

Resumen

El objetivo principal de esta investigación es el diseño y desarrollo de dos tipos de emisores acústicos diferentes para ser utilizados en el telescopio submarino de neutrinos KM3NeT, en concreto, uno como emisor en el sistema de posicionamiento acústico (APS) y otro para la calibración de la detección acústica de neutrinos. El proyecto KM3NeT es un telescopio óptico de neutrinos, que actualmente está en fase de construcción, y está ubicado en las profundidades del mar. Los objetivos principales del telescopio son el descubrimiento y la observación de las fuentes que originan los neutrinos de alta energía en el universo y la determinación de la jerarquía de masas de los neutrinos. Los detectores de KM3NeT consisten en conjuntos tridimensionales de módulos de sensores de luz distribuidos en grandes volúmenes de agua en las profundidades del mar Mediterráneo. Los módulos de sensores ópticos registran el tiempo de llegada de la luz y el brillo de la luz para reconstruir la dirección y la energía del neutrino. Con objeto de lograr una implementación correcta de las estructuras mecánicas y una reconstrucción precisa de los eventos del neutrino, el telescopio incluye el APS como subsistema necesario para proporcionar la posición exacta de las estructuras mecánicas en tiempo real. Además, el APS puede ser una herramienta excelente para estudiar la viabilidad de un detector de neutrinos acústico y de una posible correlación entre la señal acústica y óptica. El nuevo detector KM3NeT es una oportunidad para continuar con el estudio de detección acústica de neutrinos. La detección acústica permitiría la combinación de las dos técnicas de detección de neutrinos para un telescopio submarino de neutrinos híbrido, y más aún, teniendo en cuenta que el telescopio óptico necesita de sensores acústicos para monitorizar la posición de los sensores.

En esta tesis, por un lado, se ha desarrollado un emisor acústico (AB) como parte del APS de KM3NeT. Previamente, se desarrolló el primer prototipo del emisor acústico, el cual se instaló en anteriores telescopios de neutrinos, concretamente en ANTARES y NEMO, con el fin de comprobar su funcionamiento in situ. Como parte de la tesis, se realizaron los análisis de las pruebas in situ y los resultados obtenidos mostraron que cumplía los requisitos del sistema de posicionamiento, únicamente se necesitaron algunas mejoras para la versión final. La versión final del AB está compuesta por un transductor piezo-cerámico y una placa electrónica integrado en una sola pieza en un recipiente cilíndrico de aluminio anodizado. El diseño y el trabajo realizado para una calibración precisa de laboratorio se llevó a cabo, logrando resultados óptimos en todos los aspectos requeridos. El nivel de presión sonora (SPL) obtenido con el AB final varía entre 174 dB y 194 dB re 1 $\mu\text{Pa}@1\text{m}$ en el rango frecuencial de 20 kHz a 50 kHz, respectivamente. El sistema final es capaz de emitir señales acústicas de alta intensidad en una gama de frecuencia amplia y de soportar condiciones de alta presión en el agua. Un total de dieciocho unidades del AB fueron satisfactoriamente producidas en colaboración con MSM SLL, y fueron entregadas a KM3NeT. A finales de 2015, dos unidades del AB se integraron en el detector ARCA en la primera campaña marina. Los emisores se probaron in situ a principios de 2016 y los datos grabados se analizaron para extraer algunas conclusiones de la funcionalidad del APS. Además, se realizó un estudio a través de simulaciones, con objeto de seleccionar las posiciones óptimas para la integración de los ABs en el APS de los detectores ARCA y ORCA. La configuración óptima de las posiciones de los ABs fue seleccionada en base a conseguir la distribución más equitativa de la presión acústica en el campo de los detectores.

El segundo trabajo principal desarrollado en esta tesis consistió en el diseño de un array paramétrico de transductores capaz de imitar la señal acústica generada por la interacción del neutrino de ultra-alta energía (UHE) en el agua. La primera parte de su diseño se centró en el desarrollo de un transductor individual capaz de emitir paraméricamente la señal acústica del neutrino. El transductor completo se constituyó por una cerámica piezoeléctrica cilíndrica con un material en el interior del cilindro, llamado backing, y una capa de adaptación exterior que la recubre, llamada heading o matching layer, estas produjeron un incremento en la sensibilidad de emisión en comparación con lo obtenido únicamente con la cerámica. La generación paramétrica de la señal del pulso bipolar del neutrino se validó satisfactoriamente con el transductor individual. Posteriormente, se realizó el diseño del array completo compuesto por varias unidades del transductor diseñado, con el objeto de lograr un pulso bipolar más energético y directivo. Se eligió una solución flexible para la su mecánica con la que poder cambiar la distancia entre emisores y comprobar diferentes configuraciones del mismo y así optimizarlo según lo obtenido experimentalmente.

Por último, el array calibrador se caracterizó para una de las configuraciones óptimas obtenidas en la simulación, basada en tres emisores separados 14 cm entre sí. La caracterización se realizó tanto para el haz primario (lineal) como para el haz secundario (paramétrico). Debido a las cortas distancias de la piscina aún se observó el efecto de la interferencia de la emisión de cada transductor del array, pero mediante la comparación de las medidas experimentales con las simulaciones se pudo concluir que el array es capaz de reproducir la señal acústica del neutrino utilizando la técnica paramétrica. Se obtuvo una directividad similar para el haz primario y el secundario, demostrando que se consiguió el objetivo de alcanzar una directividad final de unos pocos grados con la señal de pulso bipolar.