

# NEUTRINOS, OTRA VEZ

*Neutrinos, again*

JUVENAL CASTROMONTE SALINAS <sup>1</sup>



## RESUMEN

La verificación experimental del fenómeno denominado oscilación de neutrinos postulados por Takaaki Kajita y Arthur B. McDonald ha permitido que estos ganen el Premio Nobel de Física 2015. Dicho fenómeno significa que en su trayecto parte de los neutrinos de las radiaciones solares se transforman en otro tipo de neutrino, cumpliendo con la predicción teórica inicial.

*Palabras claves:* Neutrinos, radiación solar, partículas subatómicas, física.

## ABSTRACT

The experimental verification of the phenomenon known as neutrino postulated by Takaaki Kajita and Arthur B. McDonald has allowed them to earn the Nobel Prize in physics 2015.

This phenomenon means that part of the neutrinos from solar radiation on their way are transformed into another type of neutrino, fulfilling the initial theoretical prediction.

*Key words:* Neutrinos, solar radiation, subatomic particles, physics.

El Premio Nobel de Física del año 2015 se concedió, a los jefes de las Colaboraciones Super-Kamiokande y Sudbury Neutrino Observatory (SNO), Takaaki Kajita y Arthur B. McDonald, por las investigaciones realizadas sobre las propiedades del neutrino que, de todas las partículas elementales que a la fecha se conocen, son las más misteriosas, ligeras e imperceptibles.

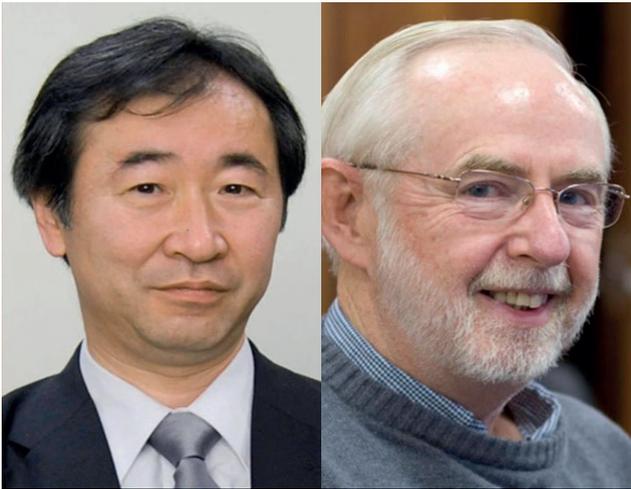
Los neutrinos son de tres tipos: neutrino electrónico,  $\mu$ -neutrino y  $\tau$ -neutrino. Pero, estos tres tipos de neutrinos no son estables, en

su desplazamiento se van transformando de un tipo a otro, puede nacer un neutrino como electrónico y al llegar al detector podría ser neutrino o neutrino). Este efecto físico se conoce con el nombre de oscilación de neutrinos y es precisamente por su verificación experimental que se ha concedido el premio (Figura N° 1).

Para entender la importancia de estos trabajos debemos remontarnos a la física de neutrinos de los años 1990s. Para entonces, los neutrinos ya se conocían como objeto de estudio de la física por más de 50 años; incluso, la oscilación de neutrinos es un modelo teórico propuesto en 1957 por Bruno Pontecorvo. Además, ya en 1988 se concedió un Premio Nobel por el descubrimiento del neutrino; y, otro en 1995 por el descubrimiento del primer neutrino: – el neutrino electrónico. Aunque parezca mentira, sucedió que el primer neutrino fue reconocido con el Premio Nobel después que el segundo neutrino descubierto. Y en el año 2002 se concede el premio por el descubrimiento de los neutrinos solares, a partir de entonces se empieza a tener el problema de las anomalías de los neutrinos originados en el Sol.

Desde el punto de vista teórico esta era una situación ambigua. Para entonces, la física conocía todo acerca de la “vida social” de

<sup>1</sup> Profesor Principal. Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia



Takaaki Kajita y Arthur B. McDonald.

los neutrinos pero nada acerca de su “vida personal”. Es decir, las reacciones de los neutrinos con otras partículas se explicaban en el marco de las interacciones débiles; además, la teoría admitía la posibilidad de que los neutrinos pudiesen oscilar, aunque estas oscilaciones aún no se habían observado, tampoco se había observado masa en los neutrinos. Sin embargo, la física teórica trataba de explicar las anomalías de los neutrinos a través de las oscilaciones, que solo era cuestión de mostrar experimentalmente la existencia de las oscilaciones. Este era el reto.

Los lugares donde nacen los neutrinos son la atmósfera, el Sol y la Tierra. La Tierra constantemente es bombardeada por rayos cósmicos de diferentes energías, básicamente por protones que colisionan con los núcleos de las moléculas en la alta atmósfera, generando un flujo secundario de partículas, entre ellas el  $\pi$ -mesón. Si este mesón en su trayectoria no colisiona con otro núcleo, entonces decae en una partícula  $\mu$ -mesón y en un  $\mu$ -antineutrino. Luego el  $\mu$ -mesón decae en un electrón,  $\mu$ -mesón antineutrino electrónico. Como resultado, esta cadena de decaimientos a la tierra los neutrinos llegan en una relación (por cada dos  $\mu$ -neutrinos, llega un solo neutrino

electrónico). Sin embargo, los experimentos, los primeros a inicios de los años 1980s, mostraban una relación sustancialmente menores a 2, lo que era inesperado.

En 1983, en Japón se puso en funcionamiento el experimento Kamiokande cuyo objetivo inicial era la búsqueda del decaimiento del protón. El detector era una cisterna llena de agua colocada dentro de una mina “abandonada” dentro de una montaña. Las paredes internas del detector estaban completamente recubiertas por películas fotográficas muy sensibles, para registrar las luminosidades de cualquier evento que sucediese dentro. Los neutrinos electrónicos o  $\mu$ -neutrino tienen suficiente energía para que al colisionar con núcleos atómicos se transformen en electrón o  $\mu$ -mesón, que vuela hacia adelante a gran velocidad e irradiando una luz que es registrada por el detector, lo que permite no solo detectar al neutrino sino también su tipo, su energía y la dirección de su movimiento. Estos experimentos se diferenciaban de los otros, que solo contaban a los neutrinos. Ciertamente, este método requiere de energías mínimas que para el caso de los neutrinos atmosféricos no representa problema alguno.

En 1988, Kamiokande, modernizado, logra medir el flujo de neutrinos electrónicos y  $\mu$ -neutrinos, mostrando que los  $\mu$ -neutrinos llegan en menor cantidad de lo esperado. Se recopilaban más datos y en 1991 se obtienen resultados más precisos que indicaban que la relación de 2 a 1, en promedio, solo alcanzaba una cantidad alrededor del 60% de lo esperado. La anomalía de los neutrinos atmosféricos era real, no se entendía cuál era la causa de ella. Una de las variantes para explicar esta anomalía era la oscilación, pero para ello era necesario demostrar que las oscilaciones de neutrinos efectivamente son reales.

A mediados de los años 1990s, el volumen de trabajo del detector de Kamiokande fue agrandado significativamente, lo que motivo adicionar el prefijo "super". Esto permitió incrementar el ritmo y la cantidad de registros de neutrinos, además de disminuir el margen de error. En 1998 Takaaki Kajita, hace una presentación a nombre de la colaboración Super-Kamiokande donde se hace evidente del lado opuesto de la Tierra llegan mucho menos  $\mu$ -neutrinos que de la atmosfera; para los neutrinos electrónicos no se observaba el mismo comportamiento. La "perdida" de los  $\mu$ -neutrinos significaba que en su trayecto parte de ellos se habían transformado en otro tipo de neutrino, que no eran precisamente electrónicos sino en un tercer tipo, el  $\tau$ -neutrino, que los detectores no eran capaz de registrar. Meses más tarde, otros dos grupos, Soudan-2 y MACRO confirmaron los resultados del grupo japonés. El sueño de la física teórica de neutrinos empezaba a adquirir forma real.

El segundo problema de la física de neutrinos era el problema de los neutrinos solares. Los neutrinos se originan en el centro del Sol como resultado del proceso de síntesis nuclear. La astrofísica actual permite conocer los procesos que suceden en el centro del Sol, lo que significa que es posible calcular el ritmo de producción y flujo de neutrinos que llegarán a la Tierra. Los experimentos para registrar los neutrinos solares se realizan desde los años 1960s; y, parte de estos resultados fueron galardonados el 2002.

La energía de los neutrinos solares es pequeña, lo que reforzó un nuevo problema. El experimento Homestake, en 25 años de trabajo, registró un flujo de neutrinos, en promedio tres veces menor que las predicciones de la astrofísica. En los años 1990s, estos resultados fueron confirmados por otros experimentos, entre ellos Gallex y SAGE. Se tenía la

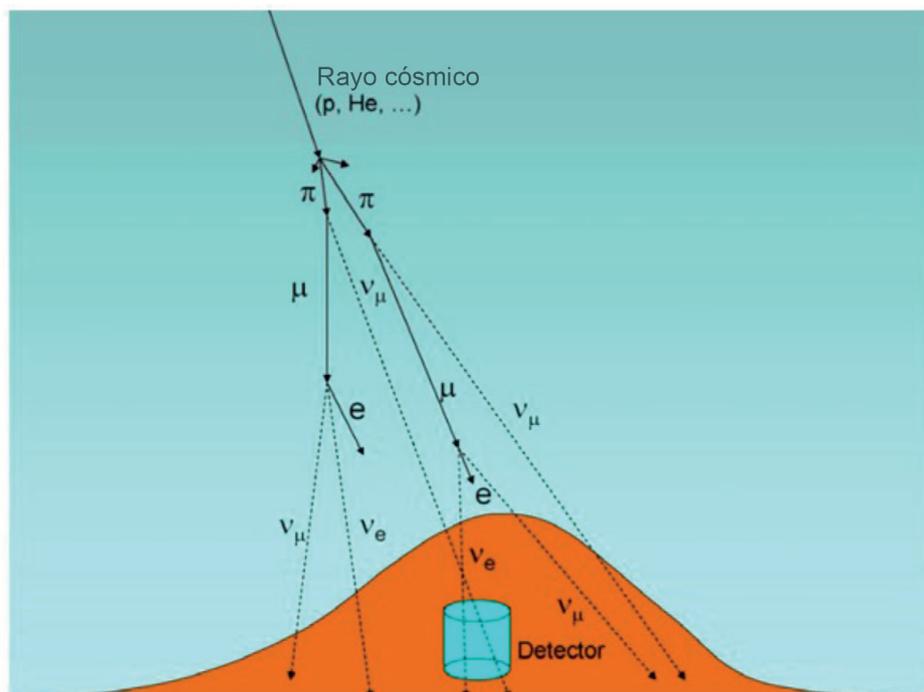


Figura N° 1. Fenómeno de la oscilación de neutrinos a partir de la radiación solar.

seguridad de que los detectores funcionaban correctamente por lo que muchos físicos las predicciones teóricas de la astrofísica tenían errores a corregir, sobre todo en la complejidad del modelo de los procesos dentro del Sol. Se hicieron ajustes al modelo pero el problema se mantenía por lo que era necesaria una explicación.

El modelo teórico de la oscilación de neutrinos era antiguo, según el cual que parte de los neutrinos electrónicos producidos en el Sol se transforman e otros tipos de neutrinos. Como los experimentos como Homestake y Gallex, debido a las características de su construcción, solo detectaban los neutrinos electrónicos y los otros eran ignorados. Para resolver el problema de los neutrinos se necesitaba un detector que fuese capaz de detectar todos los tipos de neutrinos, lo que permitiría observar que los neutrinos no desaparecían sino que, por oscilación, se transformaban de un tipo a otro. Esta tarea la cumplió parcialmente el Super-Kamiokande. Aquí es donde viene a jugar un papel importante el experimento SON que, a diferencia de Super-Kamiokande, en el detector usa agua pesada en lugar de agua simple. La colaboración SNO empieza a recopilar datos en 1998 y en dos publicaciones, en el 2001 y 2002, presenta sus resultados de medición del flujo completo de neutrinos, resultado que correspondía a las predicciones teóricas del modelo del Sol. (Figura N° 1).

Así, los experimentos Super-Kamiokande y SON presentaron resultados verificables sobre la oscilación de neutrinos. Con estos resultados desaparecieron los problemas de la física de neutrinos; sin embargo, la oscilación de neutrinos, que es una realidad, es ahora el nuevo objeto de estudio, en la búsqueda de indicios hacia una nueva física que pueda complementar al modelo estándar, unifique en una sola teoría los neutrinos, la materia oscura y el origen de la asimetría entre la materia y la antimateria en el universo y muchos otros problemas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nobel Foundation, Press Release. Published 6 October 2015. URL disponible en: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2015/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/press.html)
2. Fukuda Y et al. Super-Kamiokande Collaboration. Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos. *Phys Rev Lett.* 1998; 81:1562.
3. Ahmad QA et al. SNO Collaboration. Measurement of the rate of  $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$  interactions produced by 8B solar neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory. *Phys Rev Lett.* 2001; 87: 071301.

#### CORRESPONDENCIA:

Dr. Juvenal Castromonte Salinas  
e-mail: juvenal.castromonte@upch.pe