

Posgrado en Ciencias Físicas, UNAM

Laboratorio Avanzado

Nombre de la práctica:

Dispositivos de carga acoplada (CCD) con ruido subelectrónico como detectores de partículas

Lugar donde se imparte

Área de Criogenia, Laboratorio de Detectores, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Objetivo

Aprender las técnicas experimentales y de análisis de datos para emplear un dispositivo de carga acoplada (CCD) de calidad científica tipo “Skipper-CCD” como detector por ionización de Si de partículas elementales con resolución de carga subelectrónica.

Descripción de la práctica

Primeramente las/los estudiantes revisarán la bibliografía proporcionada para afianzar los principios de funcionamiento de los detectores de ionización semiconductores de Si, así como para familiarizarse con los principios de funcionamiento de un CCD estándar y la modificación de la fase de lectura (*readout*) del Skipper-CCD para romper la barrera del ruido $1/f$. De manera simultánea se familiarizarán con los diferentes equipos e instrumentos necesarios para la operación de dichos sensores: cápsula y sistema de vacío, sistema de enfriamiento criogénico, control de presión y temperatura, electrónica de adquisición de datos “Low Threshold Acquisition” (LTA). Posteriormente aprenderán a usar el sistema para adquirir imágenes con exposiciones variadas, entendiendo a nivel elemental cómo configurar el secuenciador del sistema LTA y a ejecutar y modificar herramientas de análisis escritas en python y ROOT para extraer las imágenes. Aprenderán el proceso de optimización de los parámetros del sistema empleando imágenes previamente adquiridas y verificando que el sistema opera en parámetros cercanos a los óptimos. Adquirirán un conjunto de imágenes con diferente número de muestreos “NSAMP” de la carga de cada pixel y emplearán un modelo estadístico para describir dicha distribución y extraer características como la corriente oscura, la ganancia y el ruido electrónico. Verificarán que el ruido electrónico del sensor disminuye como la raíz cuadrada de NSAMP y que el sensor es capaz de medir la carga eléctrica almacenada en cada pixel con resolución inferior a $1 e^-$. Se estudiará la reconstrucción 3-Dimensional a través del proceso de difusión de carga en el bulto de los CCD. Se adquirirán exposiciones en presencia de la radiación ambiental (eg. muones cosmogénicos) y de fuentes de rayos gamma. Se aprenderá el uso de herramientas de análisis desarrolladas en python y ROOT para la calibración del sensor mediante la observación del pico de “1-electrón” en el espectro de cargas en los pixeles y la extracción de los eventos y la medición de espectros de energía depositada por las partículas. Se discutirán las aplicaciones de estos sensores en experimentos de frontera para la detección de neutrinos de reactores nucleares y la búsqueda directa de materia oscura. Se elaborará un reporte.

Cronograma (tentativo)

- *Sesiones 1-2.* Seguridad en el Area de Criogenia del LabDet-ICN. Descripción del equipamiento. Familiarización con principios de operación de CCDs estándar y Skipper CCDs.
- *Sesiones 3-5.* Electrónica LTA. Ejemplos de secuenciadores. Operación y adquisición de imágenes. Formato de datos adquiridos. Extensiones en archivos del formato “.fits”. Familiarización con python y ROOT.
- *Sesiones 6-7.* Adquisición de imágenes para optimización de los parámetros del sistema (voltajes de operación y patrón de movimiento de cargas). La distribución de carga de los pixeles. Corriente oscura, ruido, ganancia y auto calibración. Difusión y reconstrucción 3-Dimensional. Resolución espacial y de energía. Familiarización con DAOImage-DS9. Inicio de elaboración del reporte. Análisis de datos con python y ROOT.
- *Sesiones 8-10.* Adquisición de imágenes con diferentes números de NSAMP. Implementación de algoritmos para limpieza de imágenes. Eliminación de ruido, eventos del registro serial (SRE). Métodos de selección de eventos y calibración del espectro de muones cosmogénicos. Análisis de datos con python y ROOT. Discusión sobre aplicaciones en experimentos de frontera.
- *Sesiones 11-13.* Adquisición de imágenes con fuentes de rayos gamma (Fe56 y Am241). Selección de eventos y calibración de los espectros. Revisión de progreso del reporte. Análisis de datos con python y ROOT. Discusión sobre aplicaciones en experimentos de frontera.
- *Sesiones 14-16.* Análisis de resultados y elaboración del reporte. De ser necesarias, adquisiciones de datos complementarias. Discusión sobre aplicaciones en experimentos de frontera. Entrega de reportes en la última sesión.

Evaluación

Se realizará en base a un reporte de laboratorio (80 %), así como a la asistencia y participación en las sesiones y ejercicios asignados (20 %). El reporte se elaborará en formato libre que describa los preliminares, marco teórico/conceptual, metodología experimental, resultados y las conclusiones del trabajo realizado.

Observaciones

Es necesario que los estudiantes cuenten con una laptop con el lenguaje Python ($v > 3.0$) en la cual se instalarán los softwares de análisis ROOT y de análisis de imágenes SAOImageDS9. Se sugiere que tenga un sistema operativo basado en Linux, ya sea partición única o en dual boot, o bien en una máquina virtual de Windows. Los elementos de programación necesarios se aprenderán a lo largo del curso.

Referencias

- [1] J. R. Janesick, Scientific Charge Coupled Devices, SPIE Press, Bellingham, WA, 2001.
- [2] G.F. Moroni *et al.*, “Sub-electron readout noise in a Skipper CCD fabricated on high resistivity silicon,” *Exp. Astron.* 34, 43–64 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10686-012-9298-x>

- [3] G. Canelo, *et al.*, Low threshold acquisition controller for Skipper charge-coupled devices, Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems 7, 015001 (2021)
- [4] J. Tiffenberg, *et al.* Single-Electron and Single-Photon Sensitivity with a Silicon Skipper CCD, Phys. Rev. Lett. 119, 131802 (2017) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.131802>
- [5] The python programming language. <https://www.python.org/>
- [6] ROOT Data Analysis Framework, User's Guide: <https://root.cern/root/html/doc/guides/users-guide/ROOTUsersGuide.html>
- [7] The C++ Programming Language. Bjarne Stroustrup. Addison-Wesley.
- [8] SAOImageDS9. Astronomical imaging and data visualization application. <https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9>
- [9] Flexible Image Transport System (FITS). https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_primer.html
- [10] Ubuntu Linux: <https://ubuntu.com>
- [11] The Review of Particle Physics (2022). 34. Passage of Particles Through Matter, 35. Particle Detectors at Accelerators, R.L. Walkman et al. (Particle Data Group) Prog. Theor. Exp. Phys. 2022, 083C01 (2022)