

Instalación de rutina para la determinación de actividades absolutas por el método de coincidencias gamma-gamma

M. Medina, L. Pérez, Dpto. de Física Nuclear, Universidad de Oriente

RESUMEN

Se ha realizado el montaje de una instalación de rutina para la determinación de actividades absolutas por el método de coincidencias gamma-gamma, empleando detectores de centelleo. Se propone una geometría conveniente para evitar dispersiones secundarias de los cuantos gamma en los detectores y se hace la corrección por correlación angular.

ABSTRACT

A routine gamma-gamma coincidence installation has been constructed, using scintillating detectors in determining absolute activities. A convenient geometry is proposed to avoid secondary gamma ray scattering on detectors. The angular correlation between coincidence radiations has been taken into account.

INTRODUCCIÓN

La medición de actividades por el método de coincidencias cae de los usualmente llamados métodos de calibración absoluta, esto es, los que miden las velocidades de desintegración absoluta directamente, sin la utilización de una fuente patrón y dentro de estos métodos de calibración absoluta, pueden considerarse los más exactos, ya que no requieren de un conocimiento riguroso de parámetros tales como eficiencia de los detectores, ángulo sólido, etcétera.

El presente trabajo tiene como propósito presentar los resultados obtenidos en el montaje de una instalación de rutina para la medición de actividades absolutas por el método de coincidencias gamma-gamma.

La instalación montada constituye un sistema de baja eficiencia que presenta la ventaja de utilizar un equipamiento relativamente sencillo: 2 detectores de centelleo con cristales de INa(Tl) de 40×40 mm., un circuito de coincidencias del tipo Rossi a diodo semiconductores, con un multivibrador a cada entrada para conformar los pulsos de los detectores convenientemente, sin requerimientos de geometría complicada ni elaboración especial de la fuente a medir.

EXPERIMENTO Y RESULTADOS

Se midieron las actividades absolutas de varias fuentes radioactivas de Co^{60} . El Co^{60} resulta un isótopo representativo de los que pueden utilizarse para emplear el método, ya que emite una radiación beta en coincidencia con dos cuantos gamma de energías cercanas.

La instalación utilizada se muestra en el fig. 1, estando la actividad de la fuente dada por la fórmula

$$N_0 = \frac{N_{Y_1} N_{Y_2}}{2 N_{Y_1 Y_2}} \quad (1)$$

donde N_{Y_1} es la velocidad de conteos en un canal

N_{Y_2} es la velocidad de conteos en el otro canal

$N_{Y_1 Y_2}$ es la velocidad de conteos de coincidencias

Dada la geometría empleada y los detectores utilizados (centelleantes), se desprecian los posibles conteos debidos a partículas beta.

La expresión dada en (1) se obtiene de conformidad con [1] pero se hacen además las siguientes suposiciones: las eficiencias de los detectores para ambas radiaciones son iguales y estas eficiencias son mucho menores que la unidad, ya que se trata de una instalación de baja eficiencia.

La fórmula (1) es muy sencilla de evaluar, pero en ella se ha supuesto tácitamente que la fuente a medir es puntual. Sin embargo, el método es aplicable también a fuentes distribuidas como se demuestra en [2], si una de las eficiencias se mantiene constante en todo el volumen de la muestra, lo cual es fácil de lograr cuando se trabaja con radiaciones gamma, dada su gran penetrabilidad. De esta forma por un procedimiento semejante al empleado por A. Gandy en [2] y teniendo en cuenta las consideraciones que sobre las eficiencias se han hecho, se demuestra que la fórmula (1) para el cálculo de la actividad absoluta es adecuada independientemente de que la fuente sea puntual o no. En el caso de calibraciones utilizando otros tipos de coincidencias como por ejemplo las beta-gamma, resulta mucho más problemático lograr las condiciones mencionadas arriba.

Para el empleo de la fórmula (1) se hace necesario además, sustraer las coincidencias casuales de las medidas, de forma tal de considerar solamente las coincidencias verdaderas. La velocidad de conteos de coin-

ciencias casuales puede encontrarse [1] por la expresión:

$$N_{cc} = 2N_{\gamma_1} N_{\gamma_2} \tau_R \quad (2)$$

donde N_{γ_1} y N_{γ_2} son las velocidades de conteos en los canales 1 y 2 respectivamente y τ_R es el tiempo de resolución de la instalación. Este parámetro es necesario calcularlo con buena precisión, ya que de lo contrario se puede introducir un error apreciable en el valor de la actividad calculado. En cada corrida de mediciones se hace necesario la determinación de τ_R , es decir la calibración de la instalación. La determinación del tiempo de resolución puede hacerse rápidamente, utilizando el método de las dos fuentes.

La instalación empleada tiene un tiempo de resolución del orden de 10^{-7} seg. lo cual asegura una buena relación de coincidencias verdaderas a coincidencias casuales. El error relativo en las coincidencias verdaderas se obtiene según [3] por:

$$N = \left\{ \frac{1+R}{N_{\gamma_1} N_{\gamma_2}} + R^2 t^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

donde:

- N - Error relativo en las coincidencias verdaderas
- t - Error relativo en el tiempo de resolución
- R - Razón de coincidencias casuales-coincidencias verdaderas.

Otra corrección importante que debe hacerse a la expresión (1) se debe a la existencia de una determinada correlación angular entre las radiaciones coincidentes. En el caso nuestro Co^{60} , la función de correlación angular para los cuantos gamma, viene dada según [4] por:

$$P(\nu) = 0,948(1+0.16 \cos^2 \nu) \quad (4)$$

siendo ν el ángulo entre las direcciones en que se emiten los dos cuantos gamma.

De esta forma el número de coincidencias verdaderas por unidad de tiempo, viene dado por [5]:

$$N_{\gamma_1 \gamma_2} \cong 2N_0 \epsilon_{\gamma_1} \epsilon_{\gamma_2} P(\bar{\nu}), \quad \begin{matrix} \epsilon_{\gamma_1} \epsilon_{\gamma_2} \\ \text{eficiencias} \\ \text{de detección} \end{matrix} \quad (5)$$

donde $\bar{\nu}$ es el ángulo promedio de emisión de las radiaciones dentro del ángulo sólido que subtienden los detectores con la fuente, considerada puntual.

En nuestro caso al hacer uso de esta corrección, se empleó la geometría

mostrada en la figura 2, en la cual la fuente se considera puntual, lo cual es una suposición bastante real, pues la fuente empleada con esta geometría tenía un radio de 1,3 mm y los detectores se situaron a 10 cm de la muestra el radio de los detectores fue de 20 mm. De la figura 2 se ve fácilmente que $\alpha = 180^\circ - 2 \arctg R/d$, siendo R el radio de los cristales empleados y d la distancia entre los detectores y la muestra. Entonces el ángulo $\bar{\nu}$ se obtiene evaluando el cociente de las integrales:

$$\bar{\nu} = \frac{\int_{\alpha}^{\pi} \nu P(\nu) d\nu}{\int_{\alpha}^{\pi} P(\nu) d\nu} = 169^\circ 47'$$

Finalmente la sustitución de este valor encontrado, $\bar{\nu}$ en (4) nos dará el valor de $P(\bar{\nu})$ buscado. Este valor calculado de acuerdo con la geometría propuesta en la figura 2, es igual a 1.09.

En las mediciones de coincidencias es necesario además, considerar los efectos de otros factores que pueden llevar a correcciones tales como:

- corrección por tiempo muerto
- corrección por fondo
- corrección por esquema de desintegración

En el caso nuestro se hicieron las correcciones por el tiempo muerto en cada canal, pero no así en el canal de las coincidencias, ya que en general, las velocidades de conteos de coincidencias son mucho menores que las de cada canal por separado.

La corrección por fondo sólo es considerable a velocidades de conteos menores de 400-500 conteos/seg. Para velocidades de conteos de 2000 conteos/seg estas correcciones influyen en menos del 1%. Las coincidencias del fondo en el canal de coincidencias son realmente despreciable en un sistema de baja eficiencia como el nuestro. En la figura 3 se muestra un esquema electrónico de la unidad de coincidencias.

En los isótopos con esquemas de desintegración complejos, es necesario hacer la corrección por esquema de desintegración complejo [1]. En el caso del Co^{60} que tiene un esquema de desintegración simple, esta no es necesaria. Por último la estimación de la desviación standard relativa en la actividad medida se encuentra según [2] por:

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{N_{\gamma_1 \gamma_2}} + \frac{1}{N_{\gamma_1}} + \frac{1}{N_{\gamma_2}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Para la deducción de la ecuación (6) se supone que las velocidades de conteos en el canal de coincidencias son mucho menores que las de cada

canal por separado y que además, los eventos registrados en cada canal, con independientes entre sí.

DISCUSIÓN

Se midieron las actividades de dos fuentes radioactivas de Co^{60} , una patrón y la otra de actividad conocida no muy exactamente. Se empleó el método de las mediciones repetidas y el error en medición (error standard) se comparó con el error dado por (6), el cual puede aproximarse a $\left(\frac{1}{N_{Y_1 Y_2}}\right)^{\frac{1}{2}}$, ya que los errores estadísticos en N_{Y_1} y N_{Y_2} son despreciables.

Las correcciones por tiempo muerto y por fondo, influyen en menos de 1 % cada una.

La corrección por correlación angular mejora notablemente los valores medidos. En la tabla 1 se muestran los valores medidos de actividad y los correspondientes valores corregidos utilizando la geometría descrita en la figura 2. El valor medido para la fuente patrón se reporta como:

$$6.09 \pm 0.21 \text{ microcuries}$$

con un 95 % de confiabilidad.

Para determinar la exactitud alcanzada con este método comparamos el valor de la actividad de la fuente patrón medida con el valor medio obtenido en las mediciones con dicha fuente.

La fuente patrón tiene, de acuerdo con su pasaporte, una actividad de: 6.34 ± 0.7 microcuries, calculada de acuerdo con la fórmula de la desintegración radiactiva:

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{-0.693 t}{T_{\frac{1}{2}}}}$$

donde:

N - Actividad actual

N_0 - Actividad inicial (según pasaporte)

$T_{\frac{1}{2}}$ - Semiperíodo de desintegración (tomado como 5.26 años, valor dado por S. G. Gobiertz y E. Kuntz, 1963 [6])

t - Tiempo transcurrido hasta el momento de medición.

Para encontrar la exactitud se ha utilizado la relación:

$$\frac{|N_m - N|}{N} \times 100 \%$$

donde: N_m - valor medio (tomado como la media de muchas mediciones realizadas en fechas diferentes)

N - valor dado por el pasaporte de la fuente, corregido para la fecha de medición.

La exactitud alcanzada de esta forma, o mejor aún, la calculada de esta manera alcanza un 3,9 % con un error estadístico del 1 %. De esta forma el error sistemático introducido alcanza un 2,9 %.

De estos resultados puede verse que la instalación para las mediciones de actividades absolutas por el método de las coincidencias gamma-gamma, presenta la ventaja de poder realizar mediciones de este tipo haciendo uso de un equipamiento relativamente sencillo, como se plantea en la introducción, contando con una reproducibilidad aceptable para la realización de mediciones de rutina que no requieran exactitudes mejores de un 4 %.

La exactitud puede mejorarse si se tienen en cuenta en dichas mediciones las correcciones por correlación angular, las cuales pueden mantenerse constantes para el caso de mediciones de rutina, como en el caso de la figura 2. Esto evitaría el cálculo engorroso de los ángulos para sustituirlos en la ecuación 4.

El corto tiempo requerido para la obtención de errores estadísticos pequeños (del orden del 1 %), que resultó ser entre 10 y 20 minutos para ambas actividades medidas, hacen de esta instalación un medio aceptable para este tipo de mediciones.

Es necesario destacar la importancia que tiene una medición más precisa posible del tiempo de resolución del circuito de coincidencia, que en nuestro caso pudo haber influido con un error de un 2 %, de acuerdo con la ecuación (3). Es recomendable trabajar con velocidades de conteos de 1000-2000 conteos/seg ya que se gana en tiempo y no son necesarias las correcciones por el fondo ni por el tiempo muerto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la magnífica colaboración prestada por el Ingeniero Rafael Carulla, quien ayudó en la construcción y diseño del circuito de coincidencias utilizado en este trabajo.

Tabla 1

Resultados de las mediciones realizadas con la geometría de la figura y correcciones realizadas por la correlación angular

Medic. No.	Actividad sin correc. (μc)	Valor corregido (μc)	Valor medio (μc)	Dispersión standard
1	5.72	6.23	6.09	0.02
2	5.77	6.28		
3	5.60	6.10		

Tabla 1. (Continuación)

Medio. No.	Actividad sin correc. (μC)	Valor corregido (μC)	Valor medio (μC)	Dispersión standard
4	5.76	6.28		
5	5.44	5.93		
6	5.61	6.11		
7	5.74	6.26		
8	5.43	5.92		
9	5.51	6.00		
10	5.77	6.29		
11	5.57	6.07		
12	5.29	5.77		
13	5.62	6.13		
14	5.62	6.13		
15	5.39	5.88		

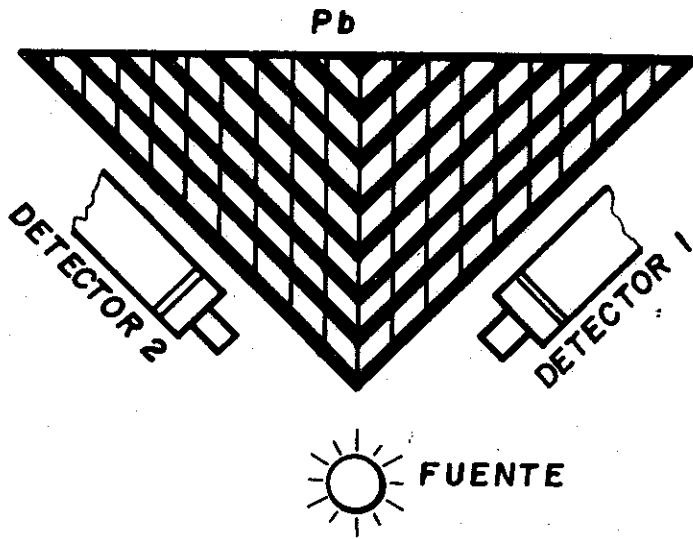


FIG.1 - GEOMETRÍA EMPLEADA.

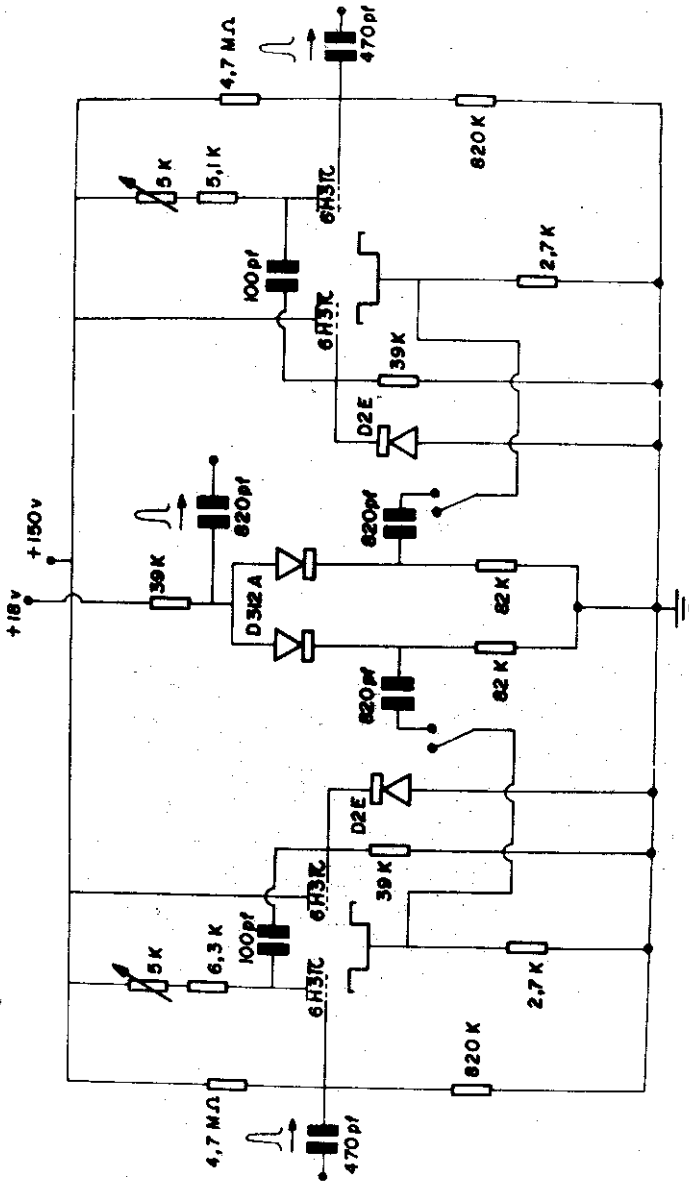


FIG. 3 - ESQUEMA ELECTRONICO DE LA UNIDAD DE COINCIDENCIAS.

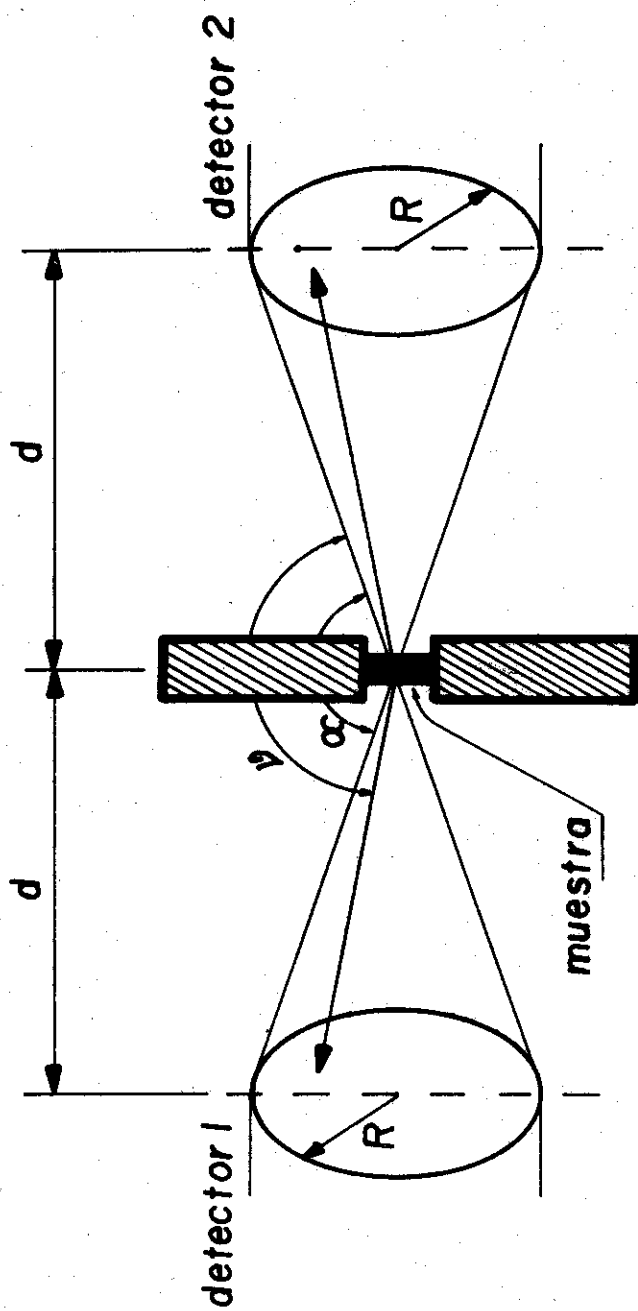


FIG.2 - GEOMETRÍA PARA LA CORRECCIÓN POR CORRELACIÓN ANGULAR..-

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Allen, R.A.
Measurement of source strength in Alpha, Beta and Gamma ray spectroscopy. (Editor K. Siegbahn) 1965.
- [2] Gandy, A.
Int. Journal of Appl. Rad. and Isotopes 11 (1961)
- [3] Wapstra, A. H.
The coincidence Method (Editor K. Siegbahn) 1965.
- [4] Deutscho, M.; Kafeel Hansen
Experimental Nuclear Physics, Segré Vol. III, Part. X (1959).
- [5] Bleuler Goldsmith
Experimental Nucleonics (1956).
- [6] Ledever, Holander, Perlman
Table of Isotopes -Wiley Edit. (1967).

Recibido:8 de noviembre de 1982