



## 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:

Física de precisión en oscilaciones de neutrinos

### 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             | X | 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:

El fenómeno de las oscilaciones de neutrinos, que certifica que estos tienen masa y sus sabores se mezclan, se encuentra perfectamente establecido. Actualmente se han logrado determinar los tres ángulos de mezcla ( $\theta_{12}$ ,  $\theta_{13}$ ,  $\theta_{23}$ ) y las dos diferencias de cuadrados de masas ( $\Delta_{21}$ ,  $|\Delta_{31}|$ ) de las tres familias de neutrinos ligeros del Modelo Estándar [1]. Sin embargo, queda pendiente conocer si la *jerarquía de masas* es normal o invertida (el signo de  $\Delta_{31}$ ), el *octante* de  $\theta_{23}$  (si es mayor o menor que  $45^\circ$ ) y si la *fase de CP* ( $\delta_{13}$ ), la única en el esquema de tres sabores, es o no nula.

Por otro lado, se han detectado varias *anomalías* en experimentos de base corta (SBL) que parecen sugerir la existencia de uno o varios *neutrinos estériles* (singletes, que no experimentan la interacción débil como el resto de los neutrinos estándar) con una masa del orden del electrón-voltio. En el escenario extendido más sencillo (3+1), donde solo participa un neutrino estéril, hay tres nuevos ángulos de mezcla ( $\theta_{14}$ ,  $\theta_{24}$ ,  $\theta_{34}$ ) y dos nuevas fases de CP ( $\delta_{14}$ ,  $\delta_{34}$ ). Las fases de CP, sean o no la estándar, se pueden observar gracias a los efectos de interferencia entre distintas frecuencias de oscilación, por lo que solo los experimentos de base larga (LBL) son sensibles a las nuevas fases de CP [2].

Los actuales y especialmente los futuros experimentos de oscilaciones de neutrinos están entrando en la era de la precisión, lo que les convierte en el lugar ideal para investigar posibles desviaciones del Modelo Estándar y quizá resolver algunos de los misterios que la física de partículas tiene planteados, como el origen de la asimetría materia-antimateria o la naturaleza de la materia oscura.

El trabajo consiste en explicar la física de las oscilaciones de neutrinos, investigar su fenomenología y describir los resultados experimentales actuales, así como las perspectivas de futuro, analizando sus implicaciones.

### Objetivos planteados:

- Comprender el *fenómeno cuántico de las oscilaciones* de neutrinos [3], así como conocer las distintas *fuentes* de neutrinos (solares, atmosféricos, reactores, aceleradores) y los tipos de *experimentos* que nos permiten dilucidar los parámetros (*masas y ángulos de mezcla*) que describen las oscilaciones.
- Deducir la *fórmula general de las probabilidades de oscilación* para tres familias de neutrinos, incluyendo los *efectos de propagación en materia* [4]. Estos últimos son relevantes en los experimentos de LBL y se calculan de forma exacta mediante simulaciones numéricas si hay más de tres familias involucradas.
- Conocer la sensibilidad de los actuales experimentos de neutrinos de aceleradores, Nova y T2K y de los futuros DUNE, T2HK [5] para potencialmente descubrir *nuevas fuentes de violación de CP debidas a neutrinos estériles* [6].
- Analizar la información complementaria que aportan las oscilaciones de neutrinos atmosféricos detectados en *telescopios de neutrinos*, como IceCube [7], o los observables de precisión y de sabor en *colisionadores de partículas*.



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Facultad de Ciencias  
Sección de Físicas

### Metodología:

Se utilizarán:

- Lenguajes y programas informáticos de cálculo algebraico (Mathematica) y numérico (Fortran, C) para obtener resultados.
- Bases de datos de revistas y preprints, accesibles en la web, para la bibliografía.
- Procesadores avanzados de textos científicos (LaTeX, LyX) para la elaboración de la memoria.

### Bibliografía:

- [1] M.C. González-García, *et al.*,  
*Updated fit to three neutrino mixing: exploring the accelerator-reactor complementarity*,  
JHEP **1701**, 087 (2017) [arXiv:1611.01514 [hep-ph]].
- [2] N. Klop and A. Palazzo,  
*Imprints of CP violation induced by sterile neutrinos in T2K data*,  
Phys. Rev. D **91** (2015), no. 7 073017 [arXiv:1412.7524].
- [3] E.K. Akhmedov and A.Y. Smirnov,  
*Paradoxes of neutrino oscillations*,  
Phys. Atom. Nucl. **72** (2009) 1363 [arXiv:0905.1903 [hep-ph]].
- [4] H. Nunokawa, S.J. Parke and J.W.F. Valle,  
*CP Violation and Neutrino Oscillations*,  
Prog. Part. Nucl. Phys. **60** (2008) 338 [arXiv:0710.0554 [hep-ph]].
- [5] K. Chakraborty, K.N. Deepthi and S. Goswami,  
*Spotlighting the sensitivities of T2HK, T2HKK and DUNE*,  
arXiv:1711.11107 [hep-ph].
- [6] S.K. Agarwalla, S.S. Chatterjee and A. Palazzo,  
*Signatures of a Light Sterile Neutrino in T2HK*,  
arXiv:1801.04855 [hep-ph].
- [7] M. Blennow, E. Fernández-Martínez, J. Gehrlein, J. Hernández-García and J. Salvado,  
*IceCube bounds on sterile neutrinos above 10 eV*,  
arXiv:1803.02362 [hep-ph].

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

Alumno/a propuesto/a: Mario Fernández Navarro

Granada, 25 de abril de 2018



Sello del Departamento