

E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1984

DETERMINACION DE LA SECCION EFICAZ DE LA REACCION  
 $^{112}\text{Sn}(n,2n)^{111}\text{Sn}$ , PROMEDIADA SOBRE UN ESPECTRO DE FISION.  
 R. R. PLA, I. M. COHEN, G. B. BARO.  
 Comisión Nacional de Energía Atómica.

### Resumen

Se ha efectuado la determinación de la sección eficaz de la reacción  $^{112}\text{Sn}(n,2n)^{111}\text{Sn}$ , promediada sobre un espectro de fisión, con el objeto de explorar la factibilidad de obtención de  $^{111}\text{In}$ , radionucleido producido por el decaimiento del  $^{111}\text{Sn}$ , en reactores nucleares.

Se describe el método experimental utilizado y se exponen los resultados obtenidos.

### Introducción

El  $^{111}\text{In}$  de 2,83 días de período, energías gamma bajas, de 172,1 keV y 246,6 keV y decaimiento por captura electrónica, es un isótopo frecuentemente utilizado en medicina nuclear en combinación con el  $^{113\text{m}}\text{In}$ , o en sustitución de este último, cuando los estudios requieren un nucleido de período de semidesintegración más largo.

Los métodos corrientes de producción de  $^{111}\text{In}$  son: a partir de Ag, mediante la reacción  $^{109}\text{Ag}(\alpha,2n)^{111}\text{In}$ , o bien a partir de Cd; según las reacciones  $^{110}\text{Cd}(d,n)^{111}\text{In}$  y  $^{111}\text{Cd}(d,2n)^{111}\text{In}$ . (1, 2).

Debido a los inconvenientes que representa la producción en un ciclotrón no diseñado específicamente para estos fines, como el de la CNEA, se pensó en la posibilidad de obtener el  $^{111}\text{In}$ , con neutrones de reactor, a partir

de la reacción  $^{112}\text{Sn}(n,2n)^{111}\text{Sn} \xrightarrow{\text{C.E.,}\beta^+} ^{111}\text{In}$ .

Puesto que en la bibliografía se encontró sólo un dato estimado acerca de la sección eficaz, promediada sobre un espectro de fisión, para esta reacción (3), se comenzó el estudio haciendo una determinación experimental de la misma.

Las dos posibilidades existentes para ello eran:

a) Efectuar una irradiación de estaño de corta duración tratando de detectar al  $^{111}\text{Sn}$ , de período 35,5 min, a partir de sus energías gamma de 762 keV; 1153,0 keV; 1610,3 keV y 1915,1 keV, que en principio resultaban adecuadas para la medición.

b) Irradiar un tiempo mayor, con miras a producir actividades convenientes de  $^{111}\text{In}$ .

Estas dos posibilidades fueron ensayadas; los detalles experimentales se verán más adelante.

### Parte experimental

#### Materiales. Preparación

Se utilizaron muestras de Sn metálico Spec-Pure (Johnson, Matthey and Co, London) en forma de pequeñas placas de aproximadamente 0,3 g. Estas fueron tratadas con HCl concentrado, para remover las impurezas superficiales y lavadas con agua destilada. Las hojuelas de hierro, utilizadas como monitores de flujo rápido, de un peso del orden de 0,006 g, procedían del OIEA.

Para la preparación de portadores se utilizaron In metálico y  $\text{SnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . El In fue agregado al estado sólido mientras que el  $\text{SnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  se disolvió en HCl 0,6N, con agregado de  $\text{Br}_2$ , en caliente, preparando una solución de

aproximadamente 10 mg Sn/ml.

### Irradiación

Todas las irradiaciones se efectuaron en el reactor RA-3, del Centro Atómico Ezeiza.

Cada conjunto muestra-monitor fue montado para su irradiación en una cápsula de aluminio, con cobertura interna de cadmio y geometría reproducible.

### Ensayos preliminares

Se realizó una irradiación de 10 min, midiendo la muestra luego de aproximadamente 20 min de decaimiento. Se comprobó que no se producían actividades detectables de  $^{111}\text{Sn}$  por la interferencia que introducían los nucleidos  $^{125\text{m}}\text{Sn}$  e  $^{116\text{m}}\text{In}$ , formados a partir de reacciones de captura con neutrones epitérmicos; en el caso del  $^{116\text{m}}\text{In}$ , por impurezas de indio en el estaño usado.

Se efectuó un segundo ensayo consistente en una irradiación de 96 horas, con el objeto de producir actividades medibles de  $^{111}\text{In}$ .

El resultado fue también negativo, debido a las interferencias que introducían los nucleidos originados por reacciones  $(n,\gamma)$  sobre estaño, razón por la cual se decidió desarrollar un método de separación radioquímica para aislar al indio de la matriz.

### Separación radioquímica

La muestra de Sn irradiada fue lavada con acetona y agua para eliminar restos de adhesivo del montaje, y se disolvió, previo agregado de portador de In (del orden de 0,01 g) en HCl concentrado, en presencia de  $\text{Br}_2$ .

La solución obtenida se evaporó, eliminando de esta for

ma la mayor parte de las interferencias mayores, debidas a radioisótopos del Sn y al  $^{125}\text{Sb}$ , como compuestos volátiles.

Luego del agregado de 30 ml de HCl 0,6N se precipitó  $\text{SnS}_2$  por burbujeo de  $\text{H}_2\text{S}$  durante 5 min. Se centrifugó descartando el precipitado y al sobrenadante se agregaron 2 ml de portador de Sn, realizando una nueva precipitación de  $\text{SnS}_2$ . Esta operación fue repetida una vez más y se midió la actividad de  $^{111}\text{In}$  sobre una alícuota de la solución. El rendimiento fue determinado por titulación del In con EDTA. (4)

#### Mediciones y cálculos

Las mediciones se realizaron con un detector de alta resolución de Ge(Li), Princeton Gamma Tech, de  $70\text{ cm}^3$  y resolución 2,4 keV para el pico de 1332 keV de  $^{60}\text{Co}$ , acoplado a un analizador multicanal Canberra Serie 80 de 4096 canales.

Las alícuotas a medir se envasaron en frascos de centelleo y se determinó su actividad a partir de la medición del pico de 246,6 keV, comparando contra el pico de 244,7 keV de una solución de  $^{152}\text{Eu}$  de actividad conocida.

La actividad de  $^{54}\text{Mn}$  en las hojuelas de hierro irradiadas, originada en la reacción standard  $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ , fue determinada por medición del pico de 834,3 keV, comparando con una fuente calibrada de  $^{54}\text{Mn}$  procedente del Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (Commissariat à l'Énergie Atomique, Bureau National de Métrologie, Francia).

Las áreas de los picos fueron calculadas empleando el método de Covell, con una computadora de mesa Hewlett-Packard, modelo 9810A.

### Resultados y discusión

Se realizaron tres determinaciones independientes de la sección eficaz de la reacción  $^{112}\text{Sn}(n,2n)^{111}\text{Sn}$ . El valor medio hallado fue de 0,416 mb, con un error estadístico del 2,9% y error sistemático del 6,7%, el cual incluye el error de la sección eficaz de la reacción (n,p) sobre  $^{54}\text{Fe}$ , los errores de las intensidades de los picos medidos, y los errores de las actividades de las fuentes utilizadas en la comparación.

Utilizando monitores de Fe, Mn y Ti, de diferentes umbrales energéticos, se estudiaron las características de la componente rápida del espectro neutrónico del reactor RA-3. Se comprobó que la componente de neutrones rápidos del reactor coincidía con un espectro de fisión, en el rango de energías considerado. Idéntica comprobación se había logrado en trabajo previo. (5)

Teniendo en cuenta el valor hallado y las condiciones actuales de operación del RA-3, la actividad máxima que podría obtenerse en un ciclo de irradiación, sería solamente de 4,75  $\mu\text{Ci/g}$ . Esto implica que la reacción estudiada no puede ser utilizada como método de producción de  $^{111}\text{In}$ .

### Bibliografía

1. C.M.LEDERER, V.S.SHIRLEY. Table of Isotopes, 7<sup>th</sup> ed., Wiley, New York, Chichester, Brisbane, Toronto (1978).
2. M.C.PALCOS, R.RADICELLA, J.RODRIGUEZ. Informe CNEA, N° 68 (1962).
3. A. CALAMAND, en Handbook on Nuclear Activation Cross Sections, IAEA, Vienna (1974).

4. I.M.KOLTHOFF and P.J.ELVING. Treatise on Analytical Chemistry, II, 2, p. 89, Interscience, New York - London (1962).
5. J.J.GIL GERBINO, I.M.COHEN, R.O.KOROB, G.B.BARO. J. Inorg. Nucl. Chem. 38, 1386 (1976).