

CARACTERISTICAS DIRECCIONALES DE UN DETECTOR CILINDRICO DE NaI (TI)

M. Stipcich, R. Romero, A. Somoza

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, 7000 Tandil

El estudio de la sección eficaz de detección y de la eficiencia, de un centellador cilíndrico, para detectar radiación gamma con simetría axial ha sido realizado en forma exhaustiva por diversos autores. Sin embargo, menor atención ha merecido el análisis de las propiedades direccionales de los mismos. El conocimiento de tales características es de importancia para experiencias donde parte, o toda, de la radiación incide con ángulos distintos de 0° respecto del eje del detector. Nosotros hemos determinado la direccionalidad y la eficiencia relativa de un detector de NaI (TI) en el rango de energías de 650 a 1350 keV, así como dos parámetros de "calidad" de los espectros. Por otra parte, los valores de direccionalidad y eficiencia relativa fueron calculados mediante un modelo simple. La comparación de estos resultados con los obtenidos experimentalmente muestra un razonable acuerdo.

INTRODUCCION

Las características direccionales de un detector son de conocimiento valioso para los casos en los cuales, por ejemplo, se utilizan campos de radiación de estructura compleja, se estudia la retrodispersión de radiación gamma, como así también cuando se emplean detectores compuestos.

En el presente trabajo se analizan dos importantes parámetros direccionales: la direccionalidad (vinculada con la sección eficaz de detección) y la eficiencia, como función del ángulo de incidencia de la radiación gamma.

DESCRIPCION EXPERIMENTAL

Se utilizó un detector sin blindaje de NaI (TI) de 5" x 2" del tipo "on line" provisto por Harshaw siendo la electrónica asociada Ortec. Los espectros fueron acumulados en un multicanal Canberra S - 88, en todos los casos la estadística acumulada bajo los picos fue de $\approx 10^5$ eventos. El tiempo muerto se mantuvo por debajo del 2%. Las fuentes radiactivas utilizadas fueron ^{137}Cs y ^{60}Co , ambas con una intensidad de $20\mu\text{Ci}$, y un diámetro de aproximadamente 3mm.

El dispositivo experimental consiste de una base circular graduada (precisión 0.5°) sobre la cual se desplaza un brazo móvil, que puede girar según un eje coincidente con el centro del detector, sobre el cual se coloca la fuente radiactiva. La distancia fuente-detector fue de 1m. El detector se encuentra ubicado en el centro de la base circular.

Los ángulos se miden a partir del eje z del detector cilíndrico.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

La direccionalidad $\Gamma(E, \theta)$ se define como¹ la sección eficaz para un ángulo dado θ respecto de la correspondiente a un ángulo de 0° , para una energía dada. Como en las experiencias realizadas se mantuvieron fijas la distancia fuente-detector y la intensidad de la fuente, la direccionalidad se obtiene directamente realizando el cociente entre el área bajo el fotopico (indicada con el sombreado A en la Fig. 3) para un ángulo θ dado y el correspondiente a $\theta = 0^\circ$. La elección del área A, en lugar de la del espectro total, se basa en la conocida constancia de la fotofracción para valores fijos de energía y dimensiones del detector². Los resultados para la radiación gamma de 662 keV (^{137}Cs) y 1173 keV (^{60}Co) se muestran en las Figs. 1 y 2 (curvas a).

La eficiencia $\epsilon(E, \theta)$ es definida como¹ el cociente entre la sección eficaz para un determinado θ y el área "iluminada" por la radiación gamma dada por $S(\theta) = \pi r^2 \cos(\theta) + 2hr \sin(\theta)$ (siendo h y r la altura y el radio del centellador, respectivamente) para una determinada energía. Desde el punto de vista experimental la evaluación de la eficiencia relativa $\epsilon_r = \epsilon(E, \theta) / \epsilon(E, 0)$ resulta ser más simple. En las Figs. 1 y 2 (curvas b) se muestran los resultados obtenidos para las energías mencionadas en el párrafo anterior.

La evaluación de las áreas involucradas en los cálculos se realizó luego del restado del fondo correspondiente.

Los resultados experimentales se compararon con el modelo propuesto por Petr^{1,3}, el cual considera al detector dividido en láminas, según planos de

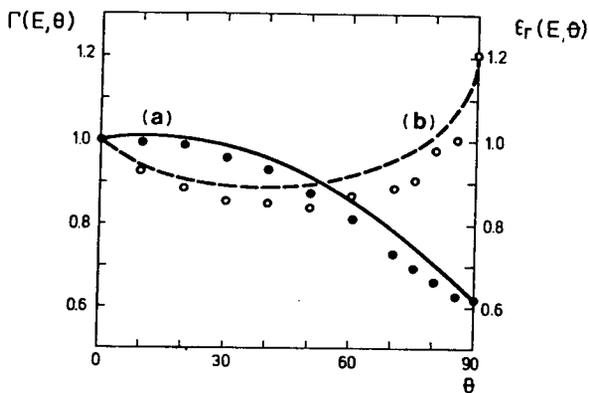


Figura 1: a: direccionalidad $\Gamma(E, \theta)$ teórica (—), experimental (\bullet). b: eficiencia relativa $\epsilon_r(E, \theta)$ teórica (---), experimental (\circ) para $E = 662$ keV; en función del ángulo de incidencia.

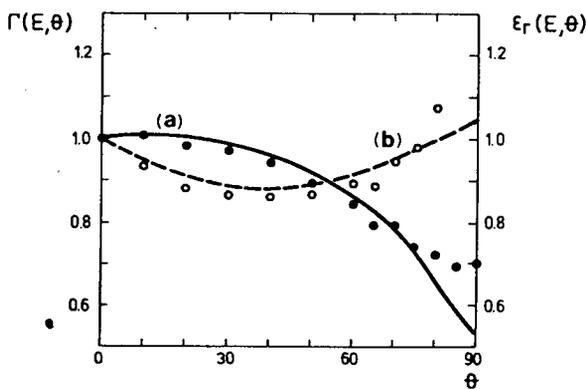


Figura 2: Idem Fig. 1 para $E = 1173$ keV.

terminados por la dirección de incidencia del haz considerado paralelo y el eje z del detector, de espesor diferencial, comportándose cada una como un detector elemental. Se observa, en ambos casos, un razonable acuerdo cualitativo. Sin embargo, los valores experimentales se mantienen, en general, por debajo de las predicciones teóricas salvo para $E = 1173$ keV y $\theta \geq 70^\circ$. Esta discrepancia no puede atribuirse a la elección inadecuada del coeficiente de atenuación del cristal centellador dada la débil dependencia de $\Gamma(E, \theta)$ con la energía que se manifiesta en la pequeña diferencia entre las curvas calculadas de las Figs. 1 y 2, y en los valores experimentales coincidentes de $\Gamma(E, \theta)$ para $E = 1173$ keV y 1332 keV. Tampoco puede adjudicarse a la falta de "paralelismo" del haz de radiación incidente ($\leq \pm 4^\circ$, para la geometría utilizada) ya que su efecto sería un "suavizado" de la curva resultante de los datos experimentales. No obstante, la divergencia del haz puede explicar, al menos parcial-

mente, el apartamiento hacia valores mayores que la predicción teórica de $\Gamma(E, \theta)$ y $\epsilon_r(E, \theta)$ para $\theta \geq 70^\circ$, haciéndose más notorio para $E = 1173$ keV.

En las mediciones efectuadas se barrió un ángulo $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, observándose un decrecimiento monótono de la direccionalidad con el ángulo θ cuyos valores extremos ($\theta = 180^\circ$) son 0.35 para $E = 662$ keV y 0.43 para $E = 1173$ keV. Lamentablemente no es posible analizar en base a un modelo simple $\Gamma(E, \theta)$ para $\theta > 90^\circ$ (debido a la presencia del tubo fotomultiplicador acoplado al cristal detector). De nuestros resultados, se deduce que, en el caso de necesitar evaluar radiación incidente multidireccional, la sección eficaz integrada, para ángulos mayores que 90° , resulta ser, para las energías utilizadas, un 40% de la sección eficaz total.

Adicionalmente fueron evaluados dos parámetros de "calidad" de los espectros, uno relacionado con la resolución del detector utilizándose como figura de mérito el semiancho FWHM (ver Fig. 3) y el otro definido como la relación entre las áreas A y B de la Fig. 3 ($R = A/B$), el cual provee información acerca de la fotofracción. Se consideró el área B, cuyo extremo superior se corresponde con una energía menor que el borde Compton, y no toda la distribución Compton con el objeto de evitar la cola de bajas energías y la contribución espúrea de la retrodispersión.

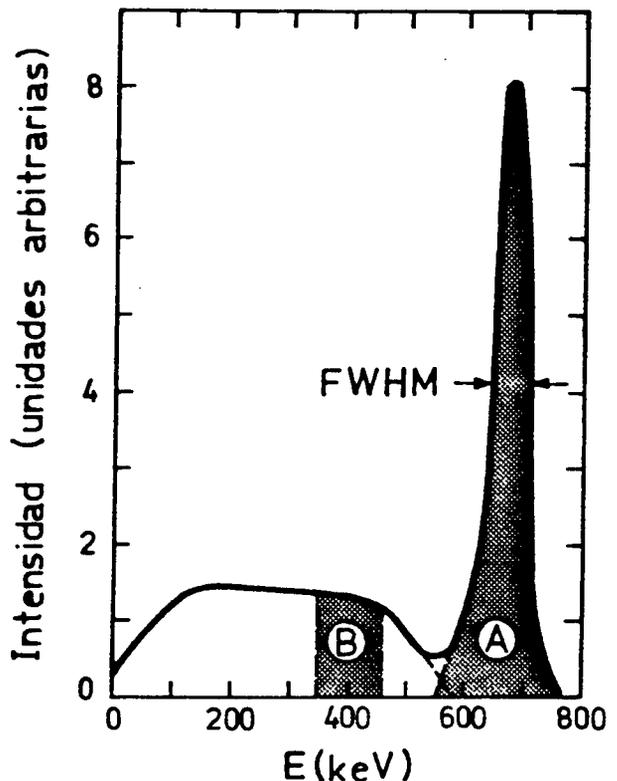


Figura 3: Definición de las áreas A y B y de FWHM (ver texto).

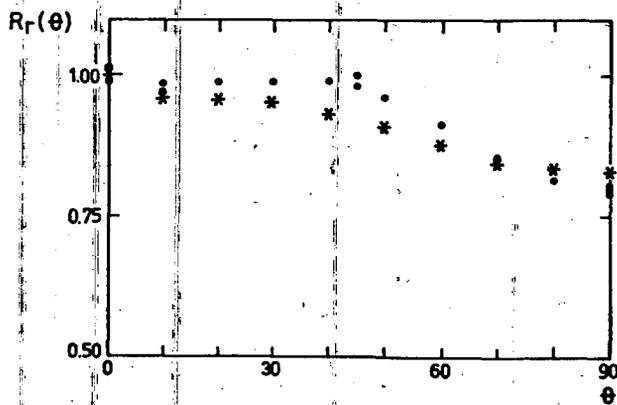


Figura 4: Parámetro de "calidad" R_r (ver texto) para $E = 662$ keV (•) y $E = 1173$ keV (*); en función del ángulo de incidencia.

Con respecto a los valores de FWHM, como también del centroide del fotopico, no se observa variación sistemática alguna con el ángulo de incidencia θ de la radiación gamma, encontrándose como valor medio de la resolución ($5.85 \pm 0.06\%$) para $E = 1173$ keV. Si bien una variación en estos parámetros no era de esperar, dada la naturaleza de su origen, el hecho de utilizar un centellador de gran tamaño justifica la verificación del comportamiento esperado.

En la Fig. 4 se muestran los valores de $R_r(E, \theta)$

$= R(E, \theta) / R(E, 0)$ para $E = 662, 1173$ keV y $0 \leq \theta \leq 90^\circ$; de la misma puede deducirse que para 662 keV no hay una variación significativa para $0 \leq \theta \leq 40^\circ$ disminuyendo monótonamente, para θ mayores, hasta un valor de 0.8. Para 1173 keV la diferencia entre valores extremos de R_r es similar, sin embargo se observa un decrecimiento a partir de ángulos de incidencia de la radiación menores. Por otra parte, si se utiliza R_r como un factor de corrección para $\Gamma(E, \theta)$ y $\epsilon(E, \theta)$, los valores que se obtienen no mejoran el ajuste con la predicción teórica. Estos resultados indican la existencia de una "degradación" en la "calidad" de adquisición de los datos con el incremento del ángulo de incidencia de la radiación gamma.

REFERENCIAS

1. I. Petr, A. Adams, J. B. Birks: Nucl. Instrum. and Meth. **95**, (1971) 253.
2. J. B. Marion: en "American Institute of Physics Handbook" editado por D. E. Gray (McGraw-Hill, New York, 1972) 8-211.
3. I. Petr: J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters **96**, (1985) 123-128 y 169-174.
4. R. Van Lieshout, A. H. Wapstra, R. A. Ricci, R. K. Girgis: en "Alpha, Beta and Gamma-ray Spectroscopy" editado por K. Siegbahn (North-Holland, Amsterdam, 1968) 501-538.

CEILAP
CITEFA - CONICET
ZUFRIATEGUI Y VARELA
1603 - VILLA MARTELLI
REPUBLICA ARGENTINA