

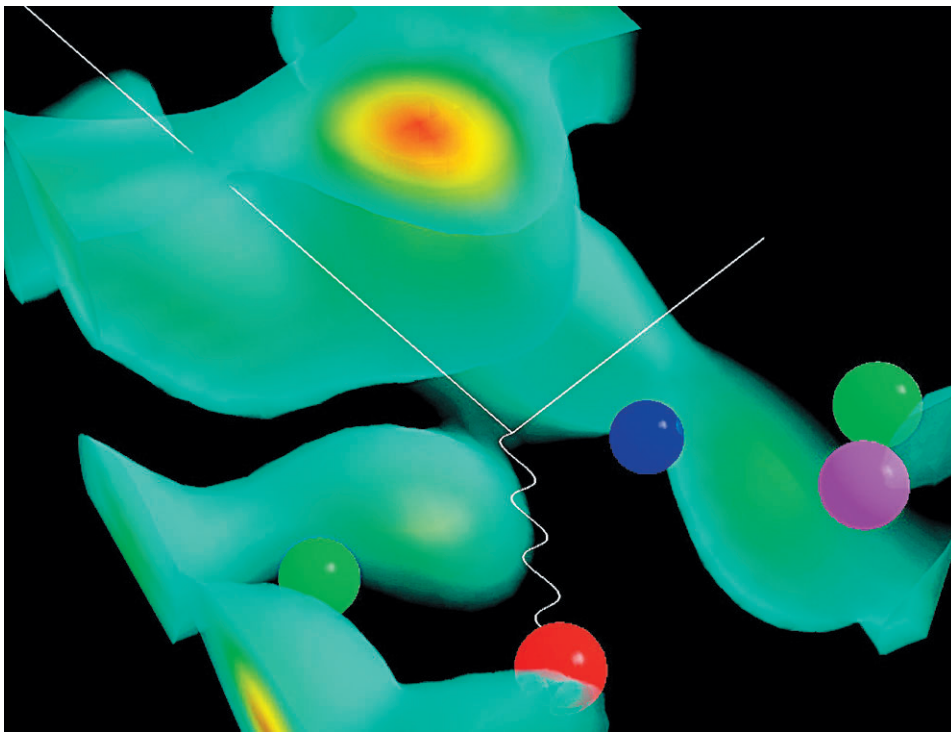
en un protón. Las flechas representan el campo de fuerzas de la fuerza fuerte, el fondo rojo
ADELAIDE.EDU.AU/THEORY/STAFF/LEINWEBER/VISUALQCD/NOBEL/INDEX.HTML

LOS COLORES DE LA MODA CUÁNTICA

> CROMODINÁMICA CUÁNTICA
Esta teoría explica cómo se comportan los quarks, y detalla que hay tres familias de quarks diferentes: u y d (por up y down, arriba y abajo); c y s (por charm y strange, agradable y extraño) y finalmente t y b (por top y bottom, cima y fondo), con diversas masas. Cada tipo de quark tiene su antipartícula correspondiente, llamada antiquark, y cada uno de ellos tiene un “color” res-

pectivo, que puede ser rojo, azul o verde (y por lógica, están los antiquarks con colores antirrojos, antiazules o antiverdes). Pero estos colores no guardan relación con los que puede distinguir el ojo, sino que se corresponden con una propiedad cuántica. Las fuerzas entre ellos son transmitidas por unas partículas llamadas gluones, que no tienen masa, al igual que las partículas que transmiten la fuerza electromagnética, los fo-

tones. Esta teoría debe explicar todas las interacciones fuertes, aquellas que atraen a neutrones y protones haciendo que el núcleo atómico sea estable. Casi el cien por cien de la materia que vemos (entre la que no vemos se encuentra la denominada materia oscura) está constituida únicamente por los quarks u y d y por electrones. O sea, toda la Física atómica y nuclear se apoya en gran medida sobre tres partículas.



Visualización del interior del protón: los tres quarks, verde, rojo y azul, rodeados por el campo creado por los gluones. Se crea un par quark-antiquark: un quark verde y otro antiverde (magenta). La línea muestra el electrón entrando en el protón y colisionando electromagnéticamente con el quark rojo. DEREK LEINWEBER, CSSM, UNIV. OF ADELAIDE/WWW.PHYSICS.ADELAIDE.EDU.AU/THEORY/STAFF/LEINWEBER/VISUALQCD/NOBEL/INDEX.HTML

EL FACTOR DE FORMA DEL PROTÓN

> MIRAR DENTRO SIN ABRIR ¿Cómo es posible averiguar la distribución de las cargas en el interior del protón? La clave está en el denominado “Factor de Forma”. Supongamos que se fotografía una naranja: la imagen informa que es naranja o amarilla oscura, con una forma cercana a la esfera y con unas pequeñas imperfecciones en su superficie. Ahora, si se le suma una radiografía, se descubre que su interior

se divide en gajos, y que allí también hay otros objetos llamados semillas, con forma de gota. Combinando una y otra, se tiene bastante información de su estructura.

Con las partículas como el protón sucede algo similar: el bombardeo de electrones permite obtener una radiografía de su interior, y éste es el Factor de Forma, que informa de cómo se reparte su carga eléctrica, una medición

que el Jefferson Laboratory ha podido precisar con gran exactitud en los últimos tres años. Las mediciones parecen indicar que la distribución de carga es compatible con que el protón sea esférico con pequeñas deformaciones. Y los últimos datos confirmarán si el que los quarks se muevan a velocidades cercanas a la de la luz, dentro del protón, es o no importante para entender cómo se distribuye la carga.

otro. Sin embargo cuando nos proponemos separarlos y los alejamos entre sí, la fuerza entre ellos es tan grande que se llega a un punto en que se crea un nuevo quark y un nuevo antiquark, pero sin poder nunca llegar a separarlos.

Otra vez vale una metáfora como ejemplo: si tenemos un muelle, e imaginamos que cada quark es un extremo de este muelle, no hay ninguna atracción entre ellos si no los estiramos. Pero si comenzamos a separar los dos extremos cada vez tendremos que hacer más fuerza; hasta que llegará un momento en que el muelle se partirá por la mitad, y se crearán otros dos muelles de menor tamaño. Al final tendremos los dos quarks iniciales y otros dos nuevos; pero no hemos logrado crear quarks libres.

Se da pues la circunstancia de que actualmente se entiende mucho mejor lo que les ocurre a los quarks cuando se les bombardea a altas energías y exploramos distancias muy cortas, unas 500 veces menores que el tamaño del protón. Entonces se comportan como si estuvieran solos en el mundo y se desplazan en línea recta, uno de los descubrimientos por los que se les concedió el Nobel en 2004.

Al saber que protones, neutrones y casi todas las partículas descubiertas en los años sesenta y se-

EL CENTRO DE ESTUDIO DE BARIONES EXCITADOS (EBAC)

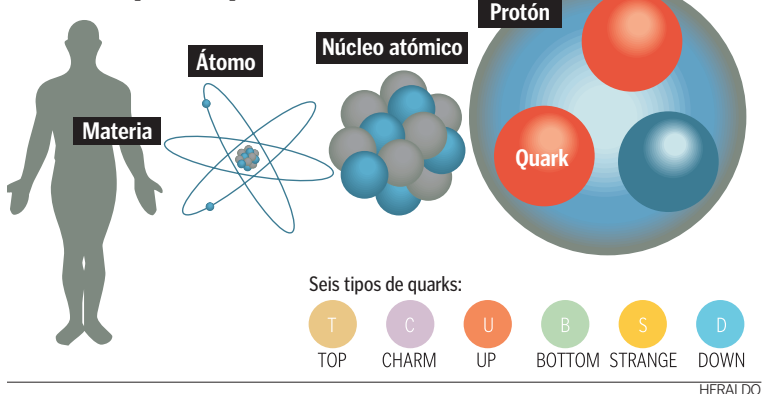
■ El Centro de Estudio de Bariones Excitados (EBAC) del Jefferson Laboratory está especializado en analizar los datos experimentales medidos en el acelerador. Más concretamente, se intenta diferenciar entre los procesos en los que el electrón no modifica casi nada la estructura interna del protón y aquéllos en los que ésta cambia radicalmente su composición y crea nuevas estructuras que se forman y destruyen en el proceso.

La mejor forma de estudiar la creación y las propiedades de estas efímeras estructuras es realizar, por anticipado, una serie de modelos que abarquen todas las composiciones posibles. Para poder crear estos modelos se requiere realizar cálculos de alta complejidad que se elaboran en superordenadores. Una parte de estos cálculos se efectúan en el Bar-

celona Supercomputing Center (BSC/CNS www.bsc.es), uno de los diez ordenadores más rápidos y potentes del mundo.

En España hay varios grupos dedicados a desentrañar los secretos de protones y neutrones. Entre los grupos teóricos se puede citar a la Universidad de Valencia y el Instituto de Física Corpuscular de Valencia (IFIC). Por otra parte las Universidades de Barcelona, Granada, Salamanca, Complutense y Autónoma de Madrid tienen investigadores estudiando los quarks desde diversos puntos de vista y formulaciones. En la Universidad de Zaragoza, este campo se aborda a nivel teórico desde el Departamento de Física teórica; a nivel experimental, por parte del Grupo de Física nuclear y astropartículas que trabaja en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

Así es un protón por dentro



tenta están formadas por otras más pequeñas, los quarks, se postuló que si las partículas son diferentes es porque los quarks se agrupan en distintas formas.

SUAVEMENTE Desde un principio, la estrategia de investigación del JLAB fue estudiar el interior de protones y neutrones pero sin utilizar electrones tan energéticos, que sólo vieran a los quarks comportándose como si fueran libres; sino cuando están en continuo intercambio, interactuando unos con otros sin descanso. De algún modo sería como lanzar la bola anterior sobre el piano, pero no tan fuerte como para que las piezas sean despedidas y se desparamen sin orden, sino con una fuerza menor para poder ver cómo están conectados los componentes entre sí.

Durante los próximos años se espera que en el JLAB se puedan llegar a acelerar los electrones al doble de energía, con lo que se explorarían distancias mucho menores y se podrían evaluar con más precisión los efectos producidos por los quarks.

EXPECTATIVAS En la actualidad, algunas de las cuestiones anteriores empiezan a resolverse. Por ejemplo, las corrientes de quarks dentro de los protones y neutrones parecen ser responsables de gran parte de sus propiedades

magnéticas, como se ha podido comprobar al medir la estructura electromagnética del protón y el neutrón y compararla con cálculos teóricos. Pero otras respuestas llegarán dentro de cinco años, para cuando se espera que la nueva ampliación del acelerador entre en funcionamiento.

LA ESENCIA DEL PROTÓN Todos estos experimentos son vitales para poder comprender la esencia del protón, del cual depende la constitución de toda la materia tanto orgánica como inorgánica. Conocer cómo está hecho y cómo se comporta dentro de los núcleos atómicos es algo que quizás no tenga gran interés desde el punto de vista industrial, pero que sin duda lo tendrá a medida que nuestra capacidad tecnológica vaya aumentando y nos permita manipular el mundo a esas escalas tan pequeñas. Y nada mejor que empezar por entender de qué estamos hechos.

BRUNO JULIÁ DÍAZ ES INVESTIGADOR DEL DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURA Y CONSTITUYENTES DE LA MATERIA, DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA, Y COLABORADOR ACTIVO DE EBAC (EXCITED BARYON ANALYSIS CENTER), JEFFERSON LABORATORY, VIRGINIA, ESTADOS UNIDOS

MÁS INFORMACIÓN

www.jlab.org
ebac-theory.jlab.org
www.ecm.ub.es/main_spa.html