

LA TIERRA COMO REACTOR NUCLEAR Y EL USO DE LOS NEUTRINOS PARA SU ESTUDIO

Andrea Soledad Parrales Argueta (1) Dr. David Yves Ghislain Delepine (2)

¹ [6ACNE-M Escuela de Nivel Medio Superior de Salvatierra] | andy.arg124@gmail.com

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

Resumen

A base del entendimiento de la radiación en la materia, conocer las propiedades y características de los geo-neutrinos. De igual manera estudiar la posibilidad del uso de detectores de neutrinos para el monitoreo de fuentes radioactivas, tomando en cuenta el flujo de neutrinos, el número de blancos en el detector, la distancia del material al detector, la sección eficaz y la energía de los neutrinos emitidos; a base del decaimiento beta inverso. Para conseguir ilustrar el número de evento que encontraríamos en el detector. Y con ello poder diferenciar los materiales radioactivos con los que estemos trabajando. Se comenta también los principales proyectos internacionales dedicados a la detección de dichas partículas.

Abstract

Based on the understanding of radiation in matter, we study the properties and characteristics of geo-neutrinos. Similarly, we study the possibility of the use of neutrino detectors for the monitoring of radioactive sources, taking into account the neutrino flux, the number of targets in the detector, the distance of the material to the detector, the cross section and the energy of the neutrinos emitted; based on reverse beta decay. we illustrate the number of events that we should find in the detector. And with that we show how to differentiate the radioactive materials. The main international projects dedicated to the detection of these particles are also discussed.

Palabras Clave

Geo-neutrinos; Radiación; Reactor nuclear; Decaimiento Beta;

INTRODUCCIÓN

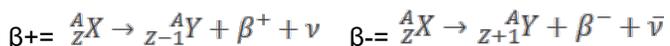
Radioactividad

Un material radioactivo es una sustancia que no presenta un balance correcto en sus partículas subatómicas (neutrones y protones) lo que ocasiona que sea más difícil que permanezcan unidas dichas partículas. Sin embargo, este desequilibrio se corrige de manera natural mediante la **radiación**. La radiación entonces, la podríamos definir como la liberación de partículas para corregir un desequilibrio en el átomo. Esta liberación se da paso en las reacciones nucleares que son “un proceso de combinación y transformación de las partículas y núcleos atómicos” [1] Tenemos de 2 tipos; de fisión (Que se produce cuando un núcleo pesado se divide en 2 o más núcleos ligeros) y de fusión (Cuando 2 o más núcleos ligeros se unen para dar paso a un núcleo más pesado). Es importante considerar que en todas estas reacciones nucleares se debe conservar la masa y la carga como lo dicta la ley de la conservación de la materia y la energía.

Conocemos 3 tipos diferentes de radiación: **alfa α , beta β y gama γ** . Pero nosotros nos concentraremos más en la **Beta**. Ya que es el único tipo de radiación del cual se emiten un tipo de partículas muy específicas llamadas **neutrinos**.

Radiación beta

[2] La partícula beta son exactamente electrones del núcleo. Dependiendo del tipo de radiación beta (β^+ positrón o β^- electrón) la emisión beta está acompañada por el desprendimiento de un antineutrino o un neutrino electrónico, que comparte el momento y la energía del decaimiento.



Los neutrinos

[3] Los primeros estudios del decaimiento beta revelaron una serie de anomalías en el espectro de la energía del electrón al momento del decaimiento, lo que los científicos no se explicaban y por ende comenzaron a surgir dudas sobre la veracidad de la ley de la conservación de la energía. Por lo que en 1930, Wolfgang Pauli propuso una partícula hasta entonces no observada que también participara en este proceso; que fuera muy ligera para no afectar la masa y que fuera neutra ya que es de muy difícil detección. Enrico Fermi les dio el nombre de neutrinos. Y no fue que hasta 1956 se demostró su existencia experimentalmente.

Los neutrinos pueden surgir de diferentes fuentes; tanto artificiales como naturales. Un ejemplo muy claro de los neutrinos naturales son los provenientes del sol; neutrinos solares o cósmicos. También podrían venir de materiales radioactivos por naturaleza dentro de la tierra que serían los geo neutrinos. Mientras que los artificiales, únicamente provienen de reactores nucleares o aceleradores de partículas producidos por el hombre

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en material bibliográfico y artículos de internet. La radioactividad así como los tipos de radiación fueron los temas con los que comenzamos a trabajar, para poder entender la propagación de los neutrinos. Después, a base de fórmulas se realizaron los debidos cálculos para obtener una relación entre el número de evento que se observa en el detector, con la energía emitida por los neutrinos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

[4] El decaimiento beta se describe como un átomo de A material que decae emitiendo partículas para producir un átomo más estable. Las partículas que emite son; un electrón (o positrón) y un anti-neutrino (o neutrino).

Nuestro objetivo es poder generar una relación entre los eventos que podemos detectar, y el material del que decaen las partículas encontradas en el detector.

En primer lugar, calculamos la variación con respecto al tiempo del número de átomos de nuestro elemento A con la siguiente formula:

$$N_A(t) = N_{A0} e^{-t/\tau_A} \quad \boxed{1}$$

Donde N_{A0} es el número inicial de átomos en el momento cuando el tiempo es iguala 0, y el exponencial esta elevado a, menos el tiempo entre el tiempo de vida del elemento A, sería lo mismo a decir $-\lambda_A t$ ya que la constante de desintegración del elemento (λ) está dada por $1/\tau_A$

Teniendo en cuenta que cada decaimiento produce únicamente un anti-neutrino, podemos relacionar la variación respecto al tiempo del número de átomos del elemento A con el tiempo de vida de dicho elemento de la siguiente manera:

$$N_v^A(t) = \frac{N_A(t)}{\tau_A} \quad \boxed{1/\text{sec}}$$

Obteniendo el número de antineutrinos producidos por el decaimiento del átomo A con respecto al tiempo. Con este dato, podemos conocer el flujo de neutrino que llega al detector, relacionándolo con la superficie en la que se propagan las partículas de la siguiente manera:

$$\Phi_v^A(t) = \frac{N_v^A(t)}{4\pi L^2} \quad \boxed{1/\text{sec}/\text{cm}^2}$$

Como las partículas no se emiten en una sola dirección, si no que se propagan hacia todos lados; utilizamos el área de la superficie de la esfera, como la superficie en la que se propagan las partículas, siendo L la distancia del material A hasta el detector.

Pero aún con estos datos, no es posible diferenciar un elemento de otros ya que todos trabajan de la misma manera; por ello es importante tomar en cuenta que la energía de los neutrinos varía dependiendo del elemento. Este espectro de energía producido por el decaimiento está dado por la siguiente relación:

$$\frac{d\Gamma_A}{dE_v} \propto E_v^2 (E_0^A - E_v)^2 \quad \boxed{J}$$

Donde E_v es la energía del neutrino y E_0^A es igual a $Q_A - m_e$ donde Q_A es la energía disponible de la diferencia de masa del átomo que se desintegra y las partículas que emite, pero esta cantidad depende del átomo que se desintegra.

La distribución en energía del flujo de los antineutrinos que llegan al detector con respecto del tiempo se puede calcular relacionando lo siguiente:

$$\Phi_v^{\text{total}}(E_v) = \lambda \frac{d\Gamma_A}{dE_v} \Phi_v^A(t) \quad \boxed{J/\text{sec}^2\text{cm}^2}$$

El decaimiento beta inverso, es decir, cuando un anti-neutrino y un protón se unen para formar una partícula cargada (e^-) y un neutrón es la reacción que se observa en los detectores. Este decaimiento tiene una energía umbral de $E_{th} = 1.8 \text{ MeV}$ y una sección eficaz igual a:

$$\sigma(\bar{\nu}_e + p \rightarrow ne^+) \simeq 9.30 \times 10^{-42} \left(\frac{E_\nu}{10 \text{ MeV}} \right)^2 \text{ cm}^2 \equiv \sigma(E_\nu)$$

En una eficiencia perfecta del detector, podemos calcular el número de eventos con respecto del tiempo de la siguiente manera:

$$N_{evento}(t) = N_p (\Phi_\nu^A(t) \int_{E_{th}}^{E_0^A} \sigma(E_\nu) \lambda \frac{d\Gamma_A}{dE_\nu} dE_\nu)$$

Donde N_p es el número de blancos (protones) en el detector.

La integral la podemos resolver si sustituimos $\frac{d\Gamma_A}{dE_\nu}$ por $E_\nu^2(E_0^A - E_\nu)^2$ de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \sigma \lambda \int_{E_{th}}^{E_0^A} E_\nu^2 (E_0^A - E_\nu)^2 (E_\nu^2) dE_\nu \\ & \sigma \lambda \int_{E_{th}}^{E_0^A} (E_\nu^6 + E_0^{A2} E_\nu^4 - 2E_0^A E_\nu^5) dE_\nu \\ & \sigma \lambda \left(\frac{E_\nu^7}{7} + \frac{E_0^{A2} E_\nu^5}{5} - \frac{E_0^A E_\nu^6}{3} + C \right) \end{aligned}$$

Al resolver dicha integral definida teniendo en consideración el valor de $E_{th} = 1.8 \text{ MeV}$ nos da como resultado:

$$\left(\frac{E_0^{A7}}{105} \right) - (8.74 + 3.77E_0^{A2} - 11.33E_0^A)$$

Y al sustituir tenemos:

$$N_{evento}(t) = N_p \left\{ \Phi_\nu^A(t) \left(\sigma \lambda \left[\left(\frac{E_0^{A7}}{105} \right) - (8.74 + 3.77E_0^{A2} - 11.33E_0^A) \right] \right) \right\}$$

Con estos cálculos, podemos ilustrar el número de evento escogiendo los parámetros como son; el tiempo de vida de la sustancia radioactiva, la sección eficaz, la energía de los neutrinos, la distancia al detector y el flujo de dichos neutrinos de manera arbitraria. Obteniendo como resultado:



Tabla 1: Valores arbitrarios utilizados para la graficación.

N_p	2.41 E+26	Número de protones en 1 lt. de agua
Φ_{ν}^A	6.1 E+10	Flujo de los neutrinos solares
σ	1.27 E-41	Sección Eficaz con una $E_{\nu} = 2.2 \times 10^{-12} J \approx 13.73 MeV$
λ	2.57 E-9	12.32 años en el tiempo de vida del tritio.

CONCLUSIONES

[5] En la actualidad, existen varios experimentos de neutrinos como son el Súper Kamiokande en Japón, Palo Verde en Estados Unidos o Chooz en Francia; los cuales permiten y se enfocan en determinar las propiedades fundamentales de los neutrinos. Esta labor es algo muy complicado considerando que su detección es muy difícil debido a que son partículas neutras que casi no interaccionan con la materia. Por ello la manera de detectarlas es observando los cambios que ocurren cuando chocan con otra partícula de fácil detección. Estas técnicas y métodos desarrollados para el estudio de los neutrinos de altas energías es aplicable, entre muchas otras ramas, en la física nuclear, específicamente en el monitoreo de reactores nucleares. El uso de detectores de antineutrinos podría facilitar la vigilancia de los reactores, dado que esta técnica proporciona información directa sobre la composición de los materiales de los cuales se emiten los neutrinos, como serían plantas nucleares o reactores. Sin necesidad de entrar en contacto con ellos.

En esta investigación, exploramos principios en los cuales se basa el monitoreo de reactores nucleares con neutrinos, usando un modelo sencillo, determinamos como depende el número de evento que podrían ser detectados, con la composición nuclear del material el cual nos interesa conocer. Y así poder apreciar su importancia en la física.

REFERENCIAS

- [1] Felipe Moreno Romero, (2007). Elementos básicos de física nuclear. EscritorioCientífico. 28/06/2018. Recuperado de <http://www.escritoscientificos.es/trab1a20/carpetas/nuclear/nu04.htm>
- [2] M Olmo R Nave, (Sin año). Radioactividad beta. Hyperphysics. 28/06/2018. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/beta.html>
- [3] Michele Maltoni (2016). Neutrinos: La Luz invisible. Los limits de la fascia fundamental. 28/06/2018. Recuperado de <http://youtu.be/eOhOPiJVvYc>
- [4] David Delepine Edgar Casimiro Linares José-Antonio Hernández Valencia & Gerardo Moreno (2009). Uso de detectors de neutrinos para el monitoreo de reactores nucleares. Acta Universitaria. Vol. no. 19 pp. 6-7
- [5] David Delepine Edgar Casimiro Linares José-Antonio Hernández Valencia & Gerardo Moreno (2009). Uso de detectors de neutrinos para el monitoreo de reactores nucleares. Acta Universitaria. Vol. no. 19 pp. 5-6, 8