

Detección y estudio de la línea de emisión en el proceso de formación del Deuterio en el sol

Omar Alejandro Lezama Gallegos¹, J. Felix¹

¹ 1 División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, León, Guanajuato, México.

E-mail: lezamago2016@licifug.ugto.mx, felix@fisica.ugto.mx



RESUMEN/ABSTRACT

Todo el tiempo el Sol está emitiendo radiación electromagnética. Con mucha frecuencia, un neutrón es absorbido por un núcleo de Hidrógeno, lo que resulta en la producción de un átomo de Deuterio y en la emisión de un rayo gamma con una energía muy característica de 2.22 MeV. Para estudiar este proceso construiremos un detector de rayos gamma provenientes del sol. Presentamos la planeación, el diseño, detalles técnicos de la construcción (en proceso), los resultados de la simulación -en GEANT4- y las implicaciones de esta información para mejorar esta técnica de detección.

INTRODUCCIÓN

El sol emite grandes cantidades de radiación al espacio mediante las llamaradas solares y las Eyecciones de Masa Coronal (CMEs). Durante las llamaradas solares se producen neutrones debido a la interacción de núcleos energéticos con la atmósfera solar, si un neutrón es capturado por Hidrógeno produce un rayo gamma de energía característica: 2.22 MeV, a este rayo gamma se le conoce como Deuterio.

Los rayos gamma, al igual que muchas otras partículas energéticas, son detectados observando los efectos que producen en la materia. Nuestro objetivo es detectar el Deuterio en nuestro sistema experimental mediante el método de coincidencias, con el cual, podremos identificar las partículas detectadas como muones o rayos gamma.

METODOLOGÍA

Tendremos un total de 3 detectores: un detector de agua y dos detectores de veto. El principio de funcionamiento es muy simple: los rayos gamma producen señal en el detector de agua pero no en los vetos, mientras que las partículas cargadas (como los muones) producen señal tanto en el detector de agua como en los vetos. Usamos el Software de simulación Geant4 para simular los componentes del sistema experimental para poder obtener información acerca de la forma en que las partículas interactúan con la materia para poder así detectarlas de manera apropiada.

El sistema experimental consiste de un cascarón esférico metálico lleno con agua (que será el medio detector) y dos detectores de veto, los cuales usarán un material centellador para emitir fotones cuando una partícula los atraviese (ver Fig. 1). Si como resultado de las interacciones de las partículas con el agua se dispara un electrón que viaje más rápido que la velocidad de la luz en el medio se producirán fotones por medio del efecto Cherenkov.

Diseño y Construcción

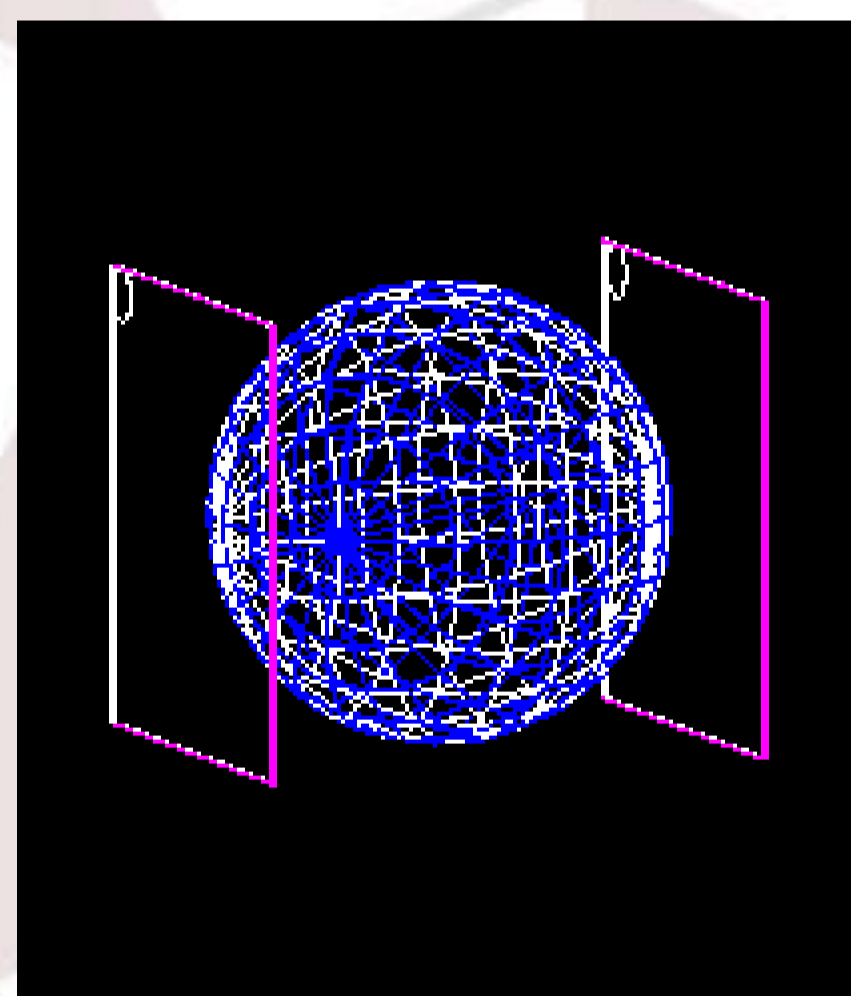
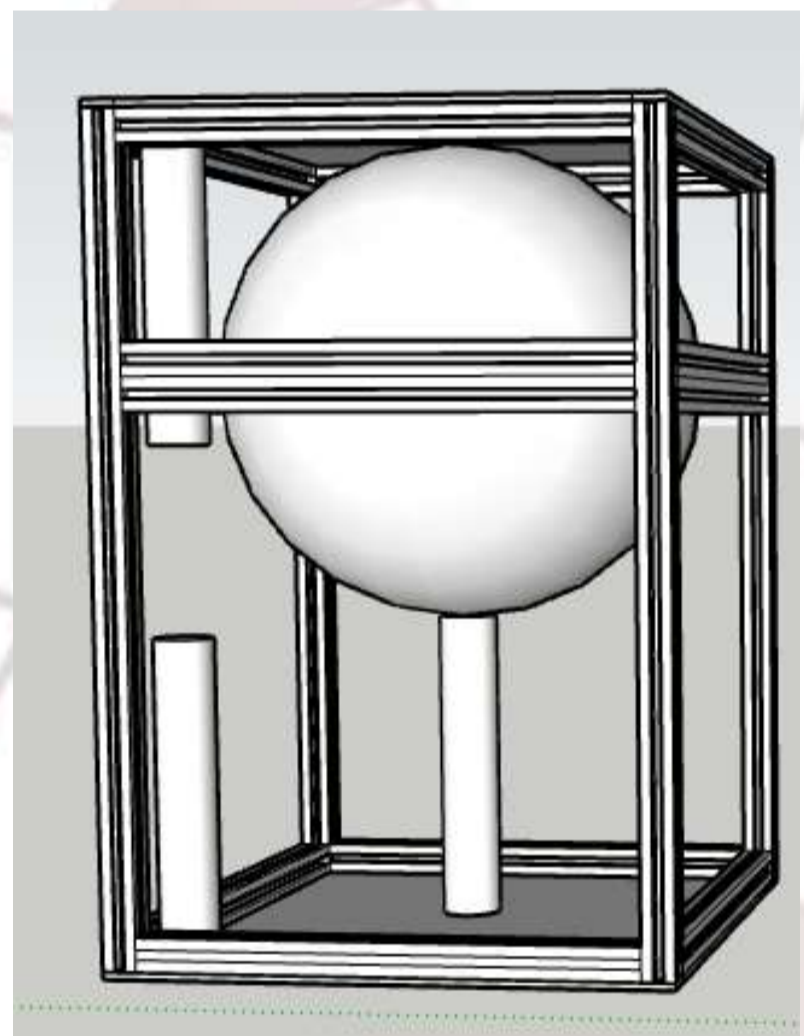


Figura 1. Diseño del sistema experimental completo (un detector de agua más dos detectores de veto) y visualización del sistema experimental en la simulación en Geant4.

En la simulación se disparan rayos gamma de 2.22 MeV de energía (Deuterio) y Muones de 4 GeV de energía en la simulación para observar la interacción de las partículas con el sistema experimental y medir las características de los fotones producidos.

RESULTADOS

Con la simulación (ver Fig. 2) hemos podido medir la eficiencia de detección para diferentes condiciones de veto aplicadas (ver Fig. 3), esta información es indispensable antes de comenzar el proceso de construcción, pues así podemos verificar si las consideraciones que hemos realizado hasta el momento han sido apropiadas para garantizar el funcionamiento del detector.

Además, también podemos medir diferentes propiedades de los fotones ópticos producidos por la interacción de las partículas con el medio detector: distribución angular, energía, longitud de onda, polarización, distribución espacial (ver Fig. 4), etc.

DISCUSION

La producción de fotones ópticos se produce por dos procesos: o por centelleo o por radiación Cherenkov, independientemente de la partícula primaria disparada. La producción de fotones ópticos se lleva a cabo principalmente por efecto Cherenkov.

El total de fotones producidos por muones es mucho mayor que el total de fotones producidos por rayos gamma.

En ningún evento de disparo de rayo gamma se produjeron señales en los 3 detectores, cuando se disparan muones sí hubo eventos donde se producen señales tanto en los detectores de veto como en el detector esférico.

La detección de fotones producidos por rayos gamma en el detector de agua se ve mejorada si colocamos el PMT a ángulos pequeños respecto a la vertical, resultado que observamos directamente.

El aire no es un buen medio de detección. Reemplazando en la simulación el agua dentro de la esfera por aire concluimos que puede funcionar para detectar partículas cargadas, pero con mucha menor eficiencia.

Es posible identificar fotones producidos por Cherenkov y por Centelleo cuando la partícula primaria es un muon, cuando se disparan rayos gamma no hay distinción entre ambas formas de producción.

Los rayos gamma de 2.22 MeV de energía producen fotones ópticos con una mayor concentración en el centro del plano de detección. Rayos gamma con energías del orden de keV o inferiores no producen fotones ópticos. Rayos gamma con energías del orden de GeV producen muchos fotones ópticos, pero no están dirigidos al centro del plano de detección.

Además, no existe distinción entre los fotones producidos por la incidencia de muones con carga negativa y los muones con carga positiva, ambas partículas primarias producen fotones con las mismas características.

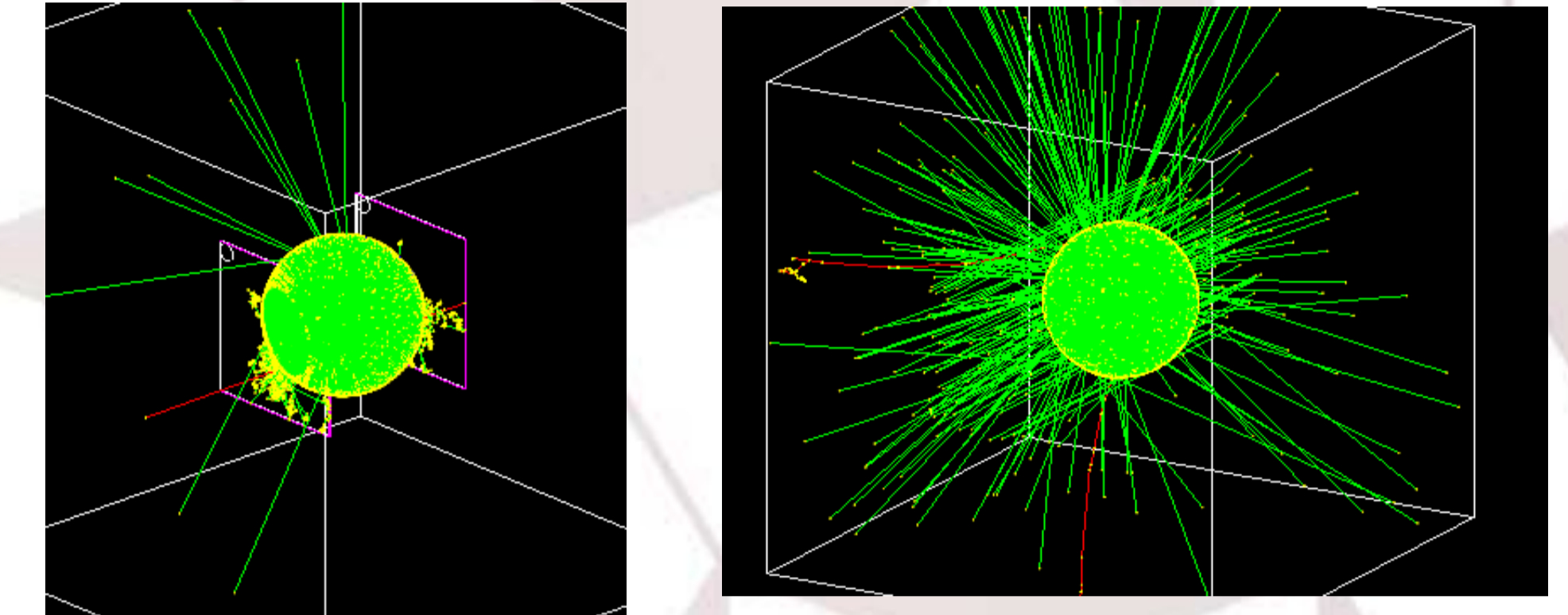


Figura 2. Interfaz visual de Geant4. En las dos imágenes podemos ver la formación de fotones en el sistema experimental debido a la incidencia de muones y rayos gamma.

Eficiencia de detección		
Ángulo PMT	Gamma	Muón
0°	1.71 %	1.69 %
20°	1.86 %	1.78 %
45°	1.91 %	1.86 %
90°	1.64 %	1.68 %
135°	1.72 %	1.71 %

Figura 3. Eficiencia de detección para 100 disparos de partículas. El ángulo del PMT es el ángulo de inclinación del PMT respecto al eje vertical, esta información nos sirve para determinar la mejor posición del PMT para detectar una mayor cantidad de fotones.

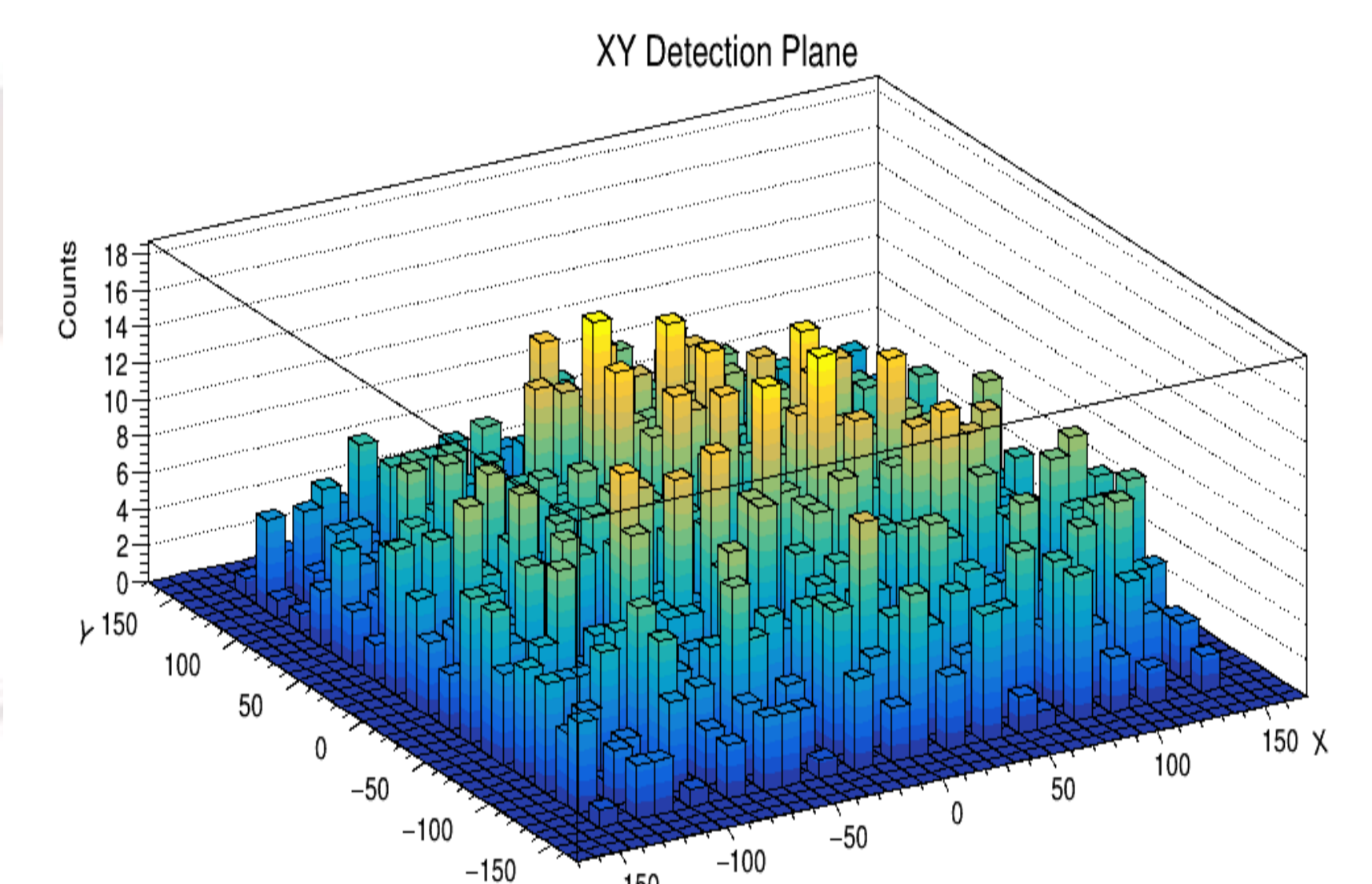


Figura 4. Plano de detección en 3 dimensiones para fotones producidos por la incidencia de 100 rayos gamma. Con esta distribución espacial podemos saber si los fotones producidos tienen una dirección de propagación preferencial.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos sabemos que, si nosotros colocamos el PMT en el centro o cerca del centro del plano de detección, no sólo vamos a detectar fotones producidos por rayos gamma, sino que serán los fotones producidos por los rayos gamma en el rango de energía que a nosotros nos interesa.

Debido a que no podemos resolver de forma analítica la manera en que las partículas cósmicas interactúan con la materia, la simulación es una herramienta poderosa para poder comprobar si las consideraciones que estamos tomando en nuestro sistema experimental serán suficientes para la detección del Deuterio. Debemos seguir mejorando la simulación conforme el trabajo avanza para poder afinarla y obtener resultados comparables a las mediciones que realicemos en el laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] Nasa, "Manchas solares y llamaradas solares", Estados Unidos, 2019. Página Web: <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/sp/>
- [2] T.A. Price; D.J. Forrest; E.L. Chupp; G. KanbachG and G.H Share, "The Time History of 2.22 MeV Line Emission in Solar Flares", California Institute of Technology, University of New Hampshire, Max Planck Institute for extraterrestrial Physics in Germany and Naval Research Laboratory in Washington, DC, 1983.
- [3] Alan Smale, "Gamma-ray Detectors Introduction", Estados Unidos, 2018. Available: https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/technology/gammaray_detectors1.html
- [4] J. G. Stacy and W. T. Vestrand, "Gamma-Ray Astronomy". Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), United States, 2003.
- [5] Photosensor Modules H10493 Series. Hamamatsu. Available: www.hamamatsu.com