

LA TEORÍA DE CUERDAS OSCILAAL RITMO DE BOSON DE HIGGS.

ESCUELA DE PROCEDENCIA:

Centro Universitario México

CLAVE DE REGISTRO:

CIN2012A20251

INTEGRANTES:

Nieva Pérez Ezequiel

Montoya Rangel Luis Rodrigo

Arcos Velasco Humberto

Saavedra Licea Vanessa

AREA: Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías

TIPO DE INVESTIGACION: Documental

DISCIPLINA: Física

ASESOR: Fis. Jesús Flores Téllez

LUGAR Y FECHA: México D.F. a 15 de Febrero 2013



RESUMEN

El modelo estándar clasifica todos los componentes conocidos de la materia y tres de las cuatro fuerzas que controlan su comportamiento. Los componentes de la materia son seis partículas llamadas leptones y seis llamadas quarks. Una de las fuerzas, conocida como la fuerza fuerte, actúa en quarks, manteniéndolos juntos para formar centenares de partículas conocidas como hadrones. Las otras dos fuerzas son el electromagnetismo y la fuerza débil. El modelo estándar tiene 3 defectos principales: contiene muchas arbitrariedades, no contempla la fuerza de gravedad ya que es una teoría quantum-mecánica y depende del bosón de higgs.

El bosón de Higgs es una partícula predicha en 1954, la cual está relacionada directamente con el campo de Higgs que es un campo cuántico del cual depende esta partícula.

El Gran Colisionador de Hadrones es un acelerador de partículas situado en el CERN en Suiza, tiene un diámetro y de 27 km y alrededor de 9000 imanes. Los experimentos principales que se van a realizar ahí son 6 y llevan por nombre: ALICE, LHCb, TOTEM, CMS, LHCf y Atlas.

Los principales objetivos de dichos experimento son: reproducir las condiciones que existieron unos segundos después de la gran explosión, tratar de observar el bosón de Higgs, explicar el desequilibrio entre materia y antimateria y buscar nuevas dimensiones analizando cuidadosamente los detectores del LHC.

PALABRAS CLAVE: Materia, Modelo Estándar, Partículas elementales, Boson de Higgs, Campo de Higgs, Teoría de Cuerdas, Gravedad, Mecánica Cuántica.

ABSTRACT

The standard model classifies all known components of matter and three of the four forces that control their behavior. The components of matter are six particles called leptons and another six called quarks.



One of the forces, known as the strong force acts on quarks, keeping them together to form hundreds of particles called hadrons. The other two forces are electromagnetism and the weak force. The standard model has three major flaws: it ignored the force of gravity as it is quantum-mechanical theory and depends on the Higgs boson.

The Higgs boson is a particle predicted in 1954, which is directly related to the Higgs field, that is a quantum field which depends on the particle.

The Large Hadron Collider is a particle accelerator located at CERN in Switzerland, has a diameter of 27 km and about 9000 magnets. The main experiments that will be performed there are 6 and are named: ALICE, LHCb, TOTEM, CMS, LHCf and Atlas.

The main objectives of these experiments are: to reproduce the conditions that existed a few seconds after the big bang, try to observe the Higgs boson, explain the imbalance between matter and antimatter, and find new dimensions analyzing carefully the LHC detectors.

KEYWORDS: Matter, Standard Model, Elementary Particles, Higgs Boson, Higgs Field, String Theory, Gravity, Quantum Mechanics.

INTRODUCCIÓN

Una de las preguntas que ha sido replantada una y otra vez por muchas culturas y civilizaciones es sin duda, ¿de qué está hecho todo lo que nos rodea? Las respuestas han oscilado desde los 4 elementos de Empédocles (tierra, aire, agua y fuego), pasando por la visión atomista de Demócrito, modificada en los modelos atómicos, del budín de pasas de Thompson, o el del sistema planetario de Bohr, o el modelo de Rutherford con un núcleo masivo alrededor del cual giran las cargas negativas. Hasta llegar al modelo atómico de la mecánica cuántica donde no cabe la certidumbre y se llena de probabilidad el mundo atómico. En este momento se pensaba que la materia estaba constituida por



átomos que a su vez, se descomponían en 3 partículas fundamentales que fueron: el electrón, el protón y el neutrón.

Al llegar los aceleradores de partículas de altas energías, se encontró que la historia no había terminado y que el mundo subatómico nos deparaba más sorpresas. Al partir los protones se fueron descubriendo nuevas partículas elementales llamadas quarks, que al recombinarse formaban toda una zoología de nuevas partículas. Para agrupar y sistematizar el estudio de estas nuevas partículas se desarrollo una teoría basada en lo que fue llamado, Modelo Estándar de la Materia.

El Modelo Estándar de la Materia de manera general describe cada partícula y cada fuerza de interacción con un campo cuántico; las partículas fundamentales de la materia son los fermiones, vienen en tres generaciones, cada generación de partículas sigue el mismo patrón de propiedades. Los físicos se dieron cuenta de que existen vínculos muy estrechos entre dos de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. La "unificación" de estas, implica que la electricidad, el magnetismo, la luz y ciertos tipos de radiactividad son todas manifestaciones de una única fuerza subyacente llamado, como era de esperar, la fuerza electrodébil. Pero para que esta unificación se trabaje matemáticamente, se requiere que las partículas portadoras de fuerza no tengan masa. Sabemos por experimentos que esto no es cierto, por lo que a los físicos se les ocurrió una solución para resolver este enigma.

Ellos sugirieron que todas las partículas no tenían masa justo después del Big Bang. A medida que el Universo se enfrió y la temperatura cayó por debajo de un valor crítico, un campo de fuerza invisible llamado el "campo de Higgs" se formó junto con el correspondiente "boson de Higgs". El campo prevalece en todo el cosmos: todas las partículas que interactúan con él se dan a través de una masa del boson de Higgs. Cuanto más se relacionan, más pesadas se convierten, mientras que las partículas que interactúan nunca se quedan sin masa alguna.

Esta idea dio una solución satisfactoria y bien equipada con las teorías establecidas y fenómenos. Pero hasta el momento no ha sido observado el boson de Higgs en un experimento, para poder



confirmar la teoría. El problema técnico es que no se sabe la masa del boson de Higgs en sí, lo que hace más difícil de identificar. Los físicos tienen que buscarlo entre una serie de masas entre las que se supone ha de existir. La gama aún inexplorado, se ha hecho accesible mediante el Gran Colisionador de Hadrones del CERN, el cual podría determinar la existencia del boson de Higgs.

Podemos apreciar que la importancia de esta partícula es fundamental para la complementación del Modelo Estándar de la Materia y contribuiría a la fundamentación de la teoría unificadora de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, llamada Teoría de Cuerdas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todo lo anterior nos plantea una pregunta fundamental ¿Cuál es la esencia o realidad objetiva del boson de Higgs y de su campo? O simplemente es una partícula hipotética exótica que los científicos crearon con una complejidad que se aleje de la comprensión de la mayoría, de tal manera que su realidad esté supeditada a su incomprensión y no a una objetividad comprobable.

PROPÓSITO

La siguiente investigación documental pretende dar información acerca del Modelo Estándar de la Materia y su predicción de la existencia del Boson de Higgs, gracias a los grandes avances tecnológicos actuales, así como su papel fundamental en la Teoría de cuerdas y en nuestra concepción del Universo.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una investigación documental sobre el Modelo Estándar de la Materia y su predicción de la existencia del Boson de Higgs, así como su papel fundamental en la Teoría de cuerdas



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Enunciar las características fundamentales del Modelo Estándar de la materia.

Desarrollar de manera explícita y clara los argumentos que justifican la hipótesis de la existencia del Boson de Higgs y de su campo.

Establecer la relación entre la Teoría de Cuerdas y el Boson de Higgs.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

I. Se realizará una investigación bibliográfica y hemerográfica:

- 1) De los postulados del Modelo Estándar de la Materia y la clasificación de las partículas subatómicas que constituyen a todas las componentes del Universo
- 2) Del origen teórico del Boson de Higgs, su lugar e importancia en el Modelo Estándar de la Materia.
- 3) De las razones por las que la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica son incompatibles y el papel de la Teoría de Cuerdas como unificadora de estas.
- 4) De las consecuencias de la existencia del Boson de Higgs como justificación fundamental de la validez de la Teoría de cuerdas.

II. Se analizará la información para plantear y justificar la realidad teórica del Boson de Higgs.

MARCO TEÓRICO

Para poder adentrarnos a este, por demás interesante tema, primero, necesitamos tener una comprensión sobre las razones e implicaciones existentes para buscar algo, en principio, tan abstracto como lo son las fuerzas necesarias para poder entender el comportamiento del universo, en niveles que son totalmente imperceptibles para todos los sentidos humanos.

En principio todos los conocimientos actuales reconocidos por la física como “verdaderos” han sido dilucidados a través de teorías. Así es, primero se ha llegado a una teoría abstracta que en el papel



sea matemáticamente correcta y posteriormente se ha intentado demostrar en base a la experimentación el hecho de que esta teoría sea compatible con el mundo físico. Esta tarea, la de la demostración experimental, se ha ido haciendo cada vez más complicada debido a la dificultad para medir los sucesos sobre los cuales tenemos nuestra atención puesta, pues en estos; se manejan escalas demasiado pequeñas, extremadamente rápidas y en tiempos exageradamente cortos. Debido a estas dificultades la gente común pone muchas veces en tela de juicio la practicidad de estos conocimientos, además de si realmente es necesario adquirirlos y posteriormente intentar comprobarlos.

A estas interrogantes se les debe responder de manera rotunda para que no se deje lugar a dudas. La respuesta que se obtiene es SI, esto si es necesario e incluso tiene aplicaciones prácticas, aunque es verdad que no a corto plazo, se puede asegurar que las tendrá de mediano a largo plazo, pues cada nuevo descubrimiento de la física (muchos de estos descubrimientos, al igual que los que nos conciernen actualmente sin un uso práctico a corto plazo) nos han ayudado a poder desarrollar tecnologías que hoy parecen esenciales para la sociedad. Por citar un ejemplo claro de esto. Las investigaciones llevadas a cabo por Christian Oersted, André-Marie Ampère y Michael Faraday en el siglo pasado sentaron las bases para lo que posteriormente Maxwell sintetizaría y denominaría efecto electromagnético, dentro de este efecto fue postulada la existencia teórica de las llamadas ondas electromagnéticas; las cuales en principio no tenían aplicación práctica pues eran puramente teóricas, hasta que con los experimentos de Hertz no quedo lugar a duda sobre su existencia. Y así después de un proceso en principio puramente teórico se pudo llegar a una comprobación experimental al parecer sin aplicación, hecho evidentemente erróneo. Pues al haberse entendido y demostrado la existencia de estas ondas se dio inicio con las comunicaciones inalámbricas, comunicaciones que actualmente, se usan diariamente por infinidad de personas y empresas alrededor del mundo; y por lo tanto, consideradas indispensables para (como anteriormente se mencionó) la sociedad actual.

Si esta aplicación práctica no llegara a ser suficiente para la necesidad de adquirir estos novedosos conocimientos, queda otra razón de gran peso para realizar estas investigaciones. Esta razón no es

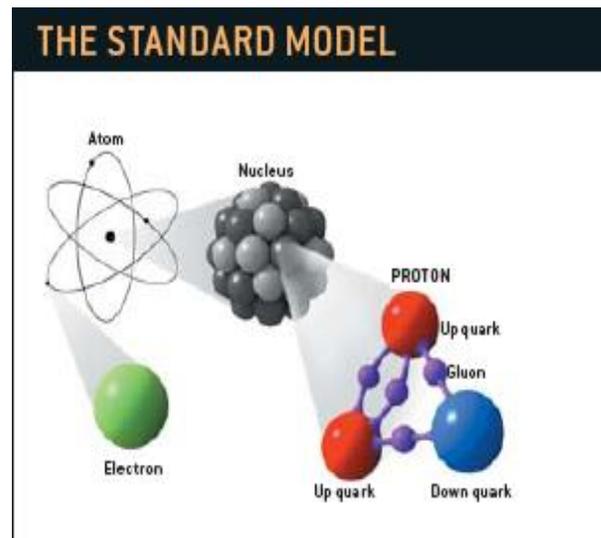


otra que la curiosidad intrínseca del ser humano. Desde que el hombre apenas es un infante, este demuestra una sed innata de conocimientos, prueba factible de ello es el hecho de que siempre está probando cosas nuevas, se podría decir "experimentando" con los objetos y situaciones de su vida cotidiana, hecho que le será de mucha ayuda a lo largo de su vida pues aprenderá las actividades básicas para su correcto desarrollo (tales como hablar, caminar, realizar operaciones matemáticas); esta curiosidad innata del ser humano no puede ser dejada de lado jamás, pues, es esta, 1888 la que nos ha llevado a la realización de preguntas (por citar un ejemplo: el porqué del movimiento de los planetas) que a su vez nos han llevado a teorías; que como vimos anteriormente; nos han llevado a el desarrollo de tecnología practica a través de estos conocimientos adquiridos. Esto sin mencionar el hecho de que, al ser el único ser racional conocido, se puede llegar a tener una carga de "deber", pues somos los únicos capaces, dilucidar los grandes misterios que nos plantea el vasto universo en el cual nos encontramos.

Definido este punto y resuelto el problema del porque adquirir estos nuevos conocimientos nos debemos de adentrar en el tema central de nuestra investigación. La relación del boson de Higgs con la teoría de cuerdas.

MODELO ESTÁNDAR

En los últimos 35 años, los físicos que se dedican al estudio de las partículas han contribuido a establecer el Modelo Estándar de la Física de Partículas que describe a la perfección la estructura y el comportamiento de la materia a un nivel de un 1×10^{-18} metros, pero ¿Qué es el modelo estándar? El modelo estándar es una teoría matemática comprensiva que identifica las partículas básicas y cómo interactúan; según ésta, hay cerca de 300 partículas, detectadas por



aceleradores/colisionadores o rayos cósmicos, las cuales se agrupan en leptones, quarks, bariones y mesones. Los componentes elementales de la materia son: seis tipos de leptones (electrón, muón, tau, neutrino del electrón, neutrino del muón y neutrino del tau) y seis de quarks (quarks up, quark Down, quarks charm, quark extraño, quark bottom y quark top). Los últimos tienen una propiedad llamada color, el cual es una carga asociada a la interacción nuclear fuerte; está envuelta en la teoría de Gauge más conocida como cromodinámica cuántica. Los quarks, al ser fermiones, deben seguir el principio de exclusión de Pauli, la cual implica que los tres quarks de un barion deben estar en una combinación antisimétrica. Esto indica que existe otro número cuántico interno, a éste se le llama color.

Otras partículas básicas compuestas, es decir, que contienen estructura interna, son los hadrones; compuestos por: bariones (formados por tres antiquarks) y mesones (formados por pares de quarks-antiquarks). Todas estas partículas son reales ya que contienen masa.

	Debido a la carga	Campo que crea	Fuerza que ejerce	Transmitida por
Electromagnética	eléctrica	electromagnético	electromagnética	fotones
Fuerte	color	fuerte	fuerte	gluones
Débil	débil	débil	débil	Partículas "w" y "z"
Gravitacional	masa	gravitacional	gravitacional	gravitones

Nombre	Familia	Masa	Sabor	Carga	Espín	Año de descubrimiento
Arriba (up)	1ª	1,5- 4,0 MeV	$1/3$	$+2/3$	$+1/2$	1964
Abajo (down)	1ª	4-8 MeV	$1/3$	$-1/3$	$-1/2$	1968
Extraño	2ª	80-130 MeV	-1	$-1/3$	$-1/2$	1964



(strange)						
Encantado (charm)	2 ^a	1.150-1.350 MeV	1	+2/3	+1/2	1971
Fondo (bottom)	3 ^a	4.100-4.400 MeV	-1	-1/3	+1/2	1995
Cima (top)	3 ^a	170.900 MeV	1	+2/3	+1/2	1995

PARTÍCULAS ELEMENTALES

Se agrupan en 3 generaciones con propiedades similares. Aunque estos son suficientes para construir toda la materia existen otros tipos de quarks como el extraño (igual que el abajo pero con mayor masa), el quark fondo, quark encanto y cima son versiones más pesadas de quarks arriba. El Electrón posee dos hermanos inestables y de mayor masa, los leptones mu y tau con la misma carga que el electrón. Generaciones; la primera incluye a los quarks de arriba y abajo, el electrón y el neutrino (todo lo que necesitamos para explicar el universo), la segunda tiene versiones más masivas de las partículas de la primera generación y la tercera tienen las versiones de mayor masa. Los quarks y los leptones son carentes de subestructura, esto deja la posibilidad de que las distintas generaciones aparezcan como consecuencia de la estructura interna de los quarks y leptones Hay dos tipos de preones unos con carga $-1/3$ y carga nula. Los quarks y leptones son combinación de 3 preones. El quark arriba está formado por dos preones de carga $-1/3$ y uno de carga nula

Los quarks y los leptones: poseen un tamaño nulo o entre 0,0002 y 0,0001 el tamaño del protón y carecen de estructura interna. Los leptones están rodeados por una nube de partículas virtuales que aparecen y desaparecen.

Sin embargo dicho modelo contiene varios defectos:



Primero: No contempla en varias partes la teoría de la Relatividad General de Einstein de las características del espacio-tiempo y de su interacción con la materia, esta teoría describe de muy buena manera a una cuarta fuerza no incluida en el modelo estándar, nos referimos a la gravedad. El Modelo Estándar es una teoría cuántum-mecánica, y por lo tanto sus predicciones se analizan en una escala muy pequeña, la ausencia de una descripción de la gravedad en escalas tan pequeñas nos dice que el modelo está incompleto.

Segundo: Aunque describe con éxito una gran cantidad de datos con ecuaciones muy simples, el modelo estándar tiene muchas coincidencias y arbitrariedades, por ejemplo, no indica por qué hay seis quarks y seis leptones, tampoco explica porque existe el mismo número de leptones y de quarks.

Tercero: El modelo estándar tiene un elemento no comprobado, es decir, el bosón de Higgs.

¿Por qué surgió la idea del boson de higgs?

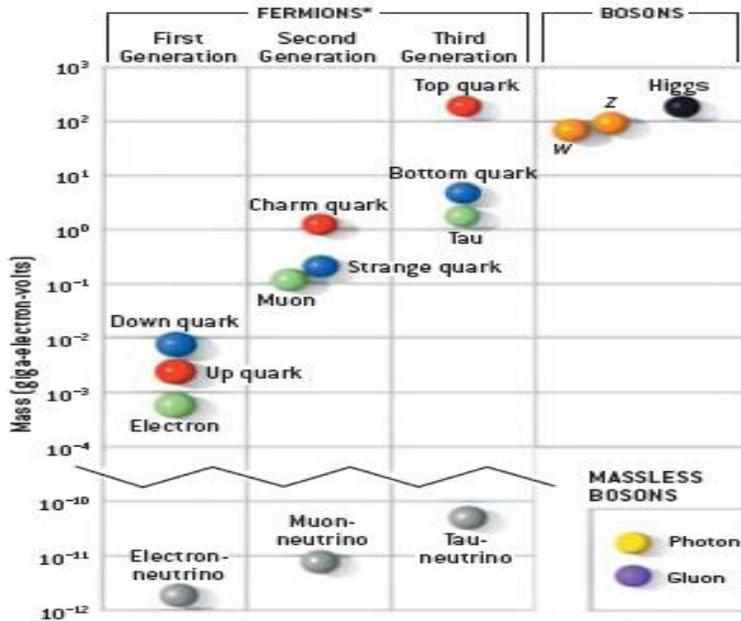
La idea surge a partir de la pregunta, ¿Qué es la masa?, es una pregunta muy general, pero la masa es una propiedad que se presenta en toda la materia que compone el Universo, y por lo tanto los físicos han estado en busca de la razón de ser de su presencia, aunque anteriormente los físicos antiguos le dieron poca importancia, en la actualidad, nos hemos dado cuenta de la importancia que pudieran tener esta definición, y ha estado evolucionando este concepto, desde la hipótesis de que la materia estaba compuesta por átomos, hasta adentrarnos a la composición de estos y descubrir que dentro de ellos hay protones, neutrones y electrones, en la actualidad existe toda una zoología de partículas. Pero ¿de qué están hechos los quarks, ¿podrían los quarks no poseer dimensión? ¿su tamaño y radio serían cero? Toda la materia que nos rodea está formada por energía, que se ha solidificado en forma de partículas. ¿Por qué la materia de lo que estamos hechos, se comporta de esa manera? Los estudios sobre la materia nos han revelado que todo es casi "vacío", todo en el Universo es espacio vacío con unas pequeñas porciones de materia que flotan en la nada. ¿Y de qué forma, estas pueden dar nacimiento a formas y estructuras? En sí, ¿Por que todo es sólido? ¿Debe existir "algo" que mantenga todo cohesionado? ¿Algo en el océano de ese gran vacío? Pero, ¿Qué es ese algo? Existía un agujero en el Modelo Estándar de la Física de Partículas, aunque esta es una de las mejores teorías de la ciencia. El Modelo Estándar se comprobó que era correcto, una y



otra vez, durante los últimas cuatro décadas. Pero existe un problema con esta teoría: Para ello, debemos regresar al Zoológico de Partículas, extrañas partículas que aparecen cuando se destruye un protón para ver su interior. Las partículas subatómicas tienen diversos pesos o masa.

EL CAMPO DE HIGGS

Fueron el belga François Englert, el americano Robert Brout y el inglés Peter Higgs los que descubrieron que la superconductividad podría ser importante para las partículas elementales. Propusieron un modelo de partículas elementales en el cual partículas eléctricamente cargadas, sin espín, sufrían una condensación de Bose. Esta vez, sin embargo, la condensación no tenía lugar en el interior de la materia sino en el vacío. Las fuerzas entre partículas tenían que ser elegidas de tal manera que se ahorrara más energía llenando el vacío de estas partículas que dejándolo vacío. Estas partículas no son directamente observables, pero podríamos sentir este estado, en cuyo espacio y tiempo están moviéndose las partículas de Higgs (como se las conoce ahora) con la mínima energía posible, como si el espacio tiempo estuviera completamente vacío.



Las partículas de Higgs, que se supone servirán para dar masa a las demás partículas, son los cuantos del campo de Higgs.

Lo que propone la física contemporánea teórica es que masas de partícula fundamentales provienen de interacciones con el campo de Higgs. ¿Pero por qué el campo de Higgs está presente en todas partes del universo? ¿Por qué no es su fuerza esencialmente cero en escalas cósmicas, como campo electromagnético?

¿Qué es el campo de Higgs?

El campo de Higgs es un campo cuántico. Puede parecer misterioso, pero el hecho es que todas las partículas elementales surgen como los cuántums de un correspondiente campo cuántico. El campo electromagnético es también un campo cuántico (su partícula correspondiente elemental es el fotón). Tan en cuanto a esto, el campo de Higgs no es más enigmático que electrones y luz. El campo de Higgs se diferencia de todos los otros campos cuánticos de tres modos cruciales.

La primera diferencia es algo técnico. Todo el campo tiene una característica llamada el spin, una cantidad intrínseca de ímpetu angular que es llevado por cada una de sus partículas.

Las partículas como electrones tienen el spin $\frac{1}{2}$ y la mayor parte de las partículas asociadas con una fuerza, como el fotón, tienen el spin 1. El boson de Higgs tiene el spin 0. Las partículas asociadas al campo de Higgs son los bosnes Higgs. En el modelo estándar no puede predecirse la masa de ninguna partícula a partir de primeros principios, ni siquiera la del bosón Higgs. Pero se pueden usar otras medidas para calcular algunas masas.

La segunda característica única del campo de Higgs explica cómo y por qué esto tiene la fuerza no nula en todas partes del universo. Cualquier sistema, incluyendo un universo, caerá en su estado de energía más bajo. Para los campos familiares, como el campo electromagnético que nos da emisiones de radio, el estado más bajo de energía es aquel en el que los campos tienen valor de cero, es decir, desaparecen los campos, si los hubiera distinto de cero sobre el terreno, se introduce la



energía almacenada en el campo y aumenta la energía neta del sistema. Pero para el campo de Higgs, la energía del universo es menor si el campo no es cero sino que tiene un constante valor distinto de cero. Esto es, en su estado natural (más bajo estado de energía), el universo está impregnado distinto de cero a lo largo de un campo de Higgs.

La característica distintiva final del campo de Higgs es la forma de sus interacciones con las otras partículas. Partículas que interactúan con el campo de Higgs se comportan como si tuvieran masa, proporcional a la fuerza de las veces el campo de fuerza de la interacción. Nuestra comprensión de todo esto no se ha terminado aún, sin embargo, no estamos seguros de cómo muchos tipos de campos de Higgs existen.

A pesar de que el Modelo Estándar sólo requiere un campo de Higgs para generar todas las masas de las partículas elementales, los físicos saben que el Modelo Estándar debe ser reemplazado por una teoría más completa. Los contendientes principales son extensiones del Modelo Estándar conocido como Modelo Estándar Supersimétrico (SSMs). Con el Modelo Estándar Supersimétrico, al menos dos diferentes tipos de campos de Higgs se necesitan. Interacciones con esos dos dan masas a los campos del Modelo Estándar de partículas. También se dan algunos (pero no todos) a la masa de los superpartners. Los campos de Higgs dan lugar a 5 especies del Boson de Higgs: tres que son eléctricamente neutrales y dos que están cargados. Las masas de partículas llamadas neutrinos, que son pequeños en comparación a masas de otras partículas, podrían surgir más bien indirectamente de estas interacciones o aún de un tercer tipo de campo de Higgs.

El basamento de Higgs nos plantea que un campo inmenso, que se extiende al infinito, lo recorre todo. Cuando cierto tipo de partículas interactúan con el campo, esa misma interacción, es la que le da masa a esas partículas.

TEORÍA DE LA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD



En las décadas anteriores a la formulación de la teoría de la relatividad especial, la comunidad científica se encontraba en un grave aprieto. Dos de las ramas principales de la física de ese entonces, la electrodinámica (propuesta por Maxwell) y la mecánica (propuesta por Newton) parecían ser contradictorias con respecto a los sistemas de referencia con respecto a los cuales se hacían las medidas.

Dentro de la mecánica existía entonces un principio conocido como el principio de relatividad galileano, el cual estipula que:

-"Dentro de un espacio en reposo, todas las leyes de la mecánica son las mismas que se tendrían si el espacio estuviese moviéndose en línea recta uniformemente"

Así, no existe entonces un sistema de referencia "absoluto" o "natural" con respecto al cual realizar las mediciones experimentales. Todos los sistemas de referencia pueden resultar igualmente válidos, ya que las leyes de la mecánica se aplican de la misma forma para todos los sistemas.

Sin embargo en la electrodinámica la situación era bastante diferente, ya que se observaba que sí pareciese existir un sistema de referencia absoluto con respecto al cual realizar mediciones. En especial, se observaba que la luz parecía moverse a una única velocidad con respecto a este sistema absoluto.

Para resolver el problema existían entonces 3 únicas posibilidades:

1. Existe un principio de relatividad para la mecánica pero no para la electrodinámica, en la cual sí existe un sistema de referencia preferido al cual llamaremos éter.
2. Existe un principio de relatividad tanto para la electrodinámica como para la mecánica, pero las ecuaciones que rigen la electrodinámica están mal y deben ser corregidas.
3. Existe un principio de relatividad tanto para la electrodinámica como para la mecánica, pero las ecuaciones que rigen la mecánica están mal, y deben ser corregidas.



A partir del desarrollo de estas 3 opciones surgieron muchas teorías que se basaban en alguna de las opciones anteriores. Resultó sin embargo que la opción correcta era la 3, es decir, las leyes de la mecánica propuestas por Newton están mal. Debe entonces encontrarse una reformulación correcta de la mecánica clásica, dando lugar así a un principio de relatividad que se aplique a toda la física conocida (incluyendo ambas, mecánica y electrodinámica). Éste fue el nacimiento de la teoría de la relatividad especial.

Para desarrollar su teoría Einstein se basó en 2 postulados clave:

1. Las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas inerciales. No existe un sistema preferencial (Principio de la relatividad)
2. La velocidad de la luz en el vacío tiene el mismo valor c para todos los sistemas inerciales (Principio de la constancia de la velocidad de la luz)

El primer postulado impone la no existencia de sistemas preferenciales a toda la física, no únicamente a la mecánica como el principio de relatividad galileano. Es decir, la medida de cualquier cantidad física sobre un cuerpo (tal como velocidad, posición, e incluso masa) se hace con referencia al sistema en el cual se está midiendo, el cual es escogido arbitrariamente (un sistema de referencia usual es, por ejemplo, el laboratorio) y es relativa el sistema de referencia mismo. Estas mismas medidas realizadas sobre el mismo cuerpo, pero a partir de un segundo sistema de referencia, podrían, por ejemplo, resultar diferentes a las obtenidas al medir en el primer sistema. Sin embargo la forma en la que estas cantidades se relacionan (a través de las leyes de la física) deberá permanecer siempre válida en cualquier sistema de referencia que tomemos.

Las siguientes son conocidas como las ecuaciones de Lorentz (de hecho fue Lorentz quien las dedujo primero, sin embargo no les dio la interpretación correcta dentro de su teoría)

$$x' = \gamma(x - vt) \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Toda la teoría de la relatividad especial se puede derivar utilizando únicamente las ecuaciones de Lorentz, estas ecuaciones nos permiten encontrar las medidas en el sistema S' si conocemos las medidas realizadas en el sistema S.

Es importante advertir la presencia del factor γ dentro de las ecuaciones. Este factor caracteriza la relatividad especial y resulta fundamental para comprender la relevancia de los efectos relativistas.

Notemos que:

Si v es mucho menor que c entonces $\gamma \approx 1$. Si v es cercano a c entonces $\gamma \rightarrow \infty$

Así, siempre se cumple que $\gamma \geq 1$.

Dilatación Temporal: Notemos el caso $x = 0$ en la transformación de Lorentz de t' . Este tiempo se

$$t_p = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

llama el tiempo propio en S' y se escribe

De esta ecuación podemos observar algo asombroso. El tiempo en el sistema S y S' ¡no son iguales!, de hecho el tiempo medido en el sistema S (es decir el sistema en reposo relativo) es siempre más grande que el tiempo medido en el sistema S'(sistema en movimiento relativo). Este efecto se llama dilatación temporal y es observado por ejemplo por una persona sobre la tierra (sistema S) que compare su reloj con otra persona que realizado un viaje espacial en una nave (sistema S') capaz de viajar a velocidades cercanas a la de la luz ($v \approx c$) (como se puede apreciar en la ecuación la diferencia entre t y t' solo es considerablemente grande en este margen, ya que para el caso $v \ll c$

tenemos $\frac{v^2}{c^2} \approx 0$).

Nótese también que en el caso que el sistema S' no se mueva con respecto al sistema S ($v=0$), sus tiempos son iguales ($t'=t$).

Contracción Espacial (de Lorentz)



Supongamos ahora que ya no queremos la longitud de un determinado objeto en ambos sistemas de referencia S (sistema en reposo relativo) y S' (sistema en movimiento relativo) y comparar estas dos cantidades. Con este fin podemos manipular las ecuaciones de Lorentz mostradas arriba para llegar finalmente a una relación entre la longitud observada en S y la longitud observada en S'

$$L = L' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

De esta ecuación podemos deducir que para un observador en reposo, la longitud L' de una varilla medida por un observador en movimiento (en S') aparece contraída un factor de $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ con respecto a lo medido por el observador en movimiento. Para ilustrar este principio consideremos dos observadores, uno fijo en la tierra y otro viajando en una nave espacial de longitud (medida con la nave en reposo) L', usando el observador en la tierra vea la nave espacial moverse frente a él, observara que tiene una longitud L menor a la medida cuando la nave estaba en reposo (L'). Este efecto se llama la contracción de Lorentz

Relación masa-energía

A partir de las transformaciones de Lorentz enunciadas arriba es posible desarrollar un análogo relativista a toda la mecánica Newtoniana, siendo la mecánica relativista una generalización de la mecánica Newtoniana. Sin embargo bajo este nuevo enfoque si aparecen conceptos nuevos, intrínsecos a la teoría misma y que no están presentes en la mecánica Newtoniana. Uno de ellos es el concepto de energía en reposo E_0 , un tipo de energía que está asociada únicamente a la masa de un objeto, y es independiente de la velocidad de la misma.

Esta relación se conoce como la relación de equivalencia masa-energía y se escribe

$$E_0 = mc^2$$



Esta relación nos dice que una cantidad pequeña de masa contiene una cantidad gigantesca de energía. Siendo así la masa una forma condensada de energía.

Así, resulta posible convertir una cantidad determinada de masa en energía pura, o una cantidad determinada de energía en masa.

Si se quiere considerar la energía total E de un cuerpo debe entonces utilizarse la expresión para la energía total, también derivada por Einstein y la forma generalizada de la expresión anterior.

$$E = \gamma mc^2$$

TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

Principio de covariancia

El principio de covariancia es la generalización de la teoría de la relatividad especial, donde se busca que las leyes físicas tengan la misma forma en todos los sistemas de referencia. Esto último equivale a que todos los sistemas de referencia sean indistinguibles, y desde el punto de vista físico equivalentes. Ésta fue la principal motivación de Einstein para que estudiara y postulara la relatividad general.

Principio de equivalencia

El punto de partida de la teoría general de la relatividad es el denominado principio de equivalencia, el cual postula: Un campo gravitacional uniforme en una dirección dada, es indistinguible de una aceleración uniforme en la dirección opuesta. Poniendo como ejemplo la clásica manzana cayendo hacia la Tierra, Einstein explica que esta se comportaría de idéntica manera si fuera la Tierra la que se acerca a ella.

Espacio curvo



Einstein introdujo el concepto de espacio curvo y, la teoría general de la relatividad es, entonces, una teoría geométrica de la gravitación o geometro-dinámica. El espacio curvo es lo que permite explicar a la gravedad. Esta no ocurre porque sea una "fuerza" que nos jala. Se dice, por ejemplo, que el peso de los cuerpos se debe a que la gravedad "jala", a esos cuerpos, hacia el centro de la Tierra y, eso, es lo que nos mantiene unidos a la superficie terrestre en vez de andar "flotando" por los aires sin control. Eso es parcialmente cierto. Pero no es que exista esa fuerza que nos "jala". Lo que ocurre es que los cuerpos, debido a su masa, curvan el espacio y eso da lugar a diferentes manifestaciones, incluida la percepción del peso de los cuerpos.

Antes de Einstein se creía que los planetas giraban alrededor del Sol debido a la "fuerza" gravitacional que el Sol ejercía sobre los distintos cuerpos planetarios. Pero lo que ocurre es que el Sol, que tiene una masa enorme comparada con los planetas, "deforma" al espacio, lo curva, precisamente debido a su gran masa. El espacio "deformado" obliga a los planetas a girar alrededor del Sol.

Como la gravedad no es la que empuja a la Tierra alrededor del Sol sino que éste deforma al espacio alrededor de él, es el espacio curvado el que hace mover a la Tierra alrededor del Sol. Lo mismo ocurre con la luz, ésta es desviada al pasar cerca de un cuerpo masivo como consecuencia de la deformación del espacio creada por ese objeto de gran masa.

En la teoría general de la relatividad el movimiento todos los objetos en el universo se da mediante una curva llamada geodésica, es decir, un objeto se mueve a lo largo de una geodésica de espacio-tiempo, estas geodésicas son líneas curvas de cuatro dimensiones. Localmente, una geodésica aparece como línea recta pero, a gran escala, se observan curvadas debido a la deformación del espacio-tiempo.

Debido a que se plantea un espacio-tiempo entrelazado, se ha deducido que la presencia de una masa no solo curvaba el espacio, sino, también el tiempo.



El colapso de las estrellas

Cuando un cuerpo tiene una masa muy grande, como las estrellas masivas, al evolucionar aumenta su densidad. Los cuerpos muy densos deforman completamente al espacio, lo “desgarran” y se dice que colapsan. El espacio-tiempo de esos objetos forma un agujero negro que, debido a su gran densidad, absorbe todo incluso a la luz y nada puede escapar.

Actualmente se sabe que en el universo existen muchos agujeros negros, los que no se ven pero su existencia se conoce por sus efectos gravitacionales. En el centro de las galaxias se considera que existen las condiciones adecuadas para la presencia de agujeros negros masivos.

El universo está en expansión. Alexander Friedmann, notable matemático, al resolver las ecuaciones de Einstein encontró que describían un universo en movimiento. Inicialmente, esa idea fue rechazada por el propio Einstein quien creía en un universo estático, sin movimiento. Sin embargo, en 1929, Edwin Hubble, astrónomo norteamericano, había observado en el Observatorio de Monte Wilson que las galaxias parecían alejarse de nosotros, confirmando la expansión del espacio como predecían las ecuaciones de Einstein.

RESULTADOS

A lo largo de aproximadamente una década, Einstein echó abajo todo el marco newtoniano, que había estado vigente durante siglos, y proporcionó al mundo un modo más profundo, radicalmente nuevo, de entender la gravedad. Sin embargo toda su teoría de relatividad general estaba basada en los avances matemáticos de un hombre, George Bernhard Riemann, que construyó sólidamente el aparato geométrico necesario para describir los espacios curvos de dimensiones arbitrarias, Riemann rompió las cadenas del espacio plano euclídeo, ideó y pavimentó el camino hacia un tratamiento



matemático igualitario de la geometría en todo tipo de superficies curvas. Pero ahora, casi un siglo después de la hazaña de Einstein, la teoría de cuerdas nos ofrece una descripción de la gravedad en el marco de la mecánica cuántica, que, necesariamente, modifica la relatividad general cuando las distancias implicadas se vuelven tan cortas como la longitud de Planck. Mientras la relatividad general afirma que las propiedades curvas del universo se describen mediante la geometría de Riemann, la teoría de cuerdas sostiene que esto es verdad sólo si examinamos la estructura del universo a escalas suficientemente grandes. A escalas tan pequeñas como la longitud de Planck, debe emerger una nueva geometría que se ciña a la nueva física de la teoría de cuerdas. Ese nuevo marco geométrico se llama geometría cuántica. Para ello se debe dejar atrás la concepción tradicional de una partícula puntual ya que para la teoría de cuerdas no existe, lo cual es un elemento esencial de su capacidad para proporcionarnos una teoría cuántica de la gravedad. Ya que en el modelo geométrico de Riemann utilizado por Einstein, para explicar la gravedad, solo fue a un nivel macroscópico. ¿Pero cómo hace la teoría de cuerdas para modificar todo esto? Hay pruebas de que la teoría de cuerdas establece una vez más un límite inferior para las escalas de distancias físicamente accesibles y, de un modo asombrosamente innovador, proclama que el universo no puede ser comprimido hasta un tamaño inferior a la longitud de Planck en ninguna de sus dimensiones espaciales. Después de todo, podríamos argumentar que, independientemente de cuántos puntos apilemos unos encima de otros -es decir, partículas puntuales- el total de sus volúmenes combinados siempre es cero. Por el contrario, si estas partículas son realmente cuerdas, plegadas juntas con unas orientaciones completamente aleatorias, llenarían una burbuja de tamaño no nulo, aproximadamente como una bola del tamaño de Planck que contendría una maraña de cintas de goma. Estas características sirven para poner de relieve, de una manera concreta, la nueva física de las cuerdas que entra en juego, y también el impacto resultante que esta física produce en la geometría del espacio-tiempo. Para entender mejor sus características tenemos que plantear un universo con forma de manguera pero con solo dos dimensiones, en donde si las partículas fueran cuerdas se moverían casi igual que las partículas puntuales pero les proporcionarían características tales como masa y cargas de fuerza, al igual que, la cuerda puede envolver la parte circular del espacio cualquier número de veces, a diferencia de una partícula puntual que no lo haría, y de nuevo ejecutará un movimiento oscilante mientras se desliza. Una cuerda enrollada tiene una masa



mínima, determinada por el tamaño de la dimensión circular y el número de veces que envuelve a ésta. El movimiento oscilatorio de las cuerdas determina una contribución superior a este mínimo. No es difícil comprender el origen de esta masa mínima. Una cuerda enrollada tiene una longitud mínima determinada por la circunferencia de la dimensión circular y el número de veces que la cuerda la circunda. La longitud mínima de una cuerda determina su masa mínima: cuanto más larga es, mayor es la masa, puesto que hay más cantidad de cuerda. Dado que la longitud de una circunferencia es proporcional a su radio, las masas mínimas en el modo de enrollamiento son proporcionales al radio del círculo que envuelve la cuerda. Utilizando la fórmula de Einstein $E = mc^2$, donde se relaciona la masa y la energía, podemos decir también que la energía asociada a una cuerda envolvente es proporcional al radio de la dimensión circular. La teoría de cuerdas reescribe las leyes de la geometría de las distancias pequeñas, de tal modo que lo que previamente parecía ser un colapso cósmico total se ve ahora como un salto cósmico. La dimensión circular puede reducirse hasta la longitud de Planck, pero, debido a los modos de enrollamiento, los intentos de seguir reduciéndose dan como resultado real una expansión.

El modelo estándar de la materia es una teoría que trata de clasificar las partículas más elementales en base a las cuales se crea la materia; estas partículas son leptones, quarks y hadrones. Sin embargo hemos encontrado un nuevo postulado que habla de una partícula que sirve de sub-componente de quarks y leptones, llamada preón. Esta teoría nació gracias a la necesidad de encontrar partículas aún más elementales que expliquen las constantes arbitrarias del modelo estándar.

CONCLUSIONES

Einstein echó abajo el solo todo el marco newtoniano, el cual había estado vigente durante siglos y proporciono al mundo un nuevo modo, más profundo y demostrable de entender la gravedad. Esto lo hizo por medio de los nuevos descubrimientos matemáticos de su época, sobre todo los de George Bernhard Riemann que construyó el aparato geométrico con el cual Einstein pudo darle forma a su teoría de la relatividad general, en la cual se explican las propiedades curvas del espacio-tiempo a nivel macroscópico mediante la geometría desarrollada por Riemann, pero a escalas tan pequeñas



como la longitud de Planck no logra explicar satisfactoriamente como interactúa la gravedad a estos niveles. Por lo que ha surgido un nuevo marco geométrico que pretende explicar los efectos de la gravedad a este nivel, a esta nueva geometría se le llama geometría cuántica. Pero para explicar estos efectos satisfactoriamente, se debe eliminar el concepto tradicional de partícula puntual e incluir un concepto nuevo, el de cuerda en lugar de punto. Con estos nuevos conceptos se dio lugar a una nueva teoría denominada teoría de cuerdas.

La relación que hemos encontrado entre esta teoría y el boson de Higgs, es que al lograrse estudiar a fondo la interacción que este boson mantiene con las dimensiones temporo espaciales, se podría confirmar la existencia de mas dimensiones que las cuatro aceptadas por la física actual, además de que podría comprenderse la razón de ser de la masa, que es la propiedad fundamental de las partículas materiales, lo cual permitiría comprender la posibilidad de interpretar a estas partículas como partículas de energía haciendo posible la veracidad de la teoría de cuerdas. Propiciando un gran paso en nuestra perspectiva de nuestro Universo, o hacernos cambiar por completo nuestra percepción actual.

BIBLIOGRAFÍAS

Hemerográficas:

- HOOFT GERARD; *Partículas elementales: En busca de las estructuras más pequeñas del universo*; Editorial Crítica Barcelona; España 2001; pp 97,98
- *Los misterios de la masa*, Scientific American: The frontiers of physics February 20, 2006
- *Large Hadron Collider*, Scientific American: Edge of physics, Mayo 31, 2003
- Kittel Charles, Walter D. Knight, et al. (1989) MECÁNICA VOL. IV. Reverté. México D.F.
- Green Brian. (2001) EL UNIVERSO ELEGANTE. Critica. Nueva York. 167-190pp.
- Einstein Albert. (1916) SOBRE LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y GENERAL.
- March Robert (2008) FÍSICA PARA POETAS. Siglo XXI. México D. F. 172-184pp.
- *El bosón Higgs*. Scientific American. Septiembre 2011



- *La vida interior de los Quarks. Scientific American. Enero 2013*

-

PÁGINAS DE INTERNET

- www.cern.ch
- <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>
- www.ucm.es/info/hcontemp/leoc/revolucion%20cientifica.htm
- <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modeloestandar.pdf>
- <http://fisica.ciens.ucv.ve/svf/Feiasofi/cromodinamica.pdf>

