

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y PRUEBAS DE UN DETECTOR DE RAYOS CÓSMICOS A BASE DE UN GAS DE ELECTRONES DE 4 CANALES

Andrea Paloma Cimental Chávez (1), Julián Félix Valdez (2)

1 [Licenciatura en Física, División de Ciencias e Ingenierías] | [cimentalca2013@licifug.ugto.mx]

2 [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | [felix@fisica.ugto.mx]

Resumen

A la fecha, existen diferentes técnicas de detección de rayos cósmicos, o de radiación en general, con aplicaciones en diferentes campos científicos como medicina, biología, astrofísica, etc.; y todavía, en estos días, se exploran nuevas técnicas de detección de radiación, en particular de los rayos cósmicos. En el Laboratorio de Partículas Elementales de la Universidad de Guanajuato el Dr. Julián Félix ha creado y explorado una nueva técnica de detección de rayos cósmicos a base de un gas de electrones que ha demostrado ser factible y novedosa. Para ampliar los estudios de esta técnica hemos planeado, diseñado, construido, y caracterizado un detector de rayos cósmicos a base de un gas de electrones de 4 canales, dos canales de veto a base de un plástico centellador -de 10 cm X 10 cm X 0.6 cm recubiertos con láminas de aluminio pulidos a espejo-, y dos canales de ionización -paralelos, a base de un gas de electrones, de 10 cm X 5 cm-, diseñados para alojar placas de materiales diferentes -Cu, Al, Pb, C, etc.- de diferentes espesores. Presentamos los detalles técnicos, de este detector novel, y resultados físicos muy preliminares.

Abstract

To date, there are different techniques for the detection of cosmic rays, or radiation in general, with applications in different scientific fields such as medicine, biology, astrophysics, etc.; and still, in these days, new techniques of detection of radiation, in particular of cosmic rays, are being explored. In the Laboratory of Elementary Particles of the University of Guanajuato Dr. Julián Félix has created and explored a new technique of detection of cosmic rays based on an electron gas that has proven to be feasible and novel. To expand the studies of this technique we have planned, designed, built, and characterized a 4-channel cosmic ray detector based on an electron gas, two channels of veto based on a scintillator plastic - 10 cm X 10 cm X 0.6 cm coated with mirror-polished aluminum sheets, and two ionization channels -parallel, based on an electron gas, of 10 cm X 5 cm-, designed to house plates of different materials -Cu, Al, Pb, C, etc.- of different thicknesses. We present the technical details of this novel detector and very preliminary physical results.

Palabras Clave

Partículas elementales, Rayos cósmicos, Ionización de metales, Foto-detección, Método de coincidencia.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las partículas elementales y las técnicas de detección se acrecentó a finales del Siglo XIX con el descubrimiento de la radiactividad, con este hallazgo se cultivó el interés de varios científicos (H. Becquerel, Marie y Pierre Curie, T. Wulf, A. Gockel, D. Pacini) por el origen de descargas eléctricas espontáneas en el aire [1].

En 1912 Víctor Hess midió la ionización del aire como función de la altitud utilizando globos aerostáticos y observó que esta ionización incrementa con la altura; propuso que este fenómeno físico podría ser atribuido a la incidencia de un tipo de radiación hasta entonces desconocida: los rayos cósmicos. Por este descubrimiento fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1936.

Los rayos cósmicos son partículas cargadas altamente energéticas que inciden en la Tierra en todo momento, de todas direcciones. Se originan en fuentes astrofísicas y se desplazan a una velocidad cercana a la de la luz.

Los rayos cósmicos que inciden en la atmósfera de la Tierra se nombran primarios, son en su mayoría protones y partículas alfa; los rayos cósmicos formados luego del decaimiento de los primarios a causa de la interacción con los átomos de la atmósfera se nombran secundarios e incluyen neutrones, piones, positrones y muones.

Este proyecto es parte de un programa de investigación en la detección de los rayos cósmicos, donde se han creado varios prototipos de detección [1-13].

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

El presente dispositivo consiste en un material de prueba que se utilizará para estudiar la detección como función del espesor de dicho material, las dimensiones son 10×10 cm con espesor variable d , está aglutinado entre dos pares de colectores (cada par representa un canal de detección por ionización) hechos con láminas de Cobre, Imagen 1 a). Los colectores están fijos a una placa electrónica superior y otra inferior, las placas electrónicas miden $17 \times 12 \times 0.12$ cm y tienen un electrodo para suministrar el voltaje, también aquí se encuentran instalados los componentes electrónicos que forman el circuito RC, Imagen 1 b) necesarios para la lectura de señal en cada canal.

Encima de una placa electrónica y debajo de la otra están colocados plásticos centelladores de $10 \times 10 \times 0.6$ cm con un recubrimiento hecho de piezas de Aluminio de 0.12 cm de espesor, Imagen 2 a).

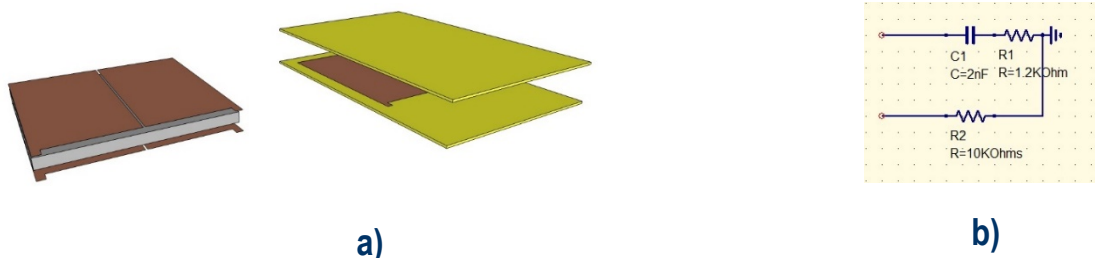
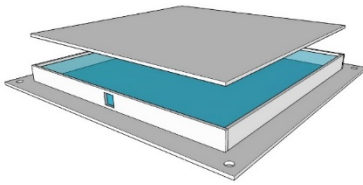
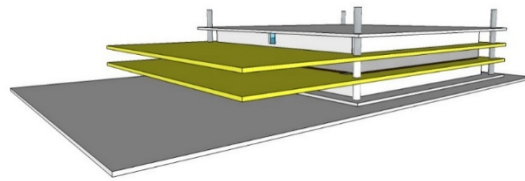


IMAGEN 1: a) Material de prueba aglutinado en los colectores. En amarillo se muestran las placas electrónicas con los electrodos.
b) Circuito RC utilizado para la lectura en cada canal.

Una de las laterales de este recubrimiento tiene un orificio de 0.5 x 0.5 cm para acoplar un fotodiodo (Hamamatsu MPPC S12572-100P [20]). Todo el sistema está colocado en una placa de Aluminio de 22 x 14 x 0.12 cm, Imagen 2b).



a)



b)

IMAGEN 2: a) Diseño del recubrimiento de Aluminio para los centelladores. b) Diseño del prototipo experimental completo.

Técnicas de detección

La primera técnica de detección es ionización: las corrientes eléctricas iniciadas por el paso de una partícula cargada se amplifican a un nivel medible mediante un voltaje aplicado a la placa metálica, Imagen 3.

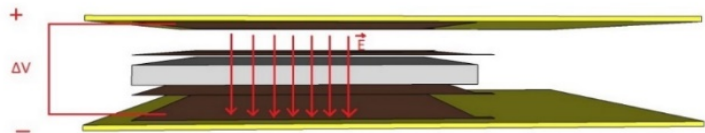


IMAGEN 3: Campo eléctrico producido entre un par de placas paralelas.

La señal es enviada a un circuito RC por un par de colectores colocados en contacto mecánico con el material de prueba, de ahí se visualiza con un osciloscopio.

El segundo método de detección es por centelleo: cuando una partícula cargada incide sobre un material centellador cede parte de su energía cinética, excitando algunas moléculas; en el proceso de des-excitación se producen fotones de baja energía que son detectados acoplando el centellador al fotodiodo, que funciona como amplificador.

El fotodiodo utilizado tiene máxima eficiencia para longitudes de onda de alrededor de 400 nm, Imagen 4; para optimizar la reflexión de la luz producida por centelleo se pulieron con un acabado a espejo las piezas que forman el recubrimiento del centellador.

El Aluminio es altamente reflectivo, Imagen 5, resulta ideal para minimizar las pérdidas de luz.

El arreglo de un centellador abajo y uno arriba del material de prueba, Imagen 6, forma el sistema de validación por coincidencias o detectores de veto.

El objetivo de éste es corroborar que en efecto las señales obtenidas en los canales de ionización son debidas a la interacción de una partícula con el material ionizado, para tomar una

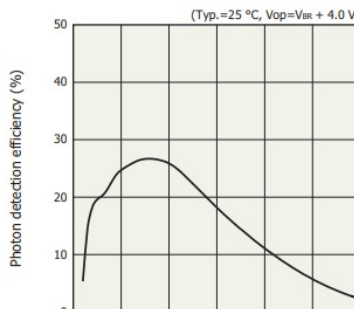


IMAGEN 4: Eficiencia de foto-detección en función de la longitud de onda [20].

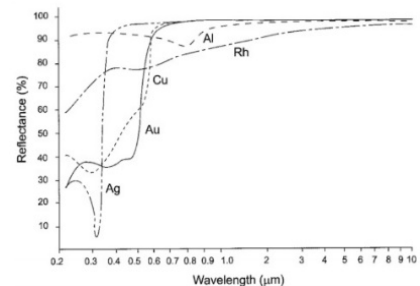


IMAGEN 5: Reflectancia del Aluminio como función de la longitud de onda de la radiación [21].

señal como válida debe registrarse el paso de la partícula en ambos canales ópticos (S_1 y S_2) en una ventana de tiempo de 1 ms.

De no cumplirse lo anterior se concluye que la señal fue producida por una fuente de ruido (fluctuaciones térmicas, señales lentas, corrientes oscuras) y se deshecha.

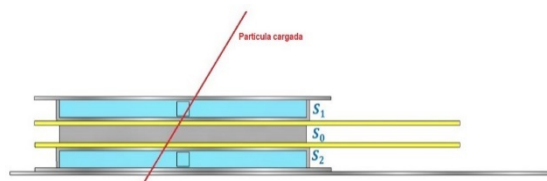


IMAGEN 6: Esquema de la lógica seguida para validar señales. Vista lateral del detector.

Construcción

Todas las piezas se trazaron, cortaron, lijaron y limpiaron en el Laboratorio de Partículas Elementales [22] (DCI, UG). Los recubrimientos de Aluminio del material centellador se pulieron hasta lograr un acabado a espejo, Imagen 7 a).

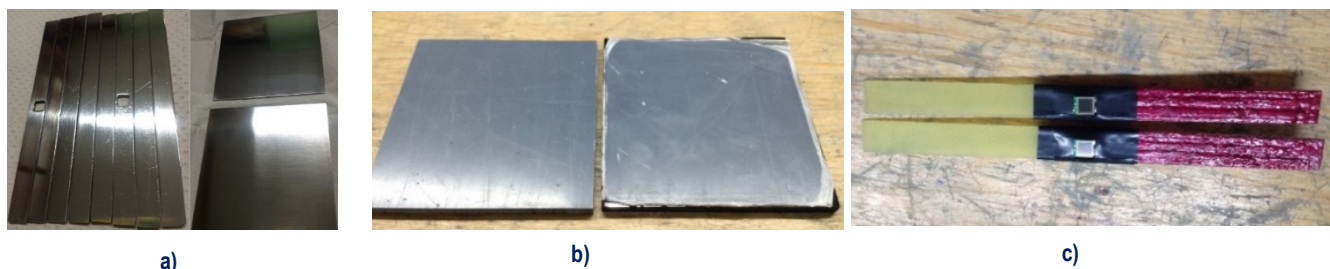


IMAGEN 7: a) Piezas para el recubrimiento pulidas a espejo. b) Acrílico negro. c) Tarjetas con el fotodiodo montado y aisladas eléctricamente.

El material centellador es acrílico negro, Imagen 7 b). Las piezas del recubrimiento se unieron utilizando cinta de Aluminio adhesiva.

Se construyeron dos tarjetas electrónicas de 10×0.72 cm para los fotodiodos, se dejaron las pistas de cobre necesarias para la lectura de señal, imagen 7 c). Se les agregó un pin con un conector y se adecuaron 2 cables para llevar la señal a una tarjeta digitalizadora. Se soldó el fotodiodo y se aislaron eléctricamente las pistas; se fijaron a los recubrimientos utilizando cinta adhesiva de Aluminio, Imagen 9 a).

En dos placas de cobre de $17 \times 12 \times 0.12$ cm se trazaron cuadrados de 10×10 cm que serán los electrodos, y las pistas necesarias para soldar los componentes electrónicos del circuito RC, Imagen 9 b); el resto de cobre en la placa se removió, Imagen 9 c). Los colectores se hicieron cortando 4 láminas de cobre de 10×4.95 cm que se pegaron un en cada placa electrónica, justo sobre los electrodos ya aislados.

Se trabajó en 4 espesores diferentes de Aluminio para realizar pruebas.

Las perforaciones para ensamblar el sistema son de 1/8 in.



IMAGEN 8: Sistema ensamblado.

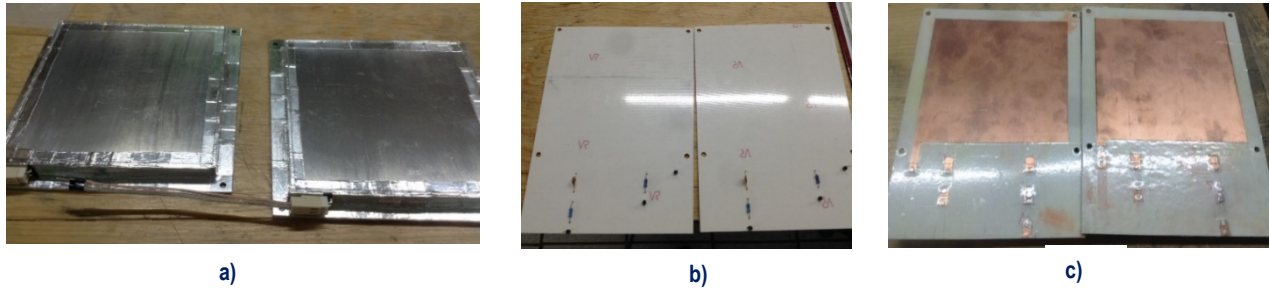


IMAGEN 9: a) Detectores de veto con las tarjetas electrónicas y los cables para la lectura de señal ensamblados. b) Componentes electrónicos del circuito RC soldados. c) Placas electrónicas aisladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

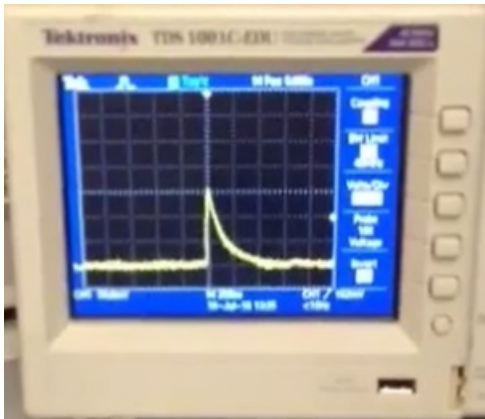


IMAGEN 10: Señal obtenida con uno de los detectores de veto.

Los detectores de veto funcionan correctamente. Los disparos inician con un voltaje de control de 1.75 mV, en una fuente UltraVolt (M series 3M24-P1), utilizando una escala de 50 mV en el eje vertical y 250 ns en el eje horizontal.

Las señales registradas tienen amplitudes de 150 mV. Con una duración de 270 ns. Se observa un ruido electrónico de 20 mV pico a pico, Imagen 11.

CONCLUSIONES

Hemos construido un detector de rayos cósmicos que opera con dos técnicas de detección diferentes, por ionización de un metal que es novedosa y requiere ser probada con diferentes materiales y diferentes espesores, y por centelleo de un material plástico.

Los detectores de veto son funcionales. Las aplicaciones de esta tecnología de detección son inmensas.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por la paciencia y el aliento. A la Universidad de Guanajuato por el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- [1]. Four Channel Mini Wire Chamber to Study Cosmic Rays . J. Felix, G.J. Rodriguez. 2018. 10 pp. Published in EPJ Web Conf. 172 (2018) 07005 DOI: 10.1051/epjconf/201817207005. Conference: C17-09-11 Proceedings.
- [2]. Design, Construction, Test, Operation and Simulation of a Four Channel Cosmic Ray Detector. A. Martínez, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 7 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012050. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [3]. On a Three-Channel Cosmic Ray Detector based on Aluminum Blocks. L. Arceo, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J. Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012045. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012045. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.

- [4]. Design and construction of a uniform magnetic field generator for a 32 channel cosmic ray detector. K.N. Herrera-Guzman, R.A. Gutierrez Sanchez, J. Felix, L.J. Arceo, C. Araujo (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012037. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012037. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [5]. Cu Hybrid 4 Channel Cosmic Ray Detector. F.J. Rosas Torres, M.A. Hernández Morquecho, L. Arceo, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012036. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012036. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [6]. Design, construction and characterization of a three channels detector of cosmic rays. Julian Félix, Oscar Moreno, Everardo Granados, Luis Arceo (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012035. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [8]. Luis Arceo, J. Felix. Design, Construction and characterization of a Three-channel cosmic ray detector based on Aluminum block electronics. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249. <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [9]. F. J. Rosas, J. Félix. Diseño, Construcción Y Pruebas De Un Detector Híbrido De Rayos Cósmicos De 4 Canales. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249.
- [10]. K. Herrera, R. Gutiérrez, L. Arceo, J. Félix. Design, Construction and simulation of a uniform magnetic field generator with Steel nucleus to deflect cosmic rays. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249. <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [11]. K. Herrera, R. Gutiérrez, L. Arceo, J. Félix. Design, Construction and simulation of a uniform magnetic field generator with Steel nucleus to deflect cosmic rays. Pistas Educativas No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [12]. L. Arceo, J. Felix Design, Construction and characterization of a Three-channel cosmic ray detector based on Aluminum block electronics. Pistas Educativas, No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [13]. F. J. Rosas, J. Félix. Diseño, Construcción Y Pruebas De Un Detector Híbrido De Rayos Cósmicos De 4 Canales. Pistas Educativas No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [14] CERN Document Server. Cosmic Rays Particles From Outer Space (2012). Recuperado de <https://home.cern/about/physics/cosmic-rays-particles-outer-space>.
- [15] Grupen C., Schwartz B. (2008). Chapter one: Interactions of particles and radiation with matter. Particle Detectors (pp. 1-24) Cambridge Monographs. Second Edition. Recuperado de http://ajbell.web.cern.ch/ajbell/Documents/eBooks/Particle_Detectors_Grupen.pdf
- [16] W. R. Leo (1987) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (pp. 149-155, 24-35) Springer Verlag. Recuperado de: http://tesla.phys.columbia.edu:8080/eka/William_R_Leo_Techniques_for_nuclear_and_partic.pdf
- [17] T. Ferbel (1991). Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics (pp. 27, 79-91, 371-375) World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Second Edition. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=rKnsCgAAQBAJ&pg=PT13&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=true
- [18] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement (pp. 220-231, 265-270, 287-296). John Wiley & Sons, Inc. Third Edition. Recuperado de: <http://users.ings.infn.it/~dimarco/Radiation%20Detection%20and%20Measurement,%203rd%20ed%20-%20Glenn%20F.pdf>
- [19] Walter Bothe (1954). The Coincidence Method. Physics 1942-1962, Elsevier Publishing Company, Amsterdam. Recuperado de: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1954/bothe-lecture.html
- [20] Hamamatsu Multi Pixel Photon Counter Data Sheet. Recuperado de: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/s12572-010_etc_kapd1045e.pdf
- [21] Recuperado de: https://materion.com/-/media/files/advanced-materials-group/me/technicalpapers/reflectance-in-thin-films_all.pdf
- [22] <http://laboratoriodeparticulaselementales.blogspot.com/>