

Explorando lo más pequeño

El **Dr. Manuel Calderón de la Barca Sánchez** nos explica porqué está entusiasmado con su investigación sobre el Plasma de Quarks y Gluones, el cual existió cerca del inicio de nuestro universo

Aunque es común hablar acerca de los Quarks en la Física, no siempre se explica lo que son. ¿Nos puede clarificar su importancia en el estudio de la materia?

Los protones y los neutrones no son partículas elementales, en el sentido de que son partículas que están hechas de otras partículas aún más pequeñas: los quarks y los gluones. Un descubrimiento muy importante es el hecho de que responden a una nueva fuerza, llamada "fuerza nuclear fuerte". Sabemos ahora que un protón (o un neutrón) consiste de tres quarks, que están "pegados" entre sí por una fuerza atractiva, que es la fuerza nuclear fuerte. Cuando empecé mi carrera, me entusiasmó mucho aprender sobre estas partículas en parte porque esta fuerza es la más fuerte de toda la naturaleza. De ahí su nombre. Es más fuerte que la fuerza de gravedad o la fuerza electromagnética. Dado que las partículas que unen a los quarks y los mantienen atrapados dentro del espacio de un protón, actuando como el pegamento más fuerte de todos, los físicos los nombraron "gluones", porque "pegamento" en inglés se dice "glue". Podemos darnos una idea de lo enorme que es la fuerza nuclear fuerte si la comparamos con la fuerza

electromagnética. Si acercamos dos objetos que tienen el mismo tipo de carga eléctrica, los objetos se repelen. Los objetos que tienen cargas eléctricas de signo opuesto se atraen. El electromagnetismo es la fuerza responsable de mantener a los electrones, que tienen carga negativa, orbitando cerca de los núcleos de los átomos, que tienen carga positiva. Pero, porqué ocurre que los protones, que tienen carga positiva, no escapan del núcleo, si el electromagnetismo nos dice que debería haber una fuerza de repulsión entre los protones en todos los núcleos de los átomos? La razón por la cual esto no ocurre es que la fuerza nuclear fuerte, además de mantener a los quarks y gluones atrapados dentro de los protones y neutrones, de manera indirecta también mantiene pegados a los protones y neutrones. Es debido a esta fuerza que se encuentran pegados formando el núcleo atómico. Esta fuerza debe ser más grande que la fuerza electromagnética, para poder sobreponerse a la repulsión eléctrica de los protones en el núcleo. Sin esta fuerza nuclear fuerte, los protones que forman los núcleos de todos los átomos en nuestro cuerpo, y en todos los objetos que nos rodean, se desprenderían del núcleo tratando de escapar unos de los otros,

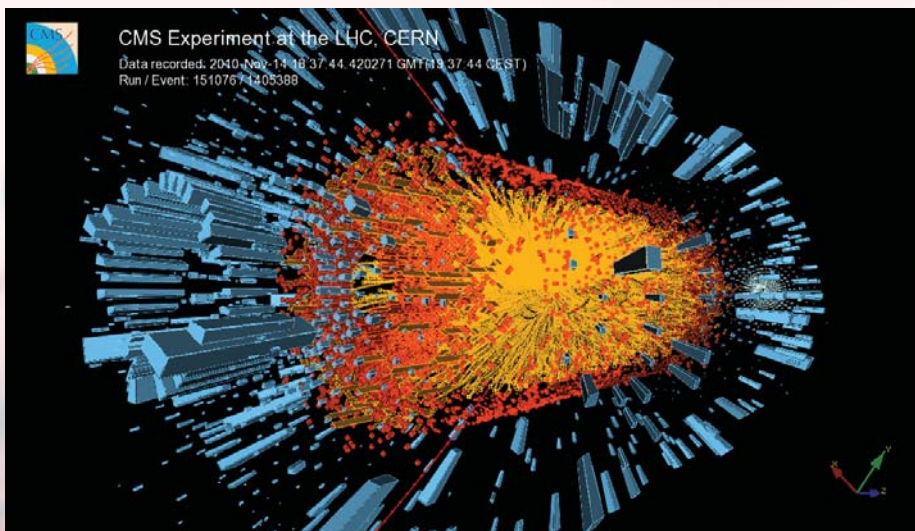
desintegrando todos los objetos que vemos debido a la repulsión eléctrica. Pero la fuerza nuclear fuerte mantiene a los protones y neutrones pegados. De manera muy palpable, sin esta fuerza nuclear fuerte, sin los quarks y los gluones, no existiríamos.

¿Puede explicar los objetivos de su proyecto – Producción de Quarkonio Pesado en Colisiones de Iones Pesados Relativistas?

Una de las metas principales en el estudio de colisiones de iones pesados es el estudiar esta fuerza nuclear fuerte, la más fuerte de todas las fuerzas de la naturaleza, a una temperatura muy alta. Usamos colisiones de iones pesados, como iones de oro o de plomo, en la cual cada ion tiene cerca de 200 nucleones. La energía que se libera en cada colisión produce un nuevo estado de la materia, el cual nos interesa estudiar: el Plasma de Quarks y Gluones. Este tipo de materia es la que permeaba nuestro universo cerca de un microsegundo después del "Big Bang". Yo participo en dos grandes experimentos que han estado estudiando estas colisiones, tratando de entender este nuevo estado de la materia. Mi interés en particular es en tratar de medir qué tan caliente se pone este plasma. El problema es que la materia que producimos es cientos de miles de veces más caliente que el interior del sol, y dura menos de una millonésima de una millonésima de una millonésima de segundo! Así que el asunto no es tan simple como insertar un termómetro y leer la temperatura. Tenemos que usar partículas que también están hechas de quarks para estudiar este plasma.

Parte de su trabajo incluye supervisar estudiantes de carrera y de posgrado, y presentar sus hallazgos a otros colegas. ¿Cree que esta es una buena manera de diseminar esta información y de formar nuevos enlaces con el público?

Ciertamente esta es una buena manera de hacerlo. En mi caso, yo me interesé en trabajar en detectores de partículas al estar en la universidad. Así que me gustaría comunicar





el entusiasmo que sentimos por nuestra investigación a nuestros estudiantes, y ayudarle a los que les interese lo que hacemos a empezar a trabajar en este campo. También me gusta hablar con estudiantes en la preparatoria, secundaria o primaria. Aunque muchos de ellos llegan conmigo pensando que la Física es algo difícil, después de hablar con ellos acerca de cómo los átomos están hechos de partículas pequeñas, como los protones, neutrones y electrones, y que los protones y neutrones a su vez están hechos de quarks y gluones aún más pequeños, les cambia la manera de pensar sobre la ciencia.

¿Cómo es el trabajo en colaboración dentro de su campo?

Este tipo de investigación requiere un enorme número de personas, todas trabajando juntas. Este es uno de los aspectos que me atrajo desde que era estudiante. Fue un excelente ejemplo del hecho de que cuando estudiamos el universo, los hallazgos que hacemos también tienen que ser universales. No importa de dónde venga uno, de un lugar muy humilde, su apariencia, o el lenguaje que uno hable. Todos estamos hechos del mismo tipo de materia, y todos estamos sujetos a las mismas leyes de la naturaleza. En la Física de altas energías, cada semana trabajamos con gente que viene de todos los continentes, y de una multitud de orígenes. A través de la aplicación de las matemáticas y de la ciencia, todos acabamos, a fin de cuentas, llegando a las mismas conclusiones acerca de la naturaleza. En nuestra ciencia, tenemos un tronco común, un hilo unificador, y este teje amistades a todo lo ancho del planeta. Siempre que lo pienso, me llena de emoción poder formar una pequeña parte de este gran esfuerzo colectivo.



Problemas Densos

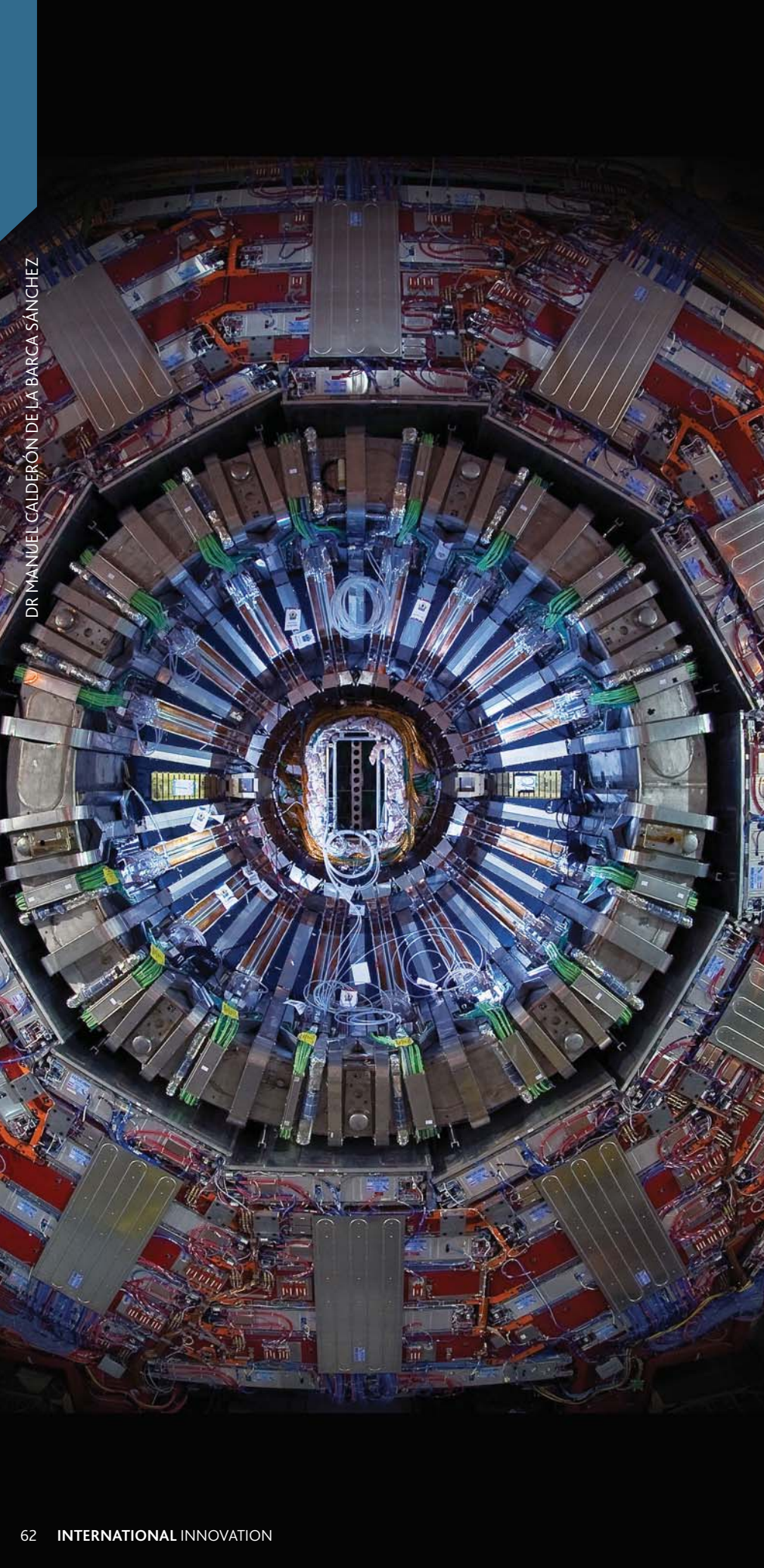
Un equipo de investigadores en la **Universidad de California** está usando colisiones de iones a alta energía para literalmente derretir y romper los átomos para estudiar el Plasma de Quarks y Gluones, y la fuerza nuclear fuerte

EXPLORAR LOS ESTADOS más fundamentales del universo, que se piensa existieron cerca de un microsegundo después del "Big Bang", es una actividad cargada de dificultades. Un equipo basado en la Universidad de California, Davis (UC Davis) está intentando descubrir nueva y excitante información sobre el Plasma de Quarks y Gluones (PQG), un estado de la materia extremadamente caliente y denso. La materia puede existir en una multitud de estados, y esta jerarquía tiene un rango más grande del que comúnmente se aprecia. Más allá de los estados sólido, líquido y gaseoso, que son los más usuales y familiares, existe también el plasma. En el estado llamado plasma electromagnético, los átomos se rompen: los electrones de carga eléctrica negativa se desprenden del núcleo de carga positiva. En este estado, cuando un electrón trata de unirse a un núcleo y entrar en uno de los orbitales atómicos, es rápidamente noqueado fuera del orbital por algún otro electrón o núcleo. Esto solamente ocurre a temperaturas muy elevadas, por ejemplo en el interior del sol. Para llegar a producir un PQG, hay que aumentar la temperatura aún más, cientos de miles de veces más alta que la temperatura en el sol. A estas temperaturas, no solo los núcleos se desprenden de los electrones, sino que los protones y neutrones tienen colisiones tan violentas que se desprenden los quarks y gluones que están en su interior. El protón y el neutrón dejan de existir como entidades separadas, porque las colisiones los parten en pedazos, y el núcleo atómico se derrite dando lugar a una sopa de quarks y gluones. Haciendo una analogía con el plasma electromagnético, a este estado se le llama Plasma de Quarks y Gluones.

Un aspecto del PQG que el equipo de UC Davis está investigando tiene que ver con las interacciones entre quarks y antiquarks en el plasma. Partículas llamadas Quarkonios Pesados están formadas

por un quark y un antiquark pesados, y tienen propiedades similares a las de los electrones en los orbitales atómicos. En el caso atómico, para mover un electrón de su estado base, en el cual el electrón está muy cerca del núcleo en una posición muy estable, a un estado excitado, en el cual el electrón está más lejos del núcleo, requiere de energía. Esto se debe a que la fuerza electromagnética atrae el electrón al núcleo, así que hay si queremos alejarlo, requerimos invertir energía para sacarlo a un orbital más alejado. Por el contrario, si un electrón empieza en un orbital alejado, este puede saltar a un orbital más cercano al núcleo y liberar energía que aparece en forma de fotones, o partículas de luz, que tienen frecuencias muy específicas, características de la diferencia de energía de un orbital a otro. Lo mismo ocurre en el sistema formado por un quark y un antiquark pesado, solo que la interacción está basada en la fuerza nuclear fuerte, y no en el electromagnetismo. Los estados formados por estos quarks y antiquarks pesados, llamados Quarkonios, tiene energías muy específicas, y podemos medir las proporciones que hay entre los estados base y los estados excitados de estos Quarkonios. Aquí también ocurre que en los estados excitados la distancia entre el quark y el antiquark crece, y mientras más energía tiene el Quarkonio, más espacio hay entre los quarks.

La analogía con el plasma electromagnético también nos sirve para entender la manera en la que el par, formado por el quark pesado y su antiquark, reacciona cuando lo introducimos al PQG. Creemos que cuando están en el plasma, la fuerza de interacción entre el par de quarks pesados se ve reducida por la presencia de los otros quarks y gluones en el plasma, de la misma manera que la fuerza electrostática entre una carga positiva y una carga negativa se reduce al introducirlos en plasma electromagnético. La naturaleza de esta interacción hace que los distintos estados de



quarks-antiquarks se vean afectados de manera diferente dentro del PQG. Los estados en los que el quark y el antiquark están más separados se ven afectados a menores temperaturas que los estados en los que el quark y el antiquark están más juntos. Por lo tanto, la investigación del equipo de UC Davis está enfocada en medir los estados base y los estados excitados de las partículas formadas por un par de quark-antiquark pesados, buscando encontrar este efecto para medir la temperatura, y saber qué tan caliente está el Plasma. Se espera que estos experimentos nos ayuden a vislumbrar propiedades importantes de esta interacción, que será importante para nuestro entendimiento tanto del PQG, de las interacciones entre quarks y antiquarks, y de la fuerza nuclear fuerte.

LUCHANDO CON LA INTERACCIÓN FUERTE

El tratar de comprender completamente la interacción nuclear fuerte es notablemente difícil precisamente por la enorme fuerza atractiva entre las partículas, lo cual hace muy difícil hacer cálculos y predicciones. La analogía con el electromagnetismo es útil, pero también omite diferencias importantes. Sin embargo, al ver el desarrollo del electromagnetismo, el equipo puede comparar el progreso en el estudio de la interacción nuclear fuerte con lo que ocurrió en el caso de la interacción electromagnética. Las ecuaciones electromagnéticas fueron establecidas en el siglo 19 pero la superconductividad no se descubrió sino hasta 1911, y la primera teoría para explicar la superconductividad que fue aceptada por la comunidad científica no fue propuesta sino hasta 1957. El Dr. Manuel Calderón de la Barca Sánchez, quien dirige el equipo en UC Davis haciendo esta investigación, hace esta comparación con el electromagnetismo para demostrar la importancia de los datos experimentales: "Aunque la teoría de la interacción nuclear fuerte está muy bien establecida, apenas estamos empezando a entender el PQG como un fluido "perfecto" por su poca viscosidad, extremadamente caliente, y sorprendentemente denso. En este campo de investigación, encuentro muy emocionante que cada nuevo resultado de los experimentos puede ser una sorpresa." El grupo espera vislumbrar los detalles de las interacciones del PQG a través de acumular muchos y variados datos experimentales, lo cual toma tiempo, pero que se espera rinda amplios frutos.

Sin embargo, hay varios obstáculos que librar si el grupo va a producir los resultados que busca. El primero de estos es que los estados de Quarkonio son muy raros. En la práctica, uno de estos estados se produce de manera que se pueda medir en los detectores cada 2 mil millones de colisiones. En el experimento llamado STAR (Trazador Solenoidal en el colisionador de iones pesados Relativistas, por sus siglas en inglés) en el Laboratorio Nacional en Brookhaven, se precisan muchos meses de experimentos para recolectar los datos requeridos para hacer estas mediciones. En el experimento llamado CMS (Solenoides Compacto para Muones, por sus siglas en inglés) en el LHC (Colisionador de Hadrones Largo) del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), hay colisiones de iones pesados durante un mes al año solamente. Calderón de la Barca Sánchez se mantiene optimista: "Un

desafío de este campo de investigación viene de uno de los aspectos que lo hace interesante: la dificultad en entender la interacción nuclear fuerte empezando desde los principios básicos de la física." Pasar sobre estos obstáculos requiere un gran esfuerzo para modelar los fenómenos que ocurren en la colisión, y el esfuerzo de muchos colaboradores, pero la calidad de todo el equipo de investigación alrededor del mundo hace que sea posible obtener los resultados deseados.

COMPARANDO COLISIONADORES

Los dos aceleradores en el centro de esta investigación son enormes y muy sofisticados. Cientos de físicos trabajando en STAR tienen miles de contrapartes trabajando en CMS. El equipo de UC Davis busca electrones y positrones o muones y antimuones, ya que estas son las partículas en las que mayormente decaen los pares de quark-antiquark pesados. Los muones son similares a los electrones, pero con la importante diferencia de que son aproximadamente 200 veces más masivos. STAR tiene la capacidad de reconstruir electrones y positrones, y CMS se enfoca en los muones y antimuones. Usando estas partículas que en sí son como los fragmentos que provienen de las partículas que se producen en una colisión, los investigadores calculan las velocidades, masas, y energías de las partículas. Han encontrado que en ciertos rangos de masa hay una mayor probabilidad de crear pares electrón-positrón, y esta es la señal que nos indica la masa de los estados de quark-antiquark. La tarea de investigación consiste en calcular cuántos de estos Quarkonios ocurren, y comparar el resultado con la hipótesis que nos dice que en ausencia de un PQG, deberíamos de encontrar un número de Quarkonios equivalente al que obtendríamos si cada colisión de iones fuera como múltiples colisiones de protones. En una colisión de iones, puede haber miles de colisiones de protones o neutrones, pero se puede calcular de manera muy fiel cuántas hay en promedio. Al comparar los resultados con la producción asumiendo que no hay modificación en el PQG, lo que los investigadores han encontrado es que hay menos Quarkonios, y el déficit aumenta para los Quarkonios en estado excitado, los que tienen sus quarks más separados, que para los Quarkonios en estado base.

CUESTIONES DE PESO

Una de las áreas más importantes de esta investigación tiene que ver con la medición de la temperatura y la densidad del PQG. No es posible medir estas propiedades directamente, así que es preciso entonces hacer un cálculo basado en las mediciones obtenidas al pasar quarks y gluones energéticos a través del plasma. Entre más energía pierden estos quarks y gluones, más denso es el plasma. Lo que se ha descubierto es que pueden perder una cantidad de energía sorprendente, según nos dice Calderón de la Barca Sánchez: "Algunas veces, las partículas pierden casi toda su energía, y es asombroso pensar que esta pérdida de energía que sufren los quarks ocurre en no en un milímetro, sino en una distancia un millón de millones de veces más pequeña". El descubrimiento en la última década que un quark casi no pierde energía al pasar a través de un núcleo normal quiere decir que esta prodigiosa pérdida de energía

sólo ocurre en un PQG. El equipo continúa su investigación, y se espera que estos experimentos continúen ayudándonos a entender elementos importantes de estas interacciones que existieron en el nacimiento de nuestro universo.

AVANCES TECNOLÓGICOS

Hay un buen número de beneficios que este tipo de investigaciones producen como consecuencia. En la misma manera que la World-Wide-Web, el protocolo de comunicación de hipertexto por internet, fue inventada en el CERN, muchos de estos son desarrollos aparecen en el ámbito computacional y de sistemas. El análisis de la gran cantidad de datos que se precisa para este tipo de investigación ha impulsado el desarrollo de nuevas herramientas para poder extraer la información más importante de manera eficiente. El equipo también necesita encontrar maneras útiles de visualizar los datos que están produciendo, lo cual es otro desafío técnico. Estos protocolos de visualización están rápidamente encontrando otras aplicaciones, ya que la producción de ayudas visuales para grandes cantidades de datos es un mecanismo de análisis muy poderoso. Mas para Calderón de la Barca Sánchez, estas no son las razones principales para completar la tarea de investigación: "Para muchos de nosotros, el objetivo principal siempre será el explorar la naturaleza. No hay nada que se compare con la emoción que se siente el poder entender las fuerzas más básicas de nuestro universo." Este asombro e instinto primordial está llevando a los científicos de estas primeras etapas de exploración de la fuerza nuclear fuerte hacia otras áreas aún sin explorar, y otros beneficios y avances bien pueden ocurrir en el trayecto.

CONTINUANDO LAS COLISIONES

Estas investigaciones van a continuar por varios años, llevándonos en dos direcciones importantes. La primera es el estudio de los quarks-antiquarks llamados "belleza", que son 4 veces más pesados que un protón, y cuyo estudio apenas está empezando. Al mismo tiempo, también están empezando a estudiar la partícula Z, que transmite la fuerza nuclear débil, y que cuando se produce junto con un quark energético permite calibrar la pérdida de energía de dicho quark, ya que la partícula Z no pierde energía porque no interactúa con el PQG. Calderón de la Barca está muy entusiasmado en llevar a cabo este experimento. "Es muy apasionante combinar varias partículas que combinan estas fuerzas exóticas y usarlas juntas en el mismo estudio. Es muy útil para este trabajo el que la partícula Z no tiene ninguna interacción con el PQG durante la colisión." De hecho, cuando la partícula Z se produce junto con un quark, ésta escapa porque no le afecta la fuerza nuclear fuerte. Como la partícula Z también decae en un muon y un antimuon, se puede detectar en CMS gracias a los muones. Al reconstruir la partícula Z, su energía puede informar a los científicos cuál era la energía que el quark debería haber tenido. Esta medición requiere de un colisionador de muy alta energía, y ahora que el LHC en el CERN está funcionando, ya se pueden hacer este tipo de mediciones. Se espera que este avance continúe impulsando al equipo de UC Davis.

INFORMACIÓN IMPORTANTE

ESTUDIOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE QUARKONIO PESADO EN COLISIONES DE IONES PESADOS RELATIVISTAS EN UC DAVIS.

OBJETIVOS

Medir la producción de los estados de quark-antiquark más pesados en colisiones de iones pesados. Las investigaciones se llevarán a cabo en los aceleradores de más alta energía para colisiones de iones pesados: con el detector STAR en el Colisionador de Iones Pesados Relativistas ubicado en el Laboratorio Nacional de Brookhaven (Long Island, NY) y con el detector CMS en el Gran Colisionador de Hadrones en el Centro Europeo para Física Nuclear (CERN, Ginebra, Suiza).

COLABORADORES

Profesor Daniel Cebrá, Universidad de California, Davis

PATROCINADORES DE LA INVESTIGACIÓN

Fundación Nacional de la Ciencia (NSF), contrato no. 0645773.

CONTACTO

Prof. Manuel Calderón de la Barca Sánchez
Investigador Principal

Department of Physics
University of California
One Shields Avenue
Davis, CA 95616-8677
USA

T 1 530 554 2209
E mcalderon@ucdavis.edu

MANUEL CALDERÓN DE LA BARCA

SÁNCHEZ nació en México D.F. y estudió la carrera de Ingeniería Física en Monterrey. Después de pasar un verano en el CERN, hizo el posgrado en Yale basado en investigación hecha en el experimento STAR en el Laboratorio Natl. Brookhaven. Su investigación continúa ahí, así como en el experimento CMS, estudiando colisiones de iones pesados a las más altas energías.

