil, las dos partículas W, con carga eléctrica, y una partícula Z, las cuales adquirieron su masa de esta forma. Así se salvó la simetría de la fuerza electrodébil en el modelo estándar — la simetría entre las tres partículas pesadas de la fuerza débil y los fotones sin masa de la fuerza electromagnética existía, sólo estaba oculta a la vista -.

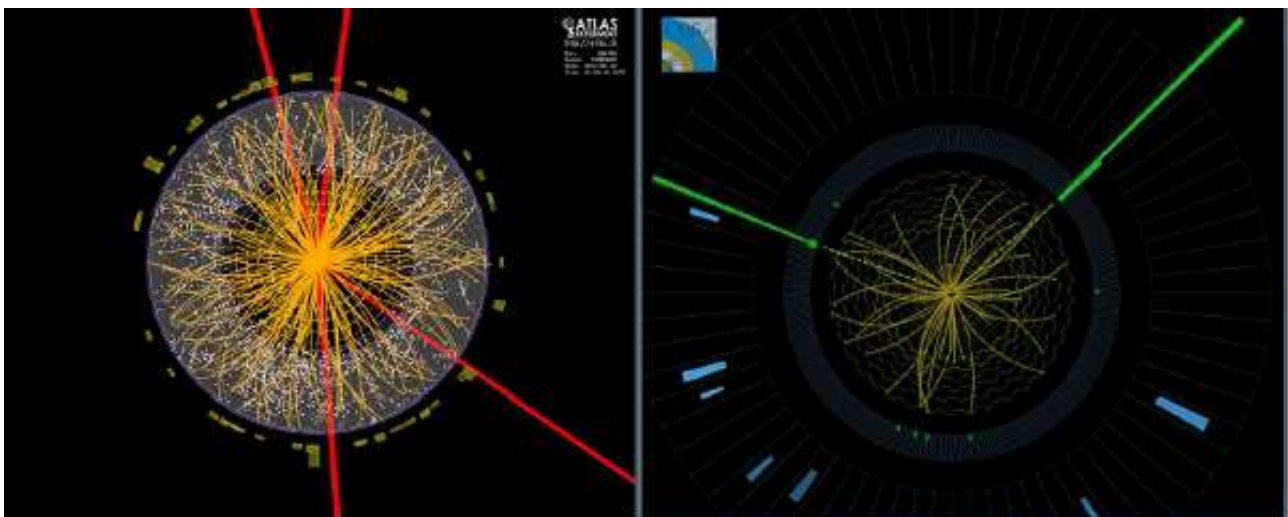
Máquinas extraordinarias para física extraordinaria

Los premiados con el Nobel probablemente no imaginaban que podrían ver confirmada su teoría en vida. Ello requirió un enorme esfuerzo por parte de los físicos de todo el mundo. Durante mucho tiempo dos laboratorios, el Fermilab en las afueras de Chicago, Estados Unidos, y el CERN, en la frontera franco-suiza, compitieron tratando de descubrir la partícula de Higgs, pero cuando el acelerador Tevatron del Fermilab cerró hace un par de años, el CERN se convirtió en el único lugar del mundo donde continuó la búsqueda de la partícula de Higgs.

El CERN se fundó en 1954 para intentar reconstruir la investigación europea, así como las relaciones entre las naciones, tras la Segunda Guerra Mundial. Actualmente veinte estados son miembros y cerca de cien naciones de todo el mundo colaboran en los proyectos.

El mayor logro del CERN, el colisionador de partículas (LHC), es probablemente la mayor y más compleja máquina construida por seres humanos. Dos grupos de investigadores de cerca de 3000 científicos buscan partículas con dos enormes detectores (ATLAS y CMS). Los detectores están situados 100 metros bajo tierra y pueden detectar 40 millones de colisiones por segundo. Esta es la frecuencia con la que las partículas colisionan cuando son inyectadas en direcciones opuestas en el interior del anillo circular de 27 kilómetros de longitud.

Los protones se inyectan en el LHC cada diez horas, un haz en cada dirección. Cien billones de protones son agrupados y comprimidos en un rayo ultra fino - lo cual no es fácil puesto que los protones, que tienen carga positiva, se repelen-. Los protones viajan al 99,99999% de la velocidad de la luz y chocan con una energía de aproximadamente 4 TeV cada uno y 8 TeV en conjunto (un teraelectronvoltio (TeV)= 10^{12} electronvoltios). Un TeV puede que no sea mucha energía, es más o menos la que tiene un mosquito volando, pero cuando la energía se concentra en un solo protón y se tienen 500 trillones de protones girando en el acelerador, la energía del rayo es igual a la de un tren a toda velocidad. En el año 2015 la energía será casi el doble en el LHC.



Un posible descubrimiento en el detector ATLAS muestra trazas de cuatro muones (en rojo), creadas por la desintegración de la partícula de Higgs

Imagen: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459496>

Una partícula de Higgs puede haber sido creada y, casi instantáneamente, se desintegra en dos fotones. Sus trazas (en verde) son visibles en el detector CMS.

Imagen: CERN, <http://cds.cern.ch/record/1459459>

Un puzzle dentro de otro puzzle

Los experimentos con partículas son a veces comparados con el acto de romper dos relojes suizos juntos para ver cómo están contruidos. Pero en realidad es mucho más difícil, porque las partículas que buscan los físicos de partículas son algo totalmente nuevo creado a partir de la energía liberada en la colisión

Según la conocida fórmula de Einstein $E = mc^2$, la masa es un tipo de energía. Y esta mágica ecuación predice que, incluso las partículas sin masa, pueden crear algo nuevo cuando chocan; como cuando dos fotones chocan y crean un electrón y su antipartícula, el positrón, o cuando se crea una partícula de Higgs en la colisión de dos gluones, si la energía es lo suficientemente alta.

Los protones son como pequeñas bolsas llenas de partículas, los quarks, antiquarks y gluones. La mayoría de ellos no colisionan; en promedio, cada vez que chocan dos paquetes de partículas sólo ocurren veinte choques frontales. Menos de una colisión en 1000 000 000 (mil millones). Esto puede no parecer mucho, pero en cada colisión se observa la brillante aparición de cerca de mil partículas. Con una masa de 125 GeV, la partícula de Higgs resulta ser cien veces más pesada que un protón y esta es una de las razones por la que era tan difícil de producir.

Sin embargo, el experimento ha sido finalmente realizado. Los científicos del CERN esperan más descubrimientos sorprendentes en los años venideros. Aunque ya es un gran logro haber encontrado la partícula de Higgs (la pieza que faltaba en el puzzle del modelo estándar), el modelo estándar no es la última pieza en el puzzle cósmico.

Una de las razones de esto es que el modelo estándar trata ciertas partículas, los neutrinos, como partículas virtuales sin masa, mientras que estudios recientes demuestran que en realidad tienen masa. Otra razón es que el modelo describe sólo la materia visible, que sólo representa una quinta parte de toda la materia en el universo. El resto es materia oscura de una especie desconocida. No es visible para nosotros, pero pueden ser detectada porque su atracción gravitacional mantiene unida a las galaxias impidiendo que se rompan en mil pedazos.

Por lo demás, la materia oscura no se comporta como la materia visible. Considerando que la partícula de Higgs es especial; tal vez sea la llave para acceder a la materia oscura. Los científicos esperan poder atrapar la materia oscura, en las próximas décadas, en su búsqueda de partículas desconocidas en el LHC.



Aunque la partícula de Higgs ha completado el puzzle del Modelo Estándar, el Modelo Estándar no es la pieza final del gran puzzle cósmico

LINKS AND FURTHER READING

Additional information on this year's Prizes, including a scientific background article in English, may be found at the website of the Royal Swedish Academy of Sciences, <http://kva.se>, and at <http://nobelprize.org>. These sites also include web-TV versions of the press conferences at which the awards were announced. Information on exhibitions and activities related to the Nobel Prizes and the Prize in Economic Sciences may be found at www.nobelmuseum.se.

Articles

Rose, J. (2013) I mörkret bortom Higgs, *Forskning & Framsteg*, nr. 6. (Swedish)

Llewellyn-Smith, C. (2000) The Large Hadron Collider, *Scientific American*, July.

Weinberg, S. (1999) A Unified Physics by 2050?, *Scientific American*, December.

Books

Randall, L. (2013) *Higgs Discovery: The Power of Empty Space*, Bodley Head.

Sample, I. (2013) *Massive: The Higgs Boson and the Greatest Hunt in Science*, Virgin Books.

Carroll, S. (2012) *The Particle at the End of the Universe*, Dutton.

Close, F. (2011) *The Infinity Puzzle*, Oxford University Press.

Wilczek, F. (2008) *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces*, Basic Books.

Links

CERN Scientists Announce Higgs Boson: The Moment

www.youtube.com/watch?v=0CugLD9HF94

CERN LHC Brochure

<http://cds.cern.ch/record/1278169?ln=en>

Cham, J.

The Higgs Boson Explained. (animation)

www.phdcomics.com/comics/archive.php?comid=1489

Higgs, Peter W. (2010) *My Life as a Boson.* (transcribed speech)

www.kcl.ac.uk/nms/depts/physics/news/events/MyLifeasaBoson.pdf

THE LAUREATES

FRANÇOIS ENGLERT

Belgian citizen. Born 1932 in Etterbeek, Belgium.
Ph.D. 1959 from Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium. Professor Emeritus at Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium.
www.ulb.ac.be/sciences/physst/people_FEnglert.html

PETER W. HIGGS

UK citizen. Born 1929 in Newcastle upon Tyne, UK. Ph.D. 1954 from King's College, University of London, UK. Professor emeritus at University of Edinburgh, UK.
www.ph.ed.ac.uk/higgs/