

APLICACIONES DE LA DETECCIÓN DE NEUTRINOS EN GEOFÍSICA Y EN EL MONITOREO DE LOS REACTORES NUCLEARES

Alcala Silva Alejandra Yunuen (1); Dr. Ghislain Delepine David Yves (2)

1 [Bachillerato, Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León] | [maruibarra@ugto.mx]

2 [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, División de ciencias e ingenierías] | [delepine@ugto.mx]

Resumen

Los neutrinos son partículas fundamentales en la estructura del universo, pero paradójicamente son las menos entendidas. Estas partículas subatómicas producidas durante el decaimiento de elementos radioactivos los cuales pueden provenir de las estrellas, de la atmosfera o de los reactores nucleares. Son las partículas elementales de menos masa, no tienen carga eléctrica y son muy estables. De todas las partículas subatómicas de alta energía, los neutrinos son los únicos capaces de dar pistas sobre lo que ocurre en los procesos de muy alta energía y aportar datos astronómicos sobre los confines del universo. Los neutrinos viajan a una velocidad muy cercana a la de la luz (por esto es que se sabe que tienen una masa diferente de cero) pero que pasa desapercibida, esto se debe a que los neutrinos solo interactúan con la fuerza débil y la gravitatoria. Por ende, son capaces de viajar grandes distancias en la materia sin ser afectados. Los neutrinos tienen tres sabores los cuales dependen de la partícula que lo acompañe: electrónico, muónico y tauónico. Aunque la tierra solo produce el neutrino del electrón (conocido como geoneutrino)

Abstract

Neutrinos are the fundamental particles which comprise the structure of the universe, though they are the least understood. These subatomic particles are produced during the decay of radioactive elements originating from stars, the atmosphere or possibly from nuclear reactors. These elementary particles have little mass, no electric charge but are stable. Of all the high-energy subatomic particles, neutrinos are the only particles able to provide clues about what occurs during extreme high-energy processes, in addition to, providing astronomical insight towards understanding the confines of the universe. Neutrinos travel at velocity approaching the speed of light (this is how we know that the neutrino has a mass greater than zero) which typically goes unnoticed, because neutrinos only interact with a weak gravitational force. Thus neutrinos are able to travel great distances with little affect. Neutrinos can be comprised of three different configurations depending on the accompanying particle: electronic, muonic and tauonic. Although the Earth only produces the electron antineutrino (geoneutrino).

Palabras Clave

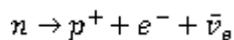
Partícula elemental; Decaimiento beta; Quiralidad; Oscilación; Rayos cósmicos

INTRODUCCIÓN

Hay 12 partículas fundamentales: seis quarks (eléctricamente cargados y con color) y seis leptones. Los neutrinos forman parte de la familia de los leptones. Se distinguen cuatro fuerzas fundamentales: la gravedad, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y débil.

El desarrollo del neutrino tomo más de 42 años. Todo empezó cuando se encontraron que cuando se hacían experimentos con el decaimiento beta al momento de medir la energía del electrón liberado (lo que ponía en duda el principio de la conservación de la energía).

- *James Chadwick en 1914 fue quien pudo determinar efectivamente que los electrones que salen del núcleo salen con un espectro continuo. Pauli se dio cuenta que cuando se introducía una tercera partícula en la reacción nuclear beta, se salvaba el principio de la conservación de la energía. A continuación, se muestra la ecuación propuesta por Pauli:*



- *Fermi en 1934 desarrollo la primera teoría exitosa del decaimiento beta, donde incorporaba la partícula propuesta por Pauli, también, Fermi denominó a esta partícula como “neutrino”[1].*
- *El objetivo de este reporte es ser más que nada de tipo divulgación para dar a conocer los avances que se han ido haciendo a lo largo de la historia en este tema.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Hay varias fuentes de neutrinos, pero en las que nos enfocamos fueron en las artificiales (reactores nucleares) y la tierra.

Los detectores en plantas nucleares los antineutrinos que salen de los reactores nucleares se emiten en gran cantidad y emiten una energía media de 4MeV. El detector usa la reacción de desintegración beta inversa (antineutrino más protón dando lugar a un neutrón más un antielectrón) para detectar antineutrinos.

Por su naturaleza la detección de neutrinos es muy difícil. La primera prueba se efectuó en 1967 por Reines y Cowan en 1956. Su experimento estaba a una distancia de 11m del reactor nuclear y 12m bajo tierra. Usaron dos tanques de agua con 200L y 40 Kg de Cloruro de Cadmio disuelto en cada uno. El antineutrino sale del reactor nuclear e interacciona con un protón del banco, dando lugar a un positrón y un neutrón. El positrón se aniquila con un electrón del material produciendo fotones y el neutrón marcha lentamente hasta ser capturado por el núcleo de cadmio, con una emisión de fotones de 15 microsegundos. Los destellos fueron capturados por 110 fototubos multiplicadores que contenía cada tanque. Sin embargo, los resultados de las mediciones arrojaron un resultado de un tercio del flujo de neutrinos esperados, lo cual despertó muchas dudas (las cuales se resolvieron hasta hace poco con la oscilación de neutrinos) [2][3][4].

El japonés Takaaki Kajita y el canadiense Arthur McDonald descubrieron la oscilación de los neutrinos. Los neutrinos se presentan en tres clases. El hecho de que puedan cambiar de un tipo a otro se debe a que poseen masa (aún no se sabe cuanta exactamente). Kajita observó la oscilación de los neutrinos en el SuperKamiokande, y vio que estos oscilaban entre dos estados. McDonald trabajó en el observatorio de Neutrinos de Sudbury, Ontario, Canadá, a más de dos mil metros bajo tierra, en una vieja mina de níquel, y allí observó que los neutrinos procedentes del Sol, no desaparecían sino que oscilaban entre dos tipos distintos, en forma similar a lo detectado por Kajita[5].

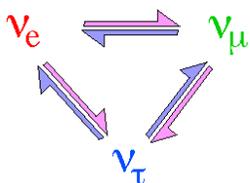
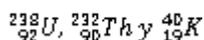


IMAGEN 1: Representación de la oscilación de neutrinos

Las reacciones de desintegración beta de isótopos radiactivos terrestres proporcionan una pequeña fuente de neutrinos, que se producen como consecuencia de la radiación natural del fondo. En particular, las cadenas de desintegración de:



Incluyen desintegración beta que emiten antineutrinos. Una primera indicación de geoneutrinos fue encontrado por el experimento KamLAND en el cual para detectar un antineutrino, esperan a que uno aplastara en un protón (p) en el detector. La colisión destruye el antineutrino el protón pero crea un positrón (e+) y un neutrón (n). El positrón y el neutrón hacen dos destellos de luz distintos en el detector, que son la firma del antineutrino. A medida que el positrón viaja a través del centelleado líquido de Kamland, emite luz en todas direcciones. Cuanto más rápido se mueve, más luz emite. Si pudieras verlo se parecería a una estrella fugaz microscópica. Después de mover sólo unos pocos centímetros, el positrón se ejecuta con un electrón (e-) aniquilándose. El centello y la aniquilación ocurre tan rápidamente que juntos parecen un breve destello de luz. Esta luz es detectada por fototubos montados en la superficie interior de la esfera de acero que sostiene el centellador líquido. Cuando la luz golpea el fototubo hace un pequeño pulso eléctrico [6].

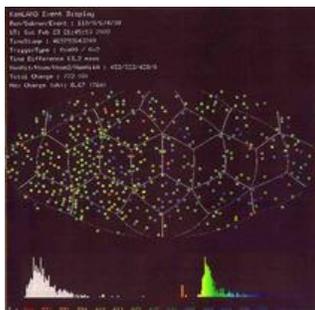


IMAGEN 2: Patrón de pulsos de fototubo para un positrón en KamLAND

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anteriormente se usaba un sistema que utilizan un medio diferente al acuoso, pero los detectores que se basaban en la colisión de neutrinos con electrones contenidos en un medio acuoso funcionan en el momento cuando se produce una emisión de luz característica, conocida como radiación de Cherenkov, que es captada por los fotomultiplicadores que recubren las paredes del recipiente. Como lo que se observa es una transmisión de momento lineal podemos inferir aproximadamente la masa de éstos y la dirección de la que proceden, mientras que con el anterior sistema de detección solo se podía calcular el flujo de neutrinos.

CONCLUSIONES

A lo largo de más de un siglo hemos aprendido mucho acerca de las interacciones débiles y de los neutrinos, más éste ha permanecido siempre envuelto en cierto aire de misterio. Desconocemos aún los valores de su masa y su momento magnético con precisión, aunque la existencia probada y confirmada en los últimos experimentos realizados apuntan a una masa no nula, salvo algunas propuestas más exóticas que reivindican el fenómeno de las oscilaciones como un espectro que va más allá de que tenga masa nula o no el neutrino. Otro problema aún por resolver es el de si es una partícula de Majorana (partícula=antipartícula) o de Dirac (partícula distinta de su antipartícula), así como el de la materia oscura y los rayos cósmicos de alta energía, que podrían involucrar a los neutrinos. El conocimiento de la verdadera naturaleza del neutrino y sus interacciones está a punto de ser desvelado.

AGRADECIMIENTOS

En este espacio quiero aprovechar para darle las gracias a mi familia, ya que ellos fueron los que me apoyaron desde el principio hasta el final. Al doctor Ghislain Delepine David Yves por haberme dado la oportunidad de hacer esta estancia de veranos UG con él. También al profesor Fernando Torres Pérez el cual hizo de mi conocimiento este programa. A la universidad de Guanajuato por

haber creado el programa y por su apoyo financiero.

REFERENCIAS

[1] Hernández, Juan. "El paradigma de los neutrinos y sus oscilaciones". (2001), 17 julio 2017. Recuperado de https://uam.es/personal_pas/txrf/neutrino/neutrino.html

[2] "¿Qué son los neutrinos?" (2016), 11 de julio 2017. Recuperado de http://descubriendo.fisica.unlp.edu.ar/descubriendo/index.php/%C2%BFQu%C3%A9_son_los_neutrinos%3F

[3]"Detection of the Free Neutrino: A confirmation", C.L. Cowan, Jr., F. Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse y McGuire, Science 124, 103 (1956).

[4] "The Neutrino", Frederick Reines and Clyde L. Cowan, Jr., Nature 178, 446 (1956)

[5] Guerrero, Teresa. "Nobel de Física para dos pioneros en el estudio de los neutrinos, las partículas elementales más escurridizas". Recuperado de: <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/10/06/5613975c22601dd4168b457d.html>. El Mundo A.C., 6 octubre. 2015. Web. 21 julio. 2017

[6] Tolich, Kazumi. "El detector de Anti-Neutrino de centelleo líquido Kamioka"(2006), 20 julio 2017. Recuperado de <http://kamland.stanford.edu/>