



Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

Tutor/a: José Ignacio Illana Calero

Departamento y Área de Conocimiento: Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Área de Física Teórica

Cotutor/a:

Departamento y Área de Conocimiento:

Título del Trabajo: La masa de los neutrinos y los cambios de sabor

Tipología del Trabajo: (Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)	(Marcar con X)	1. Revisión bibliográfica		4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio	
		2. Estudio de casos teórico-prácticos	X	5. Elaboración de un proyecto	
		3. Trabajos experimentales		6. Trabajo relacionado con prácticas externas	

Breve descripción del trabajo:

Hoy sabemos que los neutrinos son partículas masivas, pues experimentan el fenómeno cuántico de las oscilaciones de sabor. Según el Modelo Estándar, las partículas elementales son excitaciones de campos cuánticos que deben su masa a la interacción con el campo de Higgs, cuando este adquiere un valor esperado no nulo en el vacío (ruptura espontánea de la simetría electrodébil). Sin embargo, resulta poco natural que las masas de los neutrinos provengan exclusivamente del mecanismo de Higgs, ya que son extremadamente pequeñas, muchísimo más que la escala electrodébil. Además, los neutrinos son los únicos fermiones del Modelo Estándar que podrían ser su propia antipartícula (autoconjugados de carga), lo que permite que adquieran masa de otras formas compatibles con la simetría gauge (aunque sea renunciando a la conservación del número leptónico, lo que por otro lado abre interesantes posibilidades).

Con este trabajo se pretende indagar sobre el posible origen de las masas de los neutrinos, elaborando razonadamente los argumentos anteriores y explorando el mecanismo de *seesaw* (balancín), que explica por qué los neutrinos observados son tan ligeros. Por otro lado, este mecanismo predice la existencia de otros neutrinos más allá de los tres neutrinos ligeros que hemos visto oscilar y a los que el bosón Z decae según predice el Modelo Estándar. Que los neutrinos sean masivos no solo hace posible las oscilaciones sino también permite que puedan darse procesos con cambio de sabor de leptones cargados (cLFV) que de otra forma estarían prohibidos. Como aplicación, se propone calcular la probabilidad del proceso $\mu \rightarrow e\gamma$ debido solo a la contribución de los tres neutrinos ligeros y compararla con la contribución de los otros neutrinos en un modelo de *low scale seesaw* genérico, en el que se maximizan los efectos.

Objetivos planteados:

- Comprender qué es la masa de una partícula elemental y por qué se introduce el mecanismo de Higgs.
- Entender la diferencia entre fermiones de Dirac y fermiones de Majorana (autoconjugados de carga).
- Escribir los posibles términos de masa de un neutrino compatibles con la simetría gauge del Modelo Estándar.
- Estudiar el mecanismo de *seesaw* como posible explicación de la ligereza de las masas de los neutrinos.
- Describir distintos modelos de *seesaw*.
- Aprender las técnicas de cálculo de amplitudes a un *loop* en teoría cuántica de campos.

Metodología:

- Se utilizarán conceptos y herramientas de la asignatura de "Teoría de campos y partículas": la cinemática relativista (masa y energía), partículas y antipartículas (conjugación de carga), campos espinoriales (Dirac y Majorana), la simetría gauge (origen de las interacciones), la ruptura espontánea de la simetría gauge y el mecanismo de Higgs (origen de las masas), los tipos de términos de masa de un fermión (de Dirac y de Majorana), la existencia de varias familias de fermiones (origen de las oscilaciones de neutrinos y de procesos con cambios de sabor de quarks y leptones cargados).



- Las propiedades de los neutrinos de Majorana y el mecanismo de seesaw se estudia en detalle en [1] y [2].
- Los distintos modelos de *seesaw* pueden consultarse por ejemplo en el primer capítulo de [3].
- En [4] se presenta un modelo de *low scale seesaw* genérico con cinco neutrinos de Majorana (tres activos y dos estériles) que captura todos los efectos de sabor relevantes. Con él se calculan algunos procesos de eLFV como el que se pide.
- Para la realización y presentación de los cálculos algebraicos y numéricos será necesario usar programas informáticos (Mathematica, FORM, Python, ...)

Bibliografía:

- [1] E. Akhmedov, *Majorana neutrinos and other Majorana particles: Theory and experiment*, in "The Physics of Ettore Majorana: Theoretical, Mathematical, and Phenomenological" by S. Esposito, pp. 303-353, Cambridge University Press, 2014 [[arXiv:1412.3320 \[hep-ph\]](#)].
- [2] S. Bilenky and C. Giunti, *Neutrinoless Double-Beta Decay: a Probe of Physics Beyond the Standard Model*, Int. J. Mod. Phys. A **30**, no.04n05, 1530001 (2015) [[arXiv:1411.4791 \[hep-ph\]](#)].
- [3] X. Marcano, *Lepton flavor violation from low scale seesaw neutrinos with masses reachable at the LHC*, PhD Thesis, Universidad Autónoma de Madrid. [[arXiv:1710.08032 \[hep-ph\]](#)].
- [4] G. Hernández-Tomé, J.I. Illana, M. Masip, G. López Castro and P. Roig, *Effects of heavy Majorana neutrinos on lepton flavor violating processes*, Phys. Rev. D **101**, no.7, 075020 (2020) [[arXiv:1912.13327 \[hep-ph\]](#)].

A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG

Alumno/a propuesto/a: Pablo López Expósito

Granada, de 2020

Sello del Departamento