

Guía de Práctica de Laboratorio: **Montaje de detectores de centelleo**

Tutor: Dr. Luis Caballero (Luis.Caballero@ific.uv.es)

Ayudantes: José Escalante y Gustavo Alcalá

Objetivo de la práctica

Iniciar al alumno en el montaje de detectores de centelleo y familiarizarlo con los componentes principales de los detectores de radiación gamma empleados en espectroscopía, así como con sus características. Asimismo, se investigarán y compararán las características físicas relevantes de centelleadores orgánicos (plástico) e inorgánicos (BGO).

Introducción

Al montar un detector centelleador, se debe considerar el transporte y la colección de la luz de centelleo. Las pérdidas en la colección de la luz pueden deberse a su atenuación (absorción) en el propio material centelleador o a pérdidas por transmisión en los límites del material. En nuestro caso, como el volumen del centelleador es pequeño, las pérdidas por atenuación no serán importantes. No obstante, las pérdidas de la luz en los límites del centelleador pueden ser relevantes.

Hay que recordar que cualquier rayo cuyo ángulo de incidencia, respecto a la normal de la superficie límite (interfaz), que sea mayor que el ángulo crítico (θ_c), definido como

$$\sin \theta_c = \frac{n_t}{n_i},$$

será reflejado totalmente (dentro del material donde realiza la incidencia), siendo n_i y n_t los índices de refracción del material donde la luz incide (detector) y se transmite (exterior), respectivamente. Por el contrario, si el ángulo de incidencia (θ_i) es menor al crítico, el rayo podrá transmitirse al exterior con un ángulo de transmisión (θ_t) y una probabilidad dada por las fórmulas de Fresnel

$$T_{\parallel} = 1 - \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)} \quad \text{y} \quad T_{\perp} = 1 - \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)},$$

las cuales dependen del estado de polarización de la luz, satisfaciéndose además la ley de Snell

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t .$$

Por ende, para minimizar posibles pérdidas de luz de centelleo, se debe recubrir la superficie del material centelleador con un material reflectante apropiado.

Para coleccionar la mayor cantidad posible de luz de centelleo, conviene que el índice de refracción del fotosensor (ventana del tubo fotomultiplicador) sea lo más parecido posible al del material centelleador. Además, debe haber un buen acoplamiento óptico entre ambas superficies (sin burbujas de aire), que es proporcionado normalmente por una grasa óptica que tiene un índice de refracción similar al de ambos materiales.

Es importante considerar que para geometrías regulares (e.g., rectangulares), una fracción de la luz puede quedar atrapada sin poder salir del centelleador. Por ello, es conveniente romper la simetría de las reflexiones utilizando un reflectante de tipo difusor (i.e., cinta de teflón) y no uno de tipo especular (e.g., papel aluminizado). Otra solución se basa en usar centelleadores con superficies rugosas (no pulidas).

Materiales

Para la realización de esta práctica se dispone de los siguientes elementos:

- Centelleador plástico BC-400
- Centelleador inorgánico BGO
- Cinta de Teflón
- Papel aluminizado
- Cinta negra aislante
- Grasa óptica
- Tubo fotomultiplicador (PMT) Hamamatsu
- Preamplificador Caen del PMT
- Fuente de alto voltaje (TC952)
- Amplificador de señales (TC244)
- Analizador multicanal (MCA) Palmtop
- Ordenador portátil
- Osciloscopio
- Fuente radiactiva de ^{137}Cs

Desarrollo de la práctica

Parte 1: Detector de centelleo orgánico (Plástico)

En la primera parte de la práctica realizaremos el montaje de un detector de centelleo de plástico (BC-400). Prepararemos el centelleador y lo acoplaremos a un PMT.

En primer lugar, recubriremos el centelleador con cinta de Teflón, intentando asegurar un recubrimiento total en todas sus caras, excepto en la cara donde el detector se acopla al PMT. Con el objetivo de proteger el Teflón y asegurar el aislamiento óptico del centelleador, se habrá de envolver con cinta negra aislante, teniendo cuidado de no dejar agujeros por donde pueda entrar luz exterior. Con este revestimiento se maximiza la recolección de luz originada dentro del plástico centelleador en el PMT y se minimiza 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 (cuarzo) del PMT, teniendo cuidado de no tocar con las manos ni las superficies ni la grasa óptica, para no dejar aire ni contaminantes entre ambas superficies. Se girará y presionará con cuidado una superficie contra la otra hasta que se distribuya bien la grasa y se consiga un buen acoplamiento óptico.¹

Una vez acoplado el plástico al PMT, 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 PMT 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 1).



Figura 1: Centelleador de plástico recubierto y acoplado al PMT

A continuación, conecte el cable (rojo) de alimentación del PMT y el cable por el que se extrae la señal del PMT. Recubra el detector con trapos negros para resguardar el sistema de la luz exterior. Conecte el cable de la señal del PMT al osciloscopio tal y como se muestra en la Figura 2.

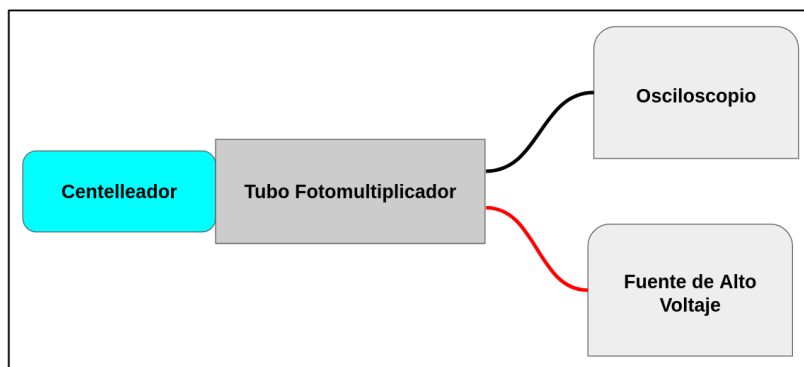


Figura 2: Esquema del montaje del detector centelleador al osciloscopio.

Seguidamente, y **únicamente cuando esté tapado completamente el detector**, encienda el módulo de alimentación del alto voltaje (TC952). Compruebe que el “LED de polaridad negativa”

¹El objetivo de la grasa óptica es eliminar la zona de aire entre el centelleador y el PMT, sustituyéndola por un material con un índice de refracción similar a ambas superficies para minimizar las reflexiones internas en esta interfase.

está encendido y lleve lentamente el selector de voltaje hasta -1500 V, comprobando el valor del voltaje en la pantalla digital del módulo.

Colocar la fuente radiactiva de ^{137}Cs cerca del plástico centelleador y, utilizando el osciloscopio, visualice directamente las señales producidas por la fuente de ^{137}Cs en el detector.

Luego de comprobar las señales provenientes del detector, conecte la salida del PMT al preamplificador, de ahí al amplificador (TC244). Conecte la salida del amplificador al MCA, tal y como se indica en el esquema de la Figura 3.

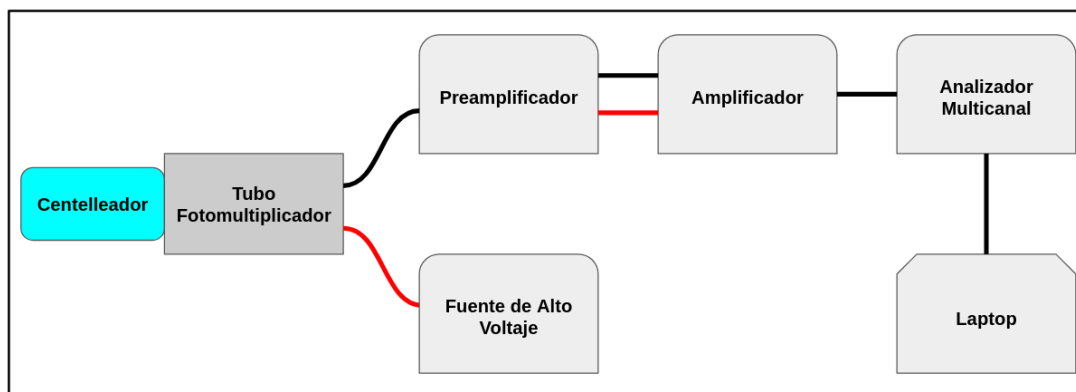


Figura 3: Esquema del montaje del detector centelleador al MCA.

A continuación, ejecute el programa “Palmtop MCA” de control del MCA en la máquina virtual (VirtualBox) de Windows en el ordenador portátil y registre el espectro gamma. En función del rango del espectro adquirido, se tendrá que ajustar la ganancia del amplificador hasta observar un espectro con forma similar al de la Figura 4.

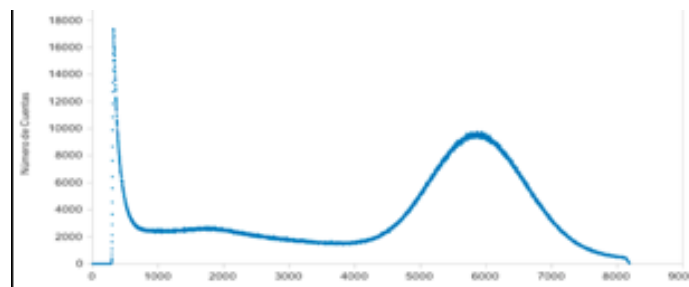


Figura 4: Ejemplo del espectro gamma del ^{137}Cs medido con el MCA.

Una vez comprobado el espectro, retire la fuente radiactiva y realice una adquisición del fondo radiactivo, con un tiempo de medición apropiado. Seguidamente, coloque la fuente de ^{137}Cs frente al detector y realice una adquisición del espectro, nuevamente con un tiempo de medición adecuado.

Para comparar el comportamiento del detector en función del tipo de acabado en la superficie del centelleador, cambie el recubrimiento de Teflón por una cobertura con acabado especular (papel aluminizado) y absorbente (cartulina negra). Para ello, se procederá del siguiente modo:

1. Retirar la fuente radiactiva.
2. Girar el selector de voltaje hasta que marque 0 V en la pantalla.
3. Apagar el módulo de alto voltaje (HV).
4. Descubrir el detector.

5. Intercambiar la cobertura anterior y colocar la nueva, asegurando el acople óptico entre el centelleador y el PMT.
6. Cubrir de nuevo el detector para evitar la entrada de luz externa.
7. Encender el módulo de HV.
8. Comprobar que el “LED de polaridad negativa” está encendido.
9. Girar el selector del módulo de HV hasta -1500 V.
10. Colocar la fuente radiactiva enfrente del detector y realizar una adquisición del espectro con un tiempo de medición apropiado.
11. Finalizada cada adquisición, **guarde el espectro en el ordenador con un nombre descriptivo de la medida.**

Parte 2: Detector de centelleo inorgánico (BGO)

En la segunda parte de la práctica, realizaremos el montaje de un detector de centelleo compuesto por un cristal de BGO acoplado al PMT. Llevaremos a cabo una comparación del comportamiento del detector al utilizar distintos recubrimientos del cristal con diferentes acabados interiores: cartulina blanca, cartulina negra y papel aluminizado.

La manera de proceder, tanto para el montaje del BGO con el osciloscopio y el MCA, como para intercambiar cada una de las coberturas, es análoga a la seguida anteriormente en el montaje del plástico (ver Parte 1 del Desarrollo de la Práctica). La Figura 5 muestra el montaje del BGO acoplado al PMT.



Figura 5: Centelleador de BGO recubierto y acoplado al PMT.

En el caso de este detector, las medidas a realizar con las distintas coberturas consistirán en colocar la fuente radiactiva en al menos tres posiciones a lo largo del cristal de BGO, realizando la respectiva adquisición de los espectros. Debido a la mayor eficiencia del BGO, la duración de cada medida podrá ser menor que en el caso del plástico. Recuerde medir el fondo para este detector.

Estas medidas permiten estudiar las variaciones en el espectro según las diferentes formas de recubrir el cristal centelleador y comparar los resultados obtenidos para cada una de ellas. Estas medidas están asociadas a la eficiencia en la recolección de luz de centelleo en función de la posición en el cristal (distancia a la ventana del PMT) donde se producen las deposiciones de energía de los rayos gamma de la fuente.

Finalizadas las medidas, quite la alimentación de HV del detector, desmonte los componentes y ordene la mesa.

Preguntas para responder en la memoria

1. Comparar las características de las señales del PMT en el osciloscopio usando el centelleador plástico (BC-400) con las características temporales descritas en su datasheet.
2. ¿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 en los dos centelleadores.
3. En vez de centelleadores con todas las caras sin tratar, explique qué tipo de acabado (pintura) en las distintas caras del cristal maximizaría la resolución energética? Razone su respuesta.
4. ¿Cuál es el efecto de la posición de la fuente en el detector de BGO para las distintas coberturas reflectantes? Muestre los resultados de manera gráfica y explique los motivos de dicho comportamiento.

Bibliografía

- Datasheet del PMT: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/etd/PMT_handbook_v4E.pdf
- Datasheet del centelleador plástico: https://www.hep.phy.cam.ac.uk/~lester/teaching/SparkChamber/SGC_BC400_404_408_412_416_Data_Sheet.pdf
- Datasheet del BGO: <https://gammadata.se/wp-content/uploads/2024/01/BGO-data-sheet-v2.pdf>
- W. R. Leo, “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”. Capítulos 7, 8 y 9.
- G. F. Knoll, “Radiation detection and measurement”. Capítulos 8 y 9.