

Jugando Billar con Neutrinos

Es difícil imaginar que alguien pueda jugar billar con neutrinos, pero los eventos de corrientes cargadas cuasi elásticos están más cerca del juego de billar de lo que piensas.

En estas interacciones de partículas, llamadas interacciones CCQE, un neutrino choca con una partícula estacionaria (un protón o un neutrón) dentro del núcleo de un átomo. Dos partículas emergen de las colisiones. Una es un muon, un pariente más pesado del electrón. La otra partícula es, ya sea un protón (si la partícula estacionaria es un neutrón) o un neutrón (si la partícula estacionaria es un protón).

Las interacciones de neutrinos que resultan de estas reacciones cuasi elásticas son similares a las colisiones que observamos en un juego de billar: alguien puede estimar la energía del neutrino incidente midiendo la dirección y la energía de solamente una de las partículas resultantes, con la condición de que conozca el tipo de las cuatro partículas que estuvieron en la interacción.

Estas interacciones CCQE son un tipo de interacción muy importante en los experimentos de oscilación de neutrinos presentes y futuros, tal como el experimento de neutrinos muy subterráneo, conocido como DUNE, auspiciado por Fermilab.

Las interacciones CCQE son especiales porque son colisiones de dos cuerpos, para las cuales la energía del entrante e invisible neutrino puede (bajo la suposición que el protón inicial estaba estacionario) ser calculada justo de la energía del muon saliente y de la dirección en la que viaja relativa a la dirección del neutrino original. Son similares a las interacciones elásticas que todo jugador de billar conoce excepto en un importante punto: las interacciones débiles permiten a las partículas cambiar de un tipo a otro, de aquí el nombre de cuasi elástica. En este juego de billar subatómico, la bola golpeadora (neutrino) chocará una bola roja estacionaria (protón), que emergerá de la colisión como una anaranjada (neutrón).

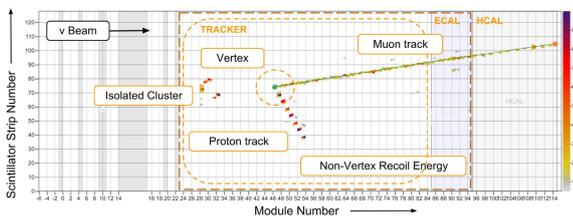


Figura 1. Un evento probable tipo CCQE reconstruido en MINERvA.

Desde que los más modernos experimentos de neutrinos usan blancos de núcleos pesados, que van desde el carbón hasta al argón, efectos nucleares y correlaciones entre los neutrones y protones dentro del núcleo pueden causar cambios significativos en las tasas de interacción observadas y modificaciones en la energía estimada del neutrino.

En MINERvA, los científicos identifican las interacciones CCQE por una larga traza de muon y potencialmente una o más trazas de protones. Sin embargo, este sello experimental puede ser producido por interacciones no CCQE debido a efectos nucleares dentro de los núcleos del blanco. Similarmente, efectos nucleares pueden también modificar el estado final de las partículas para [hacer que un evento CCQE parezca un evento no CCQE y viceversa](#).

Dado que los efectos nucleares pueden dificultar la identificación de eventos CCQE verdaderos, MINERvA reporta medidas basadas en las propiedades de las partículas del estado final solamente y los nombra eventos CCQE-probables (porque tendrán contribuciones de ambos eventos CCQE verdaderos y no CCQE). Un evento CCQE-probable es aquél que tiene al menos un muon saliente, y cualquier número de protones o neutrones y no mesones como partículas en el estado final. (Los mesones, como los protones y neutrones, están hechos de quarks. Los protones y neutrones tienen tres quarks; los mesones tienen 2).

MINERvA ha medido la probabilidad de evento CCQE-probables en las interacciones de neutrinos usando el haz de neutrinos de media energía de Fermilab con el flujo máximo a 6 GeV.

Comparado con las mediciones primeras de MINERvA, las cuales se llevaron a cabo con el haz de baja energía (3 GeV en el máximo del flujo de neutrinos), esta medición tiene la ventaja de un alcance de energía más amplio y mayor estadística: 1,318,540 eventos CCQE probables comparados con 109,275 eventos en las primeras tomas de baja energía.

MINERvA realizó estas mediciones de probabilidad de interacción CCQE como función del cuadrado del momento transferido por el neutrino al núcleo, el cual los científicos lo denotan como Q^2 . La Figura 2 de abajo muestra discrepancias entre los datos y las predicciones para las regiones de valores bajos y altos de Q^2 . Comparando las mediciones de MINERvA con varios modelos, podemos refinarlos y explicar mejor la física dentro de las condiciones del núcleo.

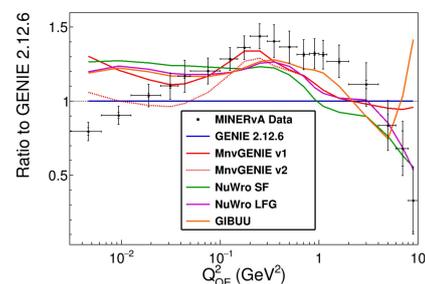


Figura 2. Razón de la sección eficaz de Q^2 de los datos y de varias predicciones con respecto a un modelo de interacción comúnmente usado.

MINERvA también ha hecho mediciones más detalladas de la probabilidad de la interacción del neutrino basadas en el momento del muon saliente. Ellos toman en cuenta el momento del muon que va a lo largo de la trayectoria del neutrino incidente y la dirección perpendicular a esta trayectoria. Este trabajo ayuda a los experimentos de neutrinos actuales y futuros a comprender sus propios datos en un rango amplio de la cinemática del muon.

Mateus Carneiro, originalmente del Centro Brasileño de investigación en Física y la Universidad del Estado de Oregon y ahora en el Laboratorio Nacional Brookhaven, y Dan Ruterbories de la Universidad de Rochester fueron los principales impulsores de este análisis. Los resultados fueron publicados en [Physical Review Letters](#).

Versión en inglés, Amit Bashyal, científico de la Universidad Estatal de Oregon en el experimento MINERvA.

Traducción al español, Everardo Granados Vázquez, estudiante de doctorado de la Universidad de Guanajuato, Colaboración MINERvA. Revisión, Julian Felix, Universidad de Guanajuato, Colaboración MINERvA.

Este trabajo es apoyado por la Oficina de Ciencia del DOE, la Fundación Nacional de Ciencia (NSF), la Coordinación para el Mejoramiento del Personal de Educación Superior en Brasil, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, el Proyecto Basal en Chile, la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, el Fondo Nacional de Chile para el Desarrollo Científico y Tecnológico, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica del Perú, la Dirección de Gestión de Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú, la Universidad Nacional de Ingeniería en Perú, el Centro Nacional de Ciencia de Polonia, y el Consejo de Instalaciones de Ciencia y Tecnología del Reino Unido.

Fermi National Accelerator Laboratory es apoyado por la Oficina de Ciencia del Departamento de Energía de los E.U.A. La Oficina de Ciencia es el mayor apoyo a la investigación básica en ciencias físicas en los Estados Unidos y está trabajando para abordar algunos de los desafíos más apremiantes de nuestro tiempo. Para más información visite [science.energy.gov](#).