



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Idoneidad de un sensor de silicio de última generación para detectar fotones en el experimento de neutrinos DUNE.

Descripción general (resumen y metodología):

Resumen:

Los neutrinos pueden tener la clave para entender por qué el Universo contiene materia, pero sin embargo no vemos trazas de antimateria. Para averiguar esto, un gran esfuerzo internacional está creciendo alrededor del futuro experimento de neutrinos DUNE. Este experimento estudiará neutrinos producidos en el acelerador de Fermilab (EE.UU). Los neutrinos serán medidos dos veces: primero, muy cerca de la fuente, con un detector cercano y después, con un detector lejano, tras un viaje de 1300 km

El detector lejano de DUNE estará compuesto de 4 módulos que se basarán en la tecnología de las cámaras de proyección temporal con argón líquido. En estas cámaras, cuando una partícula interactúa y deposita energía ocurren dos cosas: i) algunos átomos se ionizan y producen electrones libres (señal de carga). ii) Otros átomos simplemente se excitan y al desexcitarse emiten fotones (señal de luz o centelleo). Esta señal de luz es crucial en el detector para determinar el tiempo de las interacciones. En DUNE se ha decidido que para detectar esta señal de luz se usarán modernos detectores de silicio, denominados SiPM. Estos fotosensores de estado sólido han mostrado ser una excelente alternativa a los voluminosos PMTs que tradicionalmente se han usado en los experimentos de física de partículas. Esto se debe a que los SiPMs tienen una excelente resolución. Además, otras características muy ventajosas son su reducido tamaño, su precio económico y su pureza.

Los SiPMs que se instalarán en los primeros dos módulos de DUNE son sensibles a luz en el rango visible (~400 nm). Por ello, para detectar los fotones de 128 nm que emite el argón hay que utilizar una serie de filtros que desplazan esta longitud de onda. Esto se traduce en una eficiencia global de detección de fotones del ~3%. Este valor es suficiente para alcanzar los primeros objetivos de DUNE. Sin embargo, de cara a mejorar las prestaciones del detector hay dos proyectos que están compitiendo por ser la tecnología que aumente la colección de fotones en DUNE: PoWER y APEX. De estas dos propuestas, PoWER busca aumentar el número de fotones detectados utilizando SiPMs que sean sensibles al rango del ultravioleta en el vacío.

Es por ello que **el objetivo de este proyecto sea caracterizar los nuevos SiPMs desarrollados por la empresa japonesa Hamamatsu para detección de longitudes de onda por debajo de los 200 nm**. Estudiaremos un SiPM de la serie S13371 (que ya está disponible en nuestro laboratorio) y una versión mejorada de este que estará a la venta a partir del verano de 2025.

A lo largo del trabajo se determinará la ganancia, el voltaje de ruptura y las curvas de intensidad y voltaje, así como las cuentas oscuras y el ruido correlacionado de estos sensores de luz. Las medidas se harán tanto a temperatura ambiente como a temperatura criogénica (77K).

En el supuesto de que los primeros resultados sean prometedores, pasaremos a una segunda fase de caracterización en la que se medirá la eficiencia de fotodetección de los sensores para diferentes longitudes de onda, y en particular para longitudes en el rango ultravioleta. Para ello habrá que poner en marcha y utilizar una lámpara pulsada de xenón recientemente adquirida para nuestro laboratorio, así como un monocromador de doble paso DMC150.

Metodología:

Para la realización de este proyecto se trabajará en el laboratorio de criogenia del Dpto. de Física Teórica y del Cosmos (situado en el Polígono Tecnológico de los Ogjares), el cual cuenta con personal de apoyo cualificado para tareas de electrónica y un suministro regular de nitrógeno líquido.

En la primera fase del proyecto será necesario estudiar los fundamentos teóricos sobre el funcionamiento de los fotosensores de silicio, así como el contexto de la física de neutrinos y los grandes experimentos futuros en los que se enmarca el proyecto. Tras esto, se pasará a una siguiente fase de trabajo práctico en el laboratorio en el que primeramente será necesario familiarizarse con el correcto uso del instrumental que se encuentra en el mismo.

Para la puesta en funcionamiento de los SiPMs se deberá establecer un pequeño montaje experimental que contará con una fuente de alimentación, un generador de ondas y un osciloscopio. Los SiPMs se harán funcionar tanto expuestos a fuentes de luz como en condiciones de extrema oscuridad. Además, para el estudio del comportamiento de dichos sensores a temperaturas criogénicas se sumergirán los mismos en un Dewar lleno con nitrógeno líquido. Los datos adquiridos y las señales registradas durante el transcurso de este proyecto deberán analizarse usando códigos en C++ o Python.

Los datos obtenidos se estudiarán para evaluar la idoneidad de los SiPMs para el experimento DUNE en función de su eficiencia de detección de fotones, su resistividad a la temperatura criogénica y su ruido intrínseco.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

- Familiarizarse con la técnica de detección de luz en el experimento de oscilaciones de neutrinos DUNE.
- Entender el principio de operación de un tipo particular de fotosensor denominado fotomultiplicador de silicio (SiPM de sus siglas en inglés) y hacerlo funcionar en el laboratorio.
- Aprender el manejo del equipo estándar de laboratorio (osciloscopio, fuentes de alimentación, generador de ondas...).
- Estudiar el comportamiento de un SiPM cuando se introduce una diferencia de potencial en modo directo y en inverso para calcular el voltaje de ruptura y la constante de proporcionalidad (quenching resistance).
- Determinar el factor de ganancia de los SiPMs mediante iluminación con un LED.
- Determinar la tasa cuentas oscuras a temperatura criogénica.
- Poner en funcionamiento una lámpara de xenón y un monocromador, así como aprender a manejarlos
- Realizar medidas de eficiencia de fotodetección a diferentes longitudes de onda.
- Escribir un informe final en base a los hallazgos, problemas encontrados y soluciones adoptadas.

Bibliografía básica:

- [1] - DUNE Collaboration, Long-baseline neutrino oscillation physics potential of the DUNE experiment, Eur. Phys. J. C (2020) 80:978.
- [2] - DUNE Collaboration, Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), Far Detector Technical Design Report Volume IV: Far Detector Single-phase Technology, JINST 15 (2020) 08, T08010. (Only Chapter 5).
- [3] - S. Gundacker, A. Heering, The silicon photomultiplier: fundamentals and applications of a modern solid-state photon detector, Phys. Med. Biol. (2020) 65 17TR01.

[4] - A. Falcone et al., Cryogenic SiPM arrays for the DUNE photon detection system, Nucl. Instrum. Meth. A 985 (2021) 164648.

[5] - <https://root.cern.ch>

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Repasar el temario de la asignatura Física Nuclear y de Partículas

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: PATRICIA SÁNCHEZ LUCAS

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: patriciasl@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: SERGIO BARRIOS ZAMORA

Correo electrónico: sergiobz01@correo.ugr.es