



La búsqueda de la masa de los neutrinos: una ventana al Universo

Description

El experimento KATRIN busca medir la masa de los neutrinos usando el decaimiento del tritio. Es el experimento más sensible que existe actualmente.

CONTENIDOS

Los neutrinos misteriosos neutrinos

Los neutrinos son unas partículas elementales que forman parte de la materia y que interactúan muy débilmente con el resto de las partículas. Son tan esquivos que pueden atravesar la Tierra sin chocar con nada, y solo se pueden detectar con experimentos muy sofisticados. Los neutrinos se producen en procesos nucleares como los que ocurren en el Sol, en las estrellas, en las explosiones de supernovas o en los reactores nucleares. También se generan en las desintegraciones de otras partículas, como los electrones o los protones.

Una de las propiedades más intrigantes de los neutrinos es que pueden cambiar de tipo o sabor, entre los tres que existen: electrónico, muónico y tau. Este fenómeno se llama oscilación de neutrinos y demuestra que los neutrinos tienen masa, aunque muy pequeña. Sin embargo, medir la masa de los neutrinos es una tarea muy difícil, que requiere de técnicas muy precisas y sensibles. Los físicos llevan décadas intentando averiguar cuánto pesan los neutrinos, y todavía no tienen una respuesta definitiva.

¿Cómo se mide la masa de los neutrinos?

Para medir la masa de los neutrinos, los físicos utilizan el decaimiento de isótopos radiactivos. El decaimiento es un proceso en el que un núcleo inestable se transforma en otro más estable, liberando energía y partículas. Por ejemplo, el tritio, una forma pesada del hidrógeno, se desintegra en helio-3, un electrón y un antineutrino. La energía total del decaimiento es conocida, y se reparte entre las partículas que se emiten. La mayor parte de la energía se lleva el electrón y el antineutrino, en forma de energía cinética y de energía de masa. El antineutrino se escapa sin ser detectado, pero el electrón se puede medir con un detector.

La clave para estimar la masa del neutrino es medir el espectro de energía de los electrones. Esto es, la distribución de las energías que tienen los electrones emitidos en el decaimiento. Si el neutrino no tuviera masa, el electrón podría tener la energía máxima posible. Esta sería la diferencia entre la energía total del decaimiento y la energía de masa del helio-3. Pero si el neutrino tiene masa, entonces el electrón no puede tener esa energía máxima, porque el neutrino se lleva una parte de la energía en forma de masa. Por tanto, la masa del neutrino se puede calcular a partir de la diferencia entre la energía máxima esperada y la energía máxima observada de los

electrones.

Medir la masa de los neutrinos

Actualmente, solo hay un experimento en el mundo que tiene una posibilidad de medir la masa de los neutrinos usando el método del decaimiento del tritio. Se trata del detector KATRIN, que se encuentra en Alemania y que tiene una forma de zepelín gigante. KATRIN usa tritio molecular en estado gaseoso y de gran pureza, y mide la energía de los electrones con un espectrómetro de alta precisión. El experimento empezó a funcionar en 2018 y ha publicado su primer resultado en 2021, poniendo un límite superior de 0,8 eV para la masa del neutrino.



El detector KATRIN investiga la masa de los neutrinos, unas partículas casi sin masa que cambian de tipo.

Para ello, usa el decaimiento del tritio, que emite neutrinos y electrones, y mide la energía de estos últimos.

Otros experimentos están desarrollando técnicas alternativas para medir la masa de los neutrinos, usando otros isótopos radiactivos y otros métodos de detección. Por ejemplo, el experimento HOLMES usa el decaimiento por captura electrónica del holmio-163, un [elemento de las tierras raras](#). En este proceso, un electrón del átomo es capturado por un protón del núcleo, que se convierte en un neutrón, liberando un neutrino y fotones. El electrón deja un hueco en la configuración de los electrones del átomo, y los demás electrones se reacomodan, liberando energía. Si el átomo de holmio está incrustado en un material, toda esa energía queda atrapada, produciendo una pequeña cantidad de calor que se puede medir con un detector muy sensible.

Dificultades para medir la masa de los neutrinos

Medir la masa de los neutrinos es un reto muy grande, que implica superar muchas dificultades técnicas y teóricas. Por un lado, los neutrinos son partículas muy ligeras, con masas de, como máximo, 0,12 eV, según las estimaciones de la cosmología. Esto significa que los efectos de la masa del neutrino en el espectro de energía de los electrones son muy pequeños, del orden de una parte en mil millones. Por tanto, se necesita una gran cantidad de isótopos radiactivos, una alta resolución en la medida de la energía y una baja contaminación de otras fuentes de ruido.

Por otro lado, los neutrinos son partículas muy complejas, que presentan fenómenos como la oscilación o la interferencia cuántica. Estos fenómenos implican que los neutrinos se pueden mezclar entre sí, cambiando de tipo y de masa. Además, los neutrinos pueden tener propiedades exóticas, como ser su propia antipartícula, lo que se llama neutrinos de Majorana. Estas propiedades pueden afectar a la forma de medir la masa de los neutrinos, y requieren de una buena comprensión de la física de los neutrinos.

¿Qué importancia tiene medir la masa de los neutrinos?

Medir la masa de los neutrinos es una de las cuestiones más importantes de la física de partículas y de la cosmología, ya que tiene implicaciones para el conocimiento de la naturaleza y del [origen del Universo](#). Los neutrinos son las partículas más abundantes después de los fotones, y juegan un papel clave en la evolución y la estructura del Universo. La masa de los neutrinos influye en la formación de las galaxias, en la expansión del Universo y en la materia oscura, que es una forma desconocida de materia que domina la masa del Universo.

Además, la masa de los neutrinos es un indicador de la existencia de nueva física más allá del modelo estándar, que es la teoría que describe las partículas y las interacciones fundamentales. El modelo estándar predice que los neutrinos no tienen masa, pero las observaciones de la oscilación de neutrinos demuestran que eso no es cierto. Por tanto, se necesita una extensión del modelo estándar que explique el origen de la masa de los neutrinos y su valor. Algunas posibilidades son la existencia de neutrinos estériles, que no interactúan con el resto de las partículas, o de dimensiones extra en el espacio-tiempo.

Te Puede Interesar:

Relación entre la masa de los neutrinos y la energía nuclear

La masa de los neutrinos y la [energía nuclear](#) están relacionadas de varias formas, tanto en el ámbito científico como en el social. Por un lado, la energía nuclear es una fuente de producción de neutrinos, tanto en las reacciones nucleares que ocurren en el Sol y en las estrellas, como en los reactores nucleares que se usan para generar electricidad. Estos neutrinos se pueden usar para estudiar la física de los neutrinos, como su masa, su oscilación o su interacción con la materia. También se pueden usar para estudiar la física nuclear, como la estructura de los núcleos, la fusión o la fisión.

Por otro lado, la energía nuclear es una fuente de controversia social, debido a sus riesgos y a sus implicaciones políticas y ambientales. La energía nuclear puede tener beneficios, como ser una fuente de energía limpia y

eficiente, que contribuye a la mitigación del cambio climático. Pero también puede tener inconvenientes, como ser una fuente de residuos radiactivos, que suponen un problema de gestión y de seguridad.

La expansión del Universo

La masa de los neutrinos también influye en [la expansión del Universo](#). Los neutrinos contribuyen a la densidad total de materia en el Universo. Si su masa es significativa, afectan la tasa de expansión cósmica. Por lo tanto, medir la masa de los neutrinos es crucial para comprender la evolución a gran escala del Universo.

Los neutrinos son las partículas más abundantes después de los fotones en el Universo. Su masa influye en la formación de estructuras a gran escala, como galaxias, cúmulos de galaxias y filamentos cósmicos. A medida que el [Universo se expande](#), los neutrinos, debido a su masa, afectan la velocidad de formación de estas estructuras. Cuanto más masivos sean los neutrinos, más lenta será su agrupación gravitatoria.