

**Instituto de Física Corpuscular
Grupo de Espectroscopía Gamma y Neutrones**

**Master Inter-universitario de Física Nuclear
Curso de Técnicas Experimentales en Física Nuclear**

Guía de la Práctica de Laboratorio

Tutor: Dr. Luis Caballero.

Ayudantes: Gustavo Alcalá, José Escalante, Julien Pepin, y Lucía Sánchez.

Nombre de la práctica: Montaje de detectores de centelleo.

Objetivo de la práctica: Iniciar al alumno en el montaje de detectores de centelleo, así como familiarizarlo con los diferentes elementos de estos detectores y sus características.

Introducción:

A la hora de montar un detector de centelleo los puntos cruciales a considerar son la colección de la luz y su transporte. Las pérdidas en la colección de luz pueden venir tanto de atenuación en el propio material centelleador como por pérdidas en los límites del material. En nuestro caso, como el volumen del centelleador no es muy grande, el recorrido medio de la luz dentro de él no será lo suficientemente grande como para ocasionar pérdidas importantes.

Sin embargo es necesario tener en cuenta las pérdidas en los límites del centelleador. Recordemos que cualquier rayo cuyo ángulo de incidencia con la normal de la superficie límite sea mayor que el ángulo de Brewster o crítico θ_C

$$\operatorname{sen} \theta_C = \frac{n_{ext}}{n_{centellador}}$$

será reflejado, mientras que si el ángulo es menor se transmitirá al exterior con una probabilidad dada por las fórmulas de Fresnel que dependen del estado de polarización del fotón:

$$T_{||} = 1 - \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)}, \quad T_{\perp} = 1 - \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)}, \quad n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$$

Por tanto, para minimizar la posibilidad de pérdidas se debe recubrir la superficie del material centelleador con un buen material reflectante. Por otra parte, para recolectar eficientemente la luz conviene que el índice de refracción del foto-sensor (normalmente la ventana del tubo fotomultiplicador) sea lo más parecido posible al del centelleador y que haya un buen acoplamiento

óptico entre ambos (sin burbujas de aire) proporcionado normalmente por una grasa óptica de índice de refracción similar. Sin embargo muchos centelleadores tienen un índice de refracción superior al de las ventanas de vidrio o cuarzo de los tubos foto-multiplicadores, de forma que hay una posibilidad de que los fotones sean reflejados en la interfase. Se puede ver que para geometrías regulares (por ejemplo “rectangulares”) existe una fracción de la luz que quedaría atrapada sin poder salir. Por ello es conveniente en esa circunstancia romper la simetría de las reflexiones utilizando un reflectante que sea de tipo difusor (p.e. cinta de teflon) y no uno de tipo especular (p.e. papel aluminizado). Otra posibilidad sería usar centelleadores con superficies rugosas y no pulidas.

Materiales:

- Centelleador plástico BC-400 de Bicron
- Centelleador inorgánico BGO
- Cinta de Teflón
- Papel de aluminio
- Cinta aislante negra
- Grasa óptica
- Tubo foto-multiplicador Hamamatsu
- Fuente de alimentación de alto voltaje TC-952 de Tennelec
- Amplificador espectroscópico TC-244 de Tennelec
- Chasis NIM
- Pre-amplificador A1424 de Caen
- Ordenador portátil
- Analizador multicanal Palmtop (MCA) Atomki
- Osciloscopio
- Fuente radiactiva de ^{137}Cs



Figura 1: Centelleadores y materiales necesarios para la práctica.



Figura 2: Osciloscopio, ordenador portátil, analizador multicanal y pre-amplificador.

Desarrollo de la práctica:

El objetivo de la práctica es familiarizarse con los principales componentes de los detectores de radiación gamma usados en espectroscopía, su montaje, e investigar las características físicas relevantes de los dos centelleadores, BGO y plástico BC-400, y compararlas entre si.

En la primera parte de la práctica realizaremos el montaje de un detector de centelleo de tipo plástico. En concreto, prepararemos el centelleador de plástico (de tipo BC-400) y lo acoplaremos a un fotomultiplicador. En primer lugar recubriremos el centelleador plástico con cinta de Teflón intentando asegurar un recubrimiento óptimo en todas sus caras a excepción de aquella que va a ser acoplada al tubo fotomultiplicador. A continuación, con el objetivo de proteger el Teflón y asegurar el aislamiento óptico del plástico centelleador, éste se habrá de envolver con cinta aislante negra teniendo cuidado de no dejar agujeros por los que pueda entrar luz exterior dentro del plástico. Con este tipo de revestimiento del centelleador se consigue maximizar la luz recolectada en el fotomultiplicador que se haya originado dentro del plástico centelleador y minimizar señales producidas la luz exterior que pudiera entrar al plástico

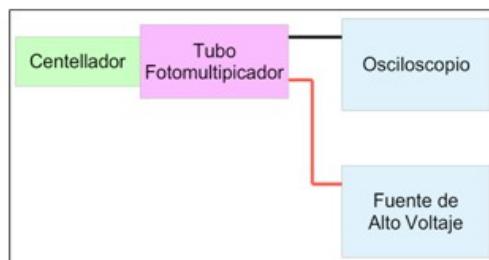
Usando la mínima cantidad posible de grasa óptica, se acoplará el centelleador de plástico a la ventana de cuarzo del tubo fotomultiplicador, teniendo cuidado de no tocar con las manos las superficies ni la grasa óptica para no correr riesgo de dejar aire ni contaminantes entre las dos superficies. Se tratará de girar y presionar con cuidado una superficie contra la otra hasta que se distribuya bien la grasa y se consiga un buen acople óptico. El objetivo de la grasa óptica es eliminar la zona de aire entre el centelleador y el tubo fotomultiplicador, y sustituirlo por el de un material con un índice de refracción escogido para minimizar las reflexiones internas entre esta interfase.

Una vez acoplado el plástico al fotomultiplicador, se habrá de recubrir la unión del centelleador con la ventana del tubo con cinta negra aislante para evitar que entre luz externa, evitando tocar la ventana del tubo foto-multiplicador con dicha cinta. Del mismo modo, y por medio de la cinta aislante, se habrá de asegurar la robustez mecánica del acoplamiento para evitar el desacople durante la realización de las medidas (ver Figura 3).



Figura 3: Centelleador de plástico acoplado al fotomultiplicador

Conectar el cable (rojo) de alimentación del fotomultiplicador y el cable por el que se extrae la señal del detector. Recubra el detector con trapos negros para asegurar el apantallamiento total del sistema a la luz exterior. Conectar el cable de la señal del detector al osciloscopio tal y como se muestra en el siguiente esquema:



A continuación, **y únicamente cuando este tapado completamente el detector**, encienda el módulo de alimentación del alto voltaje. Compruebe que el LED de polaridad negativa está encendido, y lleve el selector de voltaje hasta **-1500 V**, comprobando el valor en el display digital del mismo.

Colocar la fuente radiactiva de ^{137}Cs cerca del plástico centelleador y, utilizando el osciloscopio, visualizar las señales que produce la fuente de ^{137}Cs directamente del tubo foto-multiplicador (ver Figura 4).

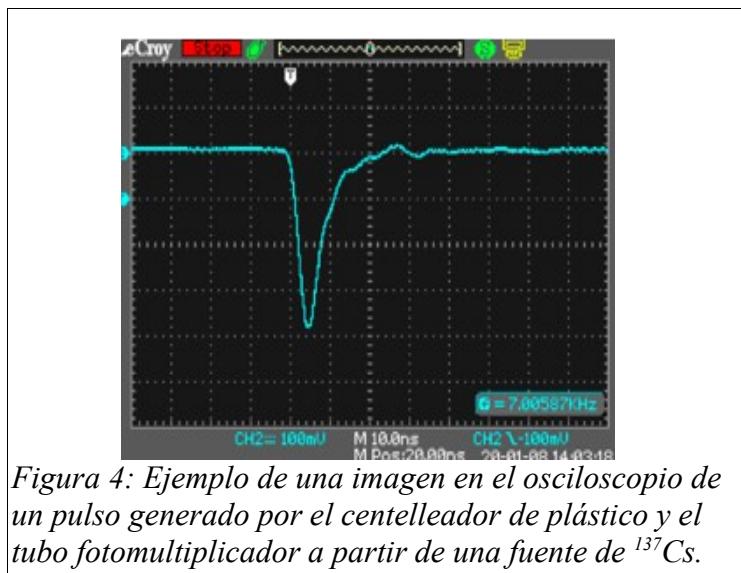
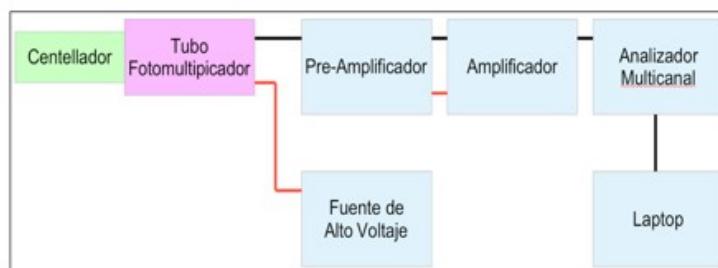
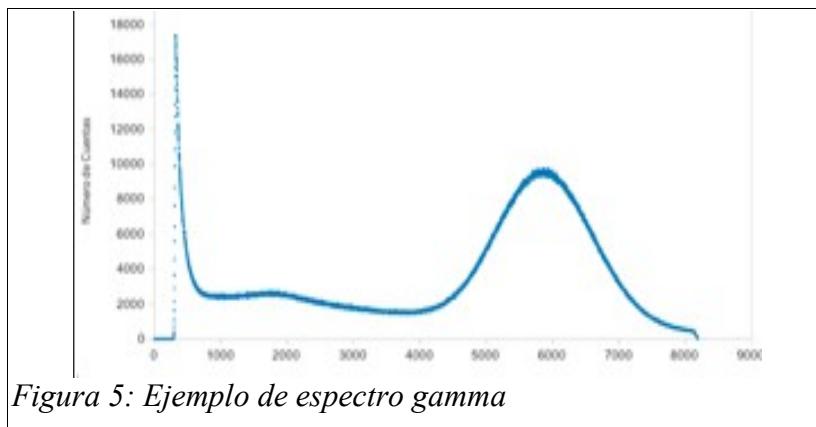


Figura 4: Ejemplo de una imagen en el osciloscopio de un pulso generado por el centelleador de plástico y el tubo fotomultiplicador a partir de una fuente de ^{137}Cs .

Una vez comprobada las señales provenientes del detector, conecte la salida del tubo fotomultiplicador al pre-amplificador, de ahí al amplificador, y la salida de este último al analizador multicanal tal y como se indica en el siguiente esquema:



A continuación, ejecutar el programa Palmtop MCA de control del multicanal en la máquina virtual (VirtualBox) de Windows en el ordenador portátil y registre el espectro gamma. En función del rango y del espectro adquirido, se tendrá que ajustar la ganancia del módulo amplificador hasta observar un espectro con forma similar al de la Figura 5.



Una vez comprobado el espectro, retirar la fuente radiactiva y realizar una adquisición del fondo radiactivo de 5 minutos de duración. A continuación, colocar la fuente de ^{137}Cs frente al detector y realizar una adquisición de 10 minutos.

Con objeto de comparar el comportamiento del detector en función del tipo de acabado del plástico centelleador, procederemos a cambiar el recubrimiento de Teflón por otras coberturas con acabado especular (papel de aluminio) y absorbente (cartulina negra). Para ello, procederemos en ambos casos del siguiente modo (*):

- Retirar la fuente radiactiva.
- Girar el selector de voltaje hasta que marque 0V en el display.
- Apagar el módulo de HV (para mayor seguridad).
- Descubrir el detector e intercambiar la cobertura anterior y colocar la nueva asegurando el acople óptico entre el plástico centelleador y el fotomultiplicador.
- Cubrir de nuevo el detector para evitar la entrada de luz externa.
- Encender el módulo de HV.
- Comprobar que el LED de polaridad negativa está encendido.
- Girar el selector del módulo de HV hasta -1500V.
- Colocar la fuente radiactiva enfrente del detector y realizar una adquisición de 10 minutos.

NOTA: guardar cada espectro una vez finalizada cada adquisición en el ordenador con un nombre descriptivo de la medida.

En la segunda parte de la práctica realizaremos el montaje de un detector de centelleo de cristal de BGO y lo acoplaremos al fotomultiplicador. En el caso del centelleador de BGO, realizaremos una comparación del comportamiento del mismo recubriendo el cristal con coberturas con distintos acabados interiores (blanco, aluminio y negro). La manera de proceder tanto para el montaje inicial del BGO como para intercambiar cada una de las coberturas es el seguido anteriormente con el plástico e indicado en (*). En la Figura 6 se muestra el acabado del montaje.



Figura 6: Montaje del detector con el cristal de BGO

Las medidas a realizar para cada una de las coberturas consisten en colocar la fuente radiactiva en al menos tres posiciones a lo largo del cristal de BGO y realizar una adquisición respectivamente. En este caso, y debido a la mayor eficiencia del detector con el cristal de BGO, la duración de cada medida será de 5 minutos. De esta manera se pueden estudiar las diferencias en el espectro entre las diferentes formas de recubrir el cristal centelleador y las diferencias de los espectros obtenidos para cada una de ellas, y por lo tanto, de la recolección de luz de centelleo en función de la posición en el cristal (distancia al fotomultiplicador) en el que se producen las interacciones gamma que se detectan. Una vez finalizadas las medidas, quitar la alimentación HV del detector y desmontar los componentes.

Bibliografía:

- BGO: <https://www.gammadata.se/assets/Uploads/BGO-data-sheet.pdf>
- Plástico centelleador:
https://www.hep.phy.cam.ac.uk/~lester/teaching/SparkChamber/SGC_BC400_404_408_412_4_16_Data_Sheet.pdf
- PMT: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/etd/PMT_handbook_v4E.pdf
- Capítulos 7, 8 y 9 de W. R. Leo: “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”
- Capítulos 8 y 9 de G. F. Knoll: “Radiation detection and measurement”

Preguntas a responder en la memoria de la práctica:

- Comprobar las señales obtenidas directamente del fotomultiplicador en el osciloscópio con el centelleador plástico (BC-400) con las características temporales descritas en su data sheet.
- ¿Cuál es el efecto de las distintas coberturas reflectantes en el centelleador plástico y en el BGO? Explicar los motivos y mostrar en una tabla los resultados obtenidos para cada una de las coberturas empleadas para los dos centelleadores.
- En vez de centelleadores con todas las caras sin tratar, explica qué tipo de acabado (pintura) en las distintas caras del cristal maximizaría la resolución energética? Razonar la respuesta.
- ¿Cuál es el efecto de la posición de la fuente en el detector BGO para las distintas coberturas reflectantes? Mostrar los resultados de manera gráfica y explicar los motivos de dicho comportamiento.