

## **El Modelo Estándar de la Física de Partículas.**

Año mundial de la Física. Grupo de Interés especial CIENCIA.  
Santiago Cárdenas Martín.

Allá por el 450 a.e.c., Demócrito de Abdera propuso que toda la materia que forma la tierra y todo lo conocido estaba compuesta de pequeñas partículas indivisibles. Demócrito utilizó la palabra “átomo” (indivisible) para designar a estas supuestas partículas.

El hecho de que la materia no fuera continua, sino que estuviera compuesta por átomos es lo que se dió en llamar “la teoría Atómica”. A lo largo de los siglos, la teoría atómica tuvo muchos defensores y detractores. El trabajo que para muchos cerró definitivamente esta polémica, probando de forma incuestionable la teoría atómica, fue uno de los cinco artículos que Albert Einstein publicó en 1905.

Resulta curioso pensar que muy pocos años después se demostrara que tales átomos no eran indivisibles, sino que estaban formados por un núcleo central en el que residían dos tipos de partículas llamadas protones y neutrones y una capa externa de un tercer tipo de partículas llamadas electrones.

El descubrimiento de la estructura interna del átomo aclaró muchas cosas. En aquellos años la teoría electromagnética era ya bastante bien conocida y por ella sabíamos que los protones, que tenían una carga eléctrica de +1, se atraían con los electrones, que tenían una carga eléctrica de -1. Esto hacía, además, que el número de protones y electrones de un átomo tendiera a igualarse. Quedaba como un misterio, que tardaría todavía algunos años en ser resuelto, el porqué los protones y los neutrones permanecían unidos en el núcleo, cuando la fuerza electromagnética entre los protones debería hacer que se repelieran entre sí.

Muchos de los resultados de la Química empezaron a estar claros y a ser deducibles de la Física. Los diferentes elementos químicos que se conocían se caracterizaban por el número de protones en su núcleo. La tabla periódica cobraba un significado físico muy concreto.

Pero en aquellos años, la mecánica cuántica empezaba a complicar lo que parecía un elegante esquema de cómo estaba compuesta la materia. Los electrones, protones y neutrones se comportaban a veces como pequeños corpúsculos (“pelotitas”) y a veces como ondas. También se comprobó que la luz no era una radiación continua, sino que también estaba formada por unas partículas llamadas fotones, que también tenían este doble comportamiento onda-corpúsculo.

Entraremos en más detalle sobre este doble comportamiento de las partículas en otro artículo sobre Mecánica Cuántica; limitémonos ahora mismo a destacar que las partículas elementales son algo “muy extraño”. Aunque a veces nos podemos hacer la imagen mental de que son unas pelotitas, son algo mucho más complicado, algo que no alcanzamos a comprender aún.

El físico Paul Dirac estableció en 1931 que para toda partícula elemental tenía que existir una antipartícula, con idénticas propiedades pero con carga opuesta; concretamente, debía existir un anti-electrón. Puesto que no se conocía dicha partícula, Dirac pensó que tal vez el anti-electrón fuera el protón, a pesar de que no

cuadraba el que los valores de sus masas fueran tan diferentes. No se atrevía a asegurar la existencia de una partícula que nunca nadie había visto, aunque pocos años después, dicha partícula fue identificada y denominada positrón. Ante ese descubrimiento, Dirac dijo: “¡mi ecuación es más inteligente que su inventor!”

### **Un Zoo de partículas**

La Mecánica Cuántica establece cómo se comportan las partículas elementales y que las fuerzas se transmiten por unas partículas portadoras. Es decir, existen dos tipos de partículas: las que forman la materia, llamadas Fermiones (por el físico Enrico Fermi) y las que transmiten las fuerzas, llamadas Bosones (por el físico Santyendra Nath Bose). Sin embargo, la Mecánica Cuántica no nos dice nada sobre qué partículas y qué fuerzas son las que existen en la naturaleza, por lo que los físicos se lanzaron a inventarlas.

Las décadas de 1950 y 1960 fueron los años de florecimiento de los grandes aceleradores de partículas. En estos años, los físicos estaban muy desconcertados. Continuamente se descubrían nuevas partículas elementales y nos mostraban una imagen de la naturaleza sumamente complicada. Fermi dijo: “Si llego a adivinar esto, me hubiera dedicado a la botánica”.

Los aceleradores de partículas son grandes túneles, normalmente bajo tierra, algunos en línea recta y otros circulares, y a veces con longitudes de varias decenas de kilómetros. En un acelerador de partículas se aceleran partículas mediante campos magnéticos hasta acercarlas a velocidades muy próximas a la de la luz, para finalmente hacerlas chocar entre sí. Los hay de dos tipos según las partículas que aceleran: los que hacen chocar entre sí electrones con positrones y los que hacen chocar entre sí protones y antiprotones.

Uno de los mayores laboratorios de física de partículas del mundo es el CERN (Centro Europeo para la Investigación Nuclear), consorcio de varios países europeos entre los que está España, con sede en Ginebra, que cumplió su cincuenta aniversario el pasado año 2004. En el CERN se ha realizado una gran parte de los descubrimientos en física de partículas de los últimos años y, curiosamente, fueron los inventores de la web.

En 1970 en estos aceleradores se había encontrado todo un zoo de decenas de partículas como los piones y kaones. Finalmente, una teoría propuesta por Murray Gell-Man, por la que recibió el premio Nobel, simplificó totalmente el panorama postulando que existían unas partículas más elementales aún que los protones y neutrones que formaban a los mismos. Dichas partículas se denominan Quarks y pueden unirse de tres en tres para formar protones y neutrones o de dos en dos para formar otros muchos tipos de partículas, como los piones y kaones.

La fuerza gravitatoria y la fuerza electromagnética eran bien conocidas, pero para poder explicar cómo los neutrones y los protones están unidos entre sí, fue necesario postular una nueva fuerza llamada fuerza nuclear fuerte. Con el descubrimiento de los quarks fue posible establecer una teoría coherente de la fuerza nuclear fuerte, que tiene una extraña característica llamada “libertad asintótica” que impide que los quarks puedan ser vistos libremente. El premio Nobel

de Física de 2004 fue otorgado a los tres físicos que descubrieron esta propiedad de la fuerza nuclear fuerte en 1973: Gross, Politzer y Wilczek.

Además de estas tres fuerzas, existe una cuarta: la fuerza nuclear débil. Sin embargo, hoy en día contamos con una teoría que establece que las fuerzas electromagnética y nuclear débil son diferentes vistas de una única fuerza llamada electrodébil. La unificación de estas dos fuerzas está vista por muchos físicos como algo artificiosa, por lo que se siguen identificando como diferentes en muchas clasificaciones.

### **El modelo estándar**

Todos estos descubrimientos llevaron, en los años 70, a la formulación de una teoría, el Modelo Estándar de la Física de Partículas (MEFP, SM: Standard Model), que establece qué partículas y fuerzas existen en la naturaleza y cuáles son sus propiedades.

El MEFP incorpora lo que se supone es el conjunto total de partículas que forman nuestro universo y todos sus datos numéricos, a partir de los que utilizando la teoría cuántica de campos se puede calcular todo lo que queramos. Los valores numéricos del MEFP, cómo son la masa de las partículas y sus cargas, son datos que se han obtenido experimentalmente. En total, se han tenido que medir unas 20 cantidades para que la descripción del MEFP sea completa.

Uno de los valores que caracterizan a las partículas es su spin. El spin de una partícula es algo así como si fuera su momento magnético. Si las partículas fueran pequeñas esferas, el spin de una partícula sería el número de vueltas que hay que darle a la misma para que se quede como estaba. Por supuesto, las partículas no son pequeñas esferas, por lo que nadie puede dar una descripción exacta de lo que realmente es el spin, como pasa con otros muchos conceptos de la mecánica cuántica.

Lo interesante del spin es que diferencia claramente a las partículas que forman la materia (fermiones) de las que transmiten las fuerzas (bosones). Los fermiones tienen spin “entero +  $\frac{1}{2}$ ” ( $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{3}{2}$ ), y los bosones lo tienen “entero” (0, 1 ó 2).

El que el spin sea entero o no marca una importante diferencia de comportamiento entre bosones y fermiones. Las ecuaciones de la mecánica cuántica nos dicen que dos fermiones “no pueden estar juntos en el mismo estado”, mientras que dos bosones sí. Esto se utiliza en la práctica en el rayo láser, que es un conjunto de fotones acoplados comportándose como si fueran una única partícula.

El MEFP nos dice que los fermiones se descomponen en tres familias, y que cada una de ellas consta de un electrón, un neutrino y dos quarks. A los “electrones” de las otras dos familias se les llama “muón” y “tau” (partículas idénticas al electrón, salvo que de mayor masa). Además de estas 12 partículas, existen las correspondientes 12 antipartículas: positrón, antineutrino y antiquarks en cada una de las tres familias. Realmente, toda la materia que conocemos está formada por partículas de la primera familia; las partículas de las otras dos familias sólo son visibles en situaciones especiales como en los aceleradores de partículas. A los electrones y neutrinos se les llama genéricamente leptones y a los quarks se les

llama hadrones. Los protones y neutrones ya no son partículas elementales, ya que están compuestos por tres quarks.

El MEFP nos dice también que existen tres fuerzas fundamentales en la naturaleza: la fuerza electrodébil que se transmite por el fotón (bosón de la fuerza electromagnética) y los bosones débiles  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z$ ; la fuerza nuclear fuerte, que se transmite por 8 tipos de partículas llamadas gluones y la fuerza gravitatoria que no encaja en el MEFP. Si llegara a “encajar”, se transmitiría por una supuesta partícula que no hemos podido ver hasta ahora, llamada “gravitón”.

### **El futuro del Modelo Estándar**

El hecho de que los bosones de la fuerza nuclear débil tengan masa es algo que técnicamente plantea muchos problemas. Para evitar ese y otros problemas con las masas de las partículas se ideó un mecanismo dentro del MEFP, los campos de Higgs. Estos campos están transmitidos por un bosón y el paso de las partículas que interactúan con él por dicho campo hace que se genere una inercia que es la que percibimos como masa.

Este mecanismo de Higgs está admitido como parte del MEFP, pero no podrá ser verificado hasta que no encontremos el correspondiente bosón de Higgs en un acelerador de partículas. Del bosón de Higgs sabemos que su masa está entre 115 GeV y 200 GeV, por lo que se espera localizar en el nuevo acelerador del CERN: el LHC (Large Hadron Collider), que estará acabado para el 2007.

Tal y como estamos comentando en otros artículos, no conseguimos encajar la fuerza gravitatoria con la mecánica cuántica. Una unificación parcial de dicha fuerza supondría la existencia de un bosón que transmitiría la fuerza gravitatoria, al que llamamos gravitón. Caso de que existiera dicho gravitón, podríamos deducir que su spin es 2 y su masa 0. Pero en cualquier caso, es una partícula incompatible con muchas de las cosas que sabemos de la relatividad general. El gravitón sería una partícula hipotética en la que no muchos físicos creen.

El MEFP presenta el problema de que para que sus 20 valores de base construyan una teoría coherente hace falta un ajuste muy fino. La teoría de cuerdas y otros desarrollos plantean la posibilidad de que el MEFP sea parte de una colección mayor de partículas llamada supersimetría. Si la supersimetría fuera válida, no sería necesario este ajuste fino de los valores de las partículas. La supersimetría consiste en la existencia de una correspondencia biunívoca entre fermiones y bosones, en la que cada fermión tiene un supercompañero bosón de parecidas características, y cada bosón un supercompañero fermión.

El problema es que entre los fermiones y bosones que conocemos no se da ni un solo caso de correspondencia. Es decir, si la supersimetría es cierta, tendríamos que encontrar todavía los supercompañeros de todas las partículas del MEFP.

Los hipotéticas supercompañeros fermiones de los bosones se llamarían fotino, winos, gluinos, etc. Y los supercompañeros bosones de los fermiones se llamarían selectron, sneutrino, squark, etc.

La puesta en marcha del LHC en 2007 es un acontecimiento que la comunidad física del mundo espera con muchísima expectación. El LHC nos revelará la verdad o falsedad de la existencia del bosón de Higgs y tal vez nos diga algo sobre el gravitón y la supersimetría. Y mejor aún, tal vez nos revele algo que ni siquiera imaginamos ahora mismo...

Cualquier duda, sugerencia o comentario podéis hacerla a: [scardenas@grupoei.com](mailto:scardenas@grupoei.com)

### Fermiones:

Nombre	Masa (Mev)	Spin	C.eléct.	C.débil	C.fuerte
<b>Familia 1:</b>					
Electrón	0,51	1/2	-1	-1/2	0
Neutrino electrónico	~0	1/2	0	+1/2	0
Quark u (arriba)	5	1/2	+2/3	+1/2	rojo,verde,azul
Quark d (abajo)	10	1/2	-1/3	-1/2	rojo,verde,azul
<b>Familia 2:</b>					
Muón	105,66	1/2	-1	-1/2	0
Neutrino muónico	~0	1/2	0	+1/2	0
Quark c (encanto)	1.600	1/2	+2/3	+1/2	rojo,verde,azul
Quark s (extraño)	180	1/2	-1/3	-1/2	rojo,verde,azul
<b>Familia 3:</b>					
Tau	1.771	1/2	-1	-1/2	0
Neutrino tauónico	~0	1/2	0	+1/2	0
Quark t (cima)	180.000	1/2	+2/3	+1/2	rojo,verde,azul
Quark b (fondo)	4.500	1/2	-1/3	-1/2	rojo,verde,azul

### Bosones:

Nombre	Fuerza q. transmite	Masa (Mev)	Spin	C.eléct.
Fotón	Electromagnética	0	1	0
Boson débil Z0	Nuclear Débil	91.188	1	0
Boson débil W+	Nuclear Débil	80.280	1	1
Boson débil W-	Nuclear Débil	80.280	1	-1
Gluones	Nuclear Fuerte	0	1	0
<b>No localizados aún:</b>				
Bosón de Higgs	Campo de Higgs	>115.000	0	0
Gravitón	Gravitatoria	0	2	0