

Proyecto Trabajo Especial de Grado

Estudiante: Graciela Medina

Tutor: R. Omar Rodriguez.

1.- Título

Oscilación entre Neutrinos de dos Especies

2.- Resumen

En el presente trabajo, se hace una revisión sobre las transformaciones periódicas entre los neutrinos de sabor y de su relación con la masa de los mismos [1]. También se contrastan la predicción teórica con la data experimental [2].

3.- Planteamiento del Problema

En el decaimiento β^- un neutrón se convierte en un protón, un electrón y un antineutrino electrónico

$$n \longrightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e, \quad (1)$$

y en el decaimiento β^+ un protón deviene en un neutrón, un positrón y un neutrino electrónico

$$p^+ \longrightarrow n + e^+ + \nu_e. \quad (2)$$

En cualquier caso, el leptón e , o electrón, siempre esta acompañado por una partícula neutra, el neutrino electrónico ν_e .

Por otro lado, el leptón μ , o muon, a pesar de diferir del electrón solo en la masa, $m_\mu \simeq 200m_e$, aparece en las reacciones acompañado por un neutrino diferente, ν_μ . Por ejemplo, al impactar un haz de neutrinos producido en un acelerador con un neutrón en un núcleo se producen las siguientes reacciones

$$\nu_e + n \longrightarrow p^+ + e^- \quad \text{y} \quad \nu_\mu + n \longrightarrow p^+ + \mu^-, \quad (3)$$

mientras que las reacciones

$$\nu_e + n \longrightarrow p^+ + \mu^- \quad \text{y} \quad \nu_\mu + n \longrightarrow p^+ + e^-, \quad (4)$$

nunca han sido observadas.

Lo propio sucede con el tercer leptón, el τ . Este es mucho más masivo que el electrón, $m_\tau \simeq 3500m_e$, y esta asociado con otro neutrino, ν_τ . Por lo tanto, existen tres tipos de neutrinos asociados a cada una de las familias leptónicas: neutrino electrónico ν_e , neutrino muónico ν_μ y el neutrino tauónico ν_τ . Esto fue establecido experimentalmente con el acelerador de partículas LEP (CERN)¹ en 1990, al menos para un rango de energía menor a 100Gev.

Por simplicidad, en este trabajo se esta interesado en el estudio de la oscilación cuántica entre dos especies de neutrinos [1–3], mecanismo por medio del cuál pueden pasar de una familia a otra (es decir, cambiar de sabor). Este efecto implica directamente que éstos han de tener una masa no nula, ya que el paso de un sabor a otro sólo puede darse en partículas masivas. En tal sentido, los neutrinos de sabor se pueden pensar como una combinación lineal de neutrinos masivos

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{e1} & a_{e2} \\ a_{\mu1} & a_{\mu2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix},$$

¹LEP y CERN son acrónimos de los nombres del colisionador *Large Electron-Positron* y del instituto de investigación *European Organization for Nuclear Research* respectivamente.

al igual que un nucleón. Es decir, los protones y neutrones están constituidos por partículas elementales masivas llamadas quarks. En consecuencia, el estado que define a un nucleón puede ser entendido como una combinación lineal de los estados bases asociados a los quarks. De esta manera se entiende técnicamente como los quarks dotan de masa a los nucleones [4]. Sin embargo, y a diferencia de los nucleones, esta combinación de neutrinos masivos debe ser linealmente independiente ya que los neutrinos de sabor son partículas elementales.

4.- Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión detallada del mecanismo de oscilación entre dos especies de neutrinos, ν_e y ν_μ .

Objetivos Específicos

1. Mostrar que la lagrangiana de Dirac

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}\gamma^\mu\partial_\mu\psi - m\bar{\psi}\psi, \quad (5)$$

es

- Invariante de Lorentz e invariante U(1) si el campo es de Dirac.
- Invariante de Lorentz pero no es invariante U(1) si el campo es de Majorana

$$\psi = \psi^c \equiv i\gamma^2\gamma^0\bar{\psi}^T. \quad (6)$$

En consecuencia, se tiene que un espinor de Majorana masivo no tiene carga.

2. Con ψ un espinor de Majorana y haciendo $\psi \rightarrow \nu$ en (5), incorporar otra especie de neutrinos

$$\mathcal{L} = \bar{\nu}_i\gamma^\mu\partial_\mu\nu_i - m_i\bar{\nu}_i\nu_i \quad \text{con } i = e, \mu, \quad (7)$$

y representar la lagrangeana en términos de otra base, ν_1 y ν_2 , mediante el cambio

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix},$$

siendo θ el ángulo de mezclado.

3. Mostrar que la probabilidad de que a un tiempo t el neutrino muón

- Sea observado como un neutrino electrón viene dada por

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{m_2^2 - m_1^2}{4E_\nu} x \right). \quad (8)$$

- Sea observado como él mismo, resulta

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{m_2^2 - m_1^2}{4E_\nu} x \right), \quad (9)$$

donde m_1 y m_2 son las masas de ν_1 y ν_2 , x es la distancia recorrida y E_ν es la energía del neutrino ν_μ .

4. Contrastar (8) y (9) con los resultados experimentales.

5.- Metodología y plan de trabajo

- **Revisión bibliográfica:** Durante la primera parte del trabajo, resulta imperativo realizar una amplia revisión de los textos indicados en la sección de referencias. Esto permitirá puntualizar las dificultades técnicas y conceptuales a superar durante el desarrollo de la monografía. Para ello, se considerará el esquema de conceptos de las siguientes referencias
 - Objetivo 1: Se seguirá el texto [4, Capítulo 5, Sección 5.9] y el artículo [3, Capítulo 6, Sección 6.2].
 - Objetivo 2: Se tratará acorde a [1, Capítulo 8, Sección 8.4].
 - Objetivos 3 y 4: En [2, Part I, Sección 1] se muestra un desarrollo teórico y conceptual de este apartado, así como los resultados experimentales a contrastar.
- **Desarrollo del problema:** El estudiante fundamentalmente ampliará y profundizará la información presente en los textos de física recomendados hasta alcanzar una comprensión satisfactoria del tema. Para tal fin, el estudiante desarrollará un conjunto de asignaciones provistas por el tutor que luego serán tratadas en el marco de una serie de sesiones de discusiones semanales, y dentro de la asignatura Seminario, donde el estudiante expondrá sistemáticamente el material revisado y analizado.
- **Fase final:** Durante este período, analizaremos e interpretaremos los resultados alcanzados, tratando de entender las posibles implicaciones físicas y matemáticas a la que hubiere lugar. La idea consiste en redactar una monografía donde se expongan organizadamente los alcances más significativos, así como también, las conclusiones y recomendaciones que a nuestro parecer resulten pertinentes.

Es importante resaltar, que la dinámica presente en la investigación inevitablemente cruzará en varias oportunidades las diferentes fases de la metodología planteada aquí, lo cual consideramos de suma importancia para el enriquecimiento del trabajo. No obstante, nos gustaría ofrecer una cierta distinción entre ellas: Las dos primeras fases del trabajo se realizarán en el marco, y como complemento, de la asignatura Seminario (Marzo-Abril 2015). La fase final fundamentalmente se desarrollará a lo largo de la asignatura Trabajo Especial de Grado (Abril-Julio 2015).

6.- Alcance y Limitaciones

Consideramos que no existe ninguna limitación para el desarrollo del proyecto, puesto que se cuenta con los recursos necesarios para tal fin. Parte de la bibliografía se encuentra en la biblioteca del Postgrado en Ciencias así como en la base de datos presentes en la red: <http://inspirehep.net>.

Este trabajo no pretende ser más que una revisión del tema en cuestión. Sin embargo, conlleva a la continuidad del proceso de formación en el ámbito de la investigación iniciada por el estudiante en el pregrado.

Referencias

- [1] Ramond Pierre, “Journeys Beyond The Standard Model”, Westview Press (1999).
- [2] Basdevant Jean-Louis and Dalibard Jean, “The quantum mechanics solver”, Springer (2005).
- [3] P. B. Pal, “Dirac, Majorana and Weyl fermions,” Am. J. Phys. **79**, 485 (2011) [arXiv:1006.1718 [hep-ph]].
- [4] F. Gross, “Relativistic quantum mechanics and field theory,” New York, USA: Wiley (1993) 629 p