



# Las fuerzas de la naturaleza (III)

## Los hilos del tapiz

La Física de hoy tiene un modo de describir las cuatro fuerzas de la naturaleza (gravitatoria, electromagnética, débil y fuerte) que poco tiene que ver con lo que se intuye en la experiencia humana ordinaria. La necesidad de introducir nuevas formas de entender su funcionamiento surgió con la teoría de la relatividad. Según ésta, nada puede propagarse con velocidad superior a la de la luz, de modo que para que una fuerza actúe sobre un objeto debe haber algo que se traslade desde el punto que origina la fuerza al punto donde ejerce su acción. El primer ejemplo de como podría ser esto fue, naturalmente, el campo electromagnético: a los paquetes de energía (cuantos) que se propagaban en la luz se les denominó "fotones", y parecía claro que eran los "portadores" de la interacción electromagnética. Dicho más coloquialmente, las partículas cargadas se comunican entre sí intercambiando fotones. Cuando un fotón llega a una partícula cargada, el choque transmite la interacción electromagnética que a nivel macroscópico observamos como un "campo de fuerzas".

Las ecuaciones originales de la Mecánica Cuántica (1926) no contemplaban la relatividad, es decir, sólo eran válidas para partículas que se movían a bajas velocidades, donde los efectos relativistas no se perciben. El físico británico Paul Dirac se aprestó a encontrar ecuaciones similares a la de Schrödinger pero que tuvieran en cuenta los efectos relativistas. Esto era necesario por que, de no hacerse, nos encontraríamos la paradoja de que los campos eléctricos y magnéticos aparecían en las ecuaciones a veces como continuos que al actuar sobre una materia, discreta, lo hacían de un modo discontinuo. En 1929 presentó la denominada hoy ecuación de Dirac, que cumplía los requisitos expresados y que describía bien el comportamiento de los electrones en los átomos. Había nacido la Teoría Cuántica de Campos.

Una consecuencia muy llamativa de las ecuaciones de Dirac era que había en ella algo que el propio Dirac interpretó como la posibilidad de la existencia de una nueva partícula, que sería en todo igual al electrón pero con la carga cambiada de signo: algo así como el anti-electrón. Pues bien, en 1932, investigando los efectos de la radiación cósmica (partículas procedentes del espacio que chocan con la Tierra) Carl Anderson encontró la partícula predicha a la que bautizó como positrón. Era la primera vez que la teoría cuántica anunciaba la existencia de un ente nuevo y este aparecía.

Como la Teoría de Dirac (que daría lugar a la denominada Electrodinámica Cuántica o QED por sus siglas en inglés) había funcionado bien en el caso electromagnético fue natural que al introducirse las nuevas interacciones Fuerte y Débil se pensara en hacer algo parecido. Es decir, buscar análogos al campo electromagnético, a las fuentes de este (las cargas) y al portador (el fotón) para los dos nuevos tipos de fuerza. No tenemos espacio para describir con detalle lo que ha sido un largo, duro, caro y maravilloso avance de la teoría de la Física de Altas Energías, y su corre-



**Imagen** que muestra la zona ocupada por el acelerador LEP/LHC, del CERN en Ginebra. La línea continua marca la situación del gran anillo de 27 kilómetros, excavado a 40 metros bajo el suelo. / EL DÍA



**Interior del túnel** donde estaba situado el LEP y donde se está instalando el LHC. / EL DÍA

lato experimental, pero digamos que se ha tenido, en muy buena medida, éxito.

De modo general se piensa hoy que la descripción de las fuerzas puede hacerse a través de partículas, algunas de las cuales son compuestas, mientras que otras son esencialmente indivisibles. Debe entenderse que la palabra "partícula" tiene aquí un sentido impreciso, no del todo coincidente con el uso habitual de ella. Llamamos partícula a cualquier cosa que transmite energía o genera algún cambio en un objeto del mundo subatómico, sin que necesariamente tenga, por ejemplo, masa ordinaria. Las fuerzas se transmiten por el intercambio de partículas a las que se las denomina "mediadoras". En ocasiones, cuando una partícula mediadora choca con otra partícula sensible a ella cambia la identidad de esta última. Las partículas se crean y se destruyen, conserván-

dose sólo un cierto número de magnitudes que caracterizan las interacciones: son las llamadas simetrías de las interacciones.

En este esquema, pensamos que en el modelo más firme que tenemos al respecto, todo el Universo puede describirse por medio de unas decenas de partículas que son las fuentes de las fuerzas y sus respectivas partículas mediadoras. Este modelo se denomina Modelo Standard.

El Modelo Standard es la agregación de la teoría Electrodébil de Weimberg-Salam (que describe simultáneamente las interacciones electromagnética y Débil) y la Cromodinámica Cuántica (que describe la Interacción Fuerte). En este modelo se tienen las siguientes partículas:

- 36 partículas denominadas "quarks" (en realidad 18 partículas y 18 antipartículas), que son las fuentes de la interacción Fuerte y, agrupados, forman los bariones o partículas pesadas.
- 12 leptones o partículas ligeras, también agrupados en partículas y antipartículas, en lo que se incluyen el electrón y el positrón.
- 12 partículas "mediadoras" de interacciones y que son el fotón, que media en la interacción electromagnética, los llamados mesones  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z$  (de los que aparecían en la teoría de Yukawa comentada en otro artículo) que median en la interacción débil y 8 partículas denominadas "gluones", que son los mediadores de la interacción fuerte.
- El llamado "bosón de Higgs", que aún no ha sido encontrado experimentalmente.

En la descripción actual de la naturaleza, estos parecen ser los hilos que enlazados forman el tapiz del Universo.

Los quarks, en este modelo, son los constituyentes de algunas partículas como el protón o el neutrón. Un protón, por ejemplo, es la combinación adecuada de tres quarks, a los que para caracterizarlos se les atribuyen propiedades llamadas "sabor", "color", "extrañeza", "encanto", "belleza" y "verdad". Un neutrón es otra combinación de tres quarks. Tienen una propiedad curiosa: no existen libres, y sí dentro de las partículas denominadas hadrones, nombre que engloba a las partículas más pesadas del mundo microscópico. Si uno quiere separar a los quarks debe proporcionar tanta energía que lo único que hace es crear otro hadrón. Las cargas de los quarks son fracciones de la del electrón, pero siempre se agrupan para dar un número entero (o nulo) de cargas electrónicas. En general los bariones están formados por tres quarks, mientras que los mesones lo está por dos (un quark y el antiquark correspondiente). Así parecen ser las cosas.

El extraño nombre de "quarks" se lo dio Murray Gell-Mann, cuando propuso su existencia, y lo extrajo de una frase bastante enigmática de la novela Finnegans Wake de James Joyce en la que se leía "three quarks for Mr. Marks". Hasta donde puedo entender, y Joyce no es fácil de leer, parece hacer alusión al garrnido que emiten las gaviotas que en el contexto suena como una especie de "hurra". La palabra no tiene significado en inglés.

¿Es el Modelo Standard la última palabra? Pues parece que no. En conjunto explica casi todo lo que sabemos del universo microscópico, pero el 'casi' deja demasiadas dudas. Por un lado, no se ha detectado el bosón de Higgs, y por diversos motivos es imprescindible hacerlo. En un par de años se espera disponer de un acelerador de partículas lo suficientemente poderoso para que se haga visible. Por otro lado, no se sabe por qué el número de quarks y de leptones es el que es y no otro, ni tampoco la teoría sabe predecir algunas constantes que aparecen en las ecuaciones (unas 20) y que hay que ajustar a mano en base a los experimentos. Por último, ¿qué pasa con la gravitación?

El camino aún sin fin para dar respuesta a estas dudas es otra historia.

Luis Vega  
Universidad de La Laguna

## Aceleradores de Partículas

■ Para escudriñar el mundo de las partículas elementales se lanzan, a modo de proyectiles, partículas a gran velocidad contra un objeto (el blanco) del que se quiere conocer su estructura. Se colocan detectores alrededor del blanco y se investigan los resultados. La Mecánica Cuántica explica que cuanto mayor sea la energía (relacionada con la velocidad) la longitud de onda asociada a las partículas es más pequeña, de modo que pueden "ver" o "sentir" objetos del tamaño de esa longitud de onda. Por eso, para investigar que es lo que ocurre, por ejemplo, dentro de un protón, hacen falta partículas lanzadas a grandes energías. Conseguirlo no es fácil. Las primeras partículas subnucleares se detectaron en los Rayos Cósmicos, ya que las estrellas y el espacio interestelar son un formidable acelerador de partículas emitidas por los objetos astronómicos. Pero estas partículas chocan con la atmósfera, y para trabajar con ellas es necesario subir muchos kilómetros sobre la superficie de la Tierra (se hacía en globos aeroestáticos).

Desde los años treinta del siglo pasado se han venido desarrollando aceleradores de partículas en los que, en condiciones controladas, se intenta dilucidar la composición de la materia. Con el tiempo se han construido enormes aceleradores que cuestan miles de millones de euros y que han requerido la cooperación internacional. El mayor de ellos fue construido por el Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), organismo consorciado de veinte países (entre ellos España). Se trata de LEP (Large Electron-Positron Collider, Gran Colisionador Electrón-Positrón) la mayor máquina jamás construida por el hombre. Literalmente llena un túnel de más de veinte metros de altura, en forma de anillo de 27 kilómetros de largo a más de cuarenta metros de profundidad ubicado en Ginebra, entre las fronteras de Francia y Suiza. En la actualidad está siendo sustituido por el denominado LHC (Large Hadron Collider, Gran Colisionador de Hadrones) con el que se espera, entre otras cosas, encontrar el bosón de Higgs.

Desde 1990 el CERN alcanzó el reconocimiento del público general por la invención del WWW (World Wide Web). Un Físico (Tim Berners-Lee) se propuso resolver el problema de comunicar correctamente la enorme variedad de ordenadores distintos que operaban en el acelerador. El resultado final de ese trabajo fue la invención de Internet. Y es que el gran éxito del CERN no es sólo su capacidad para producir resultados científicos de gran interés, sino también el desarrollo de nuevas tecnologías tanto informáticas (WWW, importantes librerías matemáticas, gráficas o sistemas de almacenamiento masivo) como industriales.