

CNEA 358

Funciones de Excitación para
las Reacciones $Y89(d,2n)Zr89$,
 $Y89(d,3n)Zr88$, $Y89(d,t)Y88$ e
 $Y89(d,\alpha)Sr87m$.

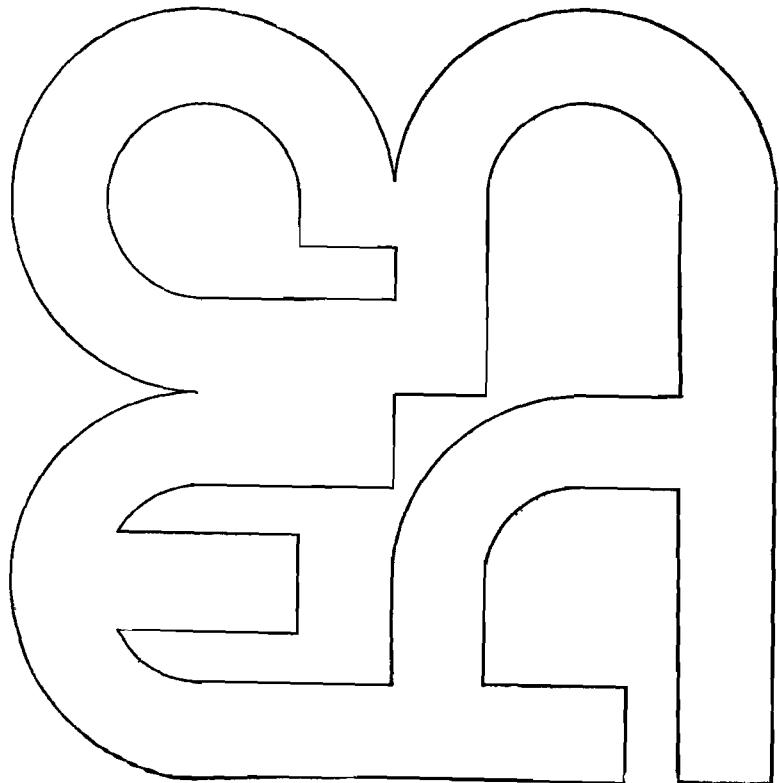
A. M. G. La Gamma
de Batistoni

S. J. Nassiff

Comisión
Nacional
de Energía
Atómica

República Argentina

Buenos Aires, 1973



INIS CLASSIFICATION AND KEYWORDS

A34

NUCLEAR REACTIONS
EXCITATIONS FUNCTIONS
DEUTERON BEAMS
STRIPPING
YTTRIUM 88
YTTRIUM 89
ZIRCONIUM 88
ZIRCONIUM 87
METASTABLE STATE
NEUTRONS
ALPHA PARTICLES
TRITIUM
EVAPORATION MODEL
GAMMA SPECTRA

**FUNCIONES DE EXCITACION PARA LAS REACCIONES
Y89(d, 2n)Zr89, Y89(d, 3n)Zr88, Y89(d, t)Y88(*) e
Y89(d, α)Sr87m.**

A. M. G. LA GAMMA de BATISTONI y S. J. NASSIFF

RESUMEN

Se determinaron experimentalmente las funciones de excitación para las reacciones inducidas por deuterones sobre ytrio, con deuterones de hasta 25,0 MeV, usando el método de "activación". Las reacciones observadas fueron:

Y89(d, 2n)Zr89, Y89(d, 3n)Zr88, Y89(d, t)Y88(*) e Y89(d, α)Sr87m.

SUMMARY

Excitation functions for reactions induced by deuterons on Y89 were measured by activation method up to 27,2 MeV deuteron energy.

The observed reactions are: Y89(d, 2n)Zr89, Y89(d, 3n)Zr88, Y89(d, t)Y88() and Y89(d, α)Sr87m.*

INTRODUCCION

El Zr89 fue obtenido por reacción (p, n) ⁽¹⁾ sobre Y89; por reacción (n, 2n) ⁽²⁻³⁾ sobre Zr90, y por reacción (γ , n) ⁽⁴⁻⁵⁾ sobre Zr90.

El Zr88 fue estudiado ⁽⁶⁻⁷⁾ bombardeando Nb con protones.

El Y88 fue obtenido por reacción (p, n) ⁽¹⁾ sobre Sr88; por reacción (γ , n) ⁽⁸⁾ sobre Y89 y por (d, α) ⁽⁹⁾ sobre Zr90.

El Sr87m fue estudiado previamente por reacción (p, n) ⁽¹⁾ sobre Rb87; por (n, γ) ⁽¹⁰⁻¹¹⁾ sobre Sr86 y por (n, α) ⁽¹²⁻²⁾ sobre Zr90.

Pement and Wolke ⁽¹³⁾ calcularon las funciones de excitación para reacciones (d, 2n) usando dos mecanismos diferentes: formación de núcleo compuesto seguido por evaporación de dos neutrones y "stripping" (d, n) seguido por la evaporación de un neutrón. Concluyeron que en las reacciones (d, 2n) predomina la formación de "núcleo compuesto" para $A > 47$.

Otozai et al ⁽¹⁴⁾ utilizaron el modelo de Peaslee ⁽¹⁵⁾ modificado introduciendo un parámetro de "absorción total" y dedujeron las contribuciones relativas de "stripping de neutrones", "stripping de protones" y "absorción total" para explicar las funciones de excitación para reacciones (d, p), (d, n), (d, 2n) y (d, α) sobre Ce 142.

En este trabajo se describen las funciones de excitación para las reacciones nucleares (d, 2n), (d, 3n), (d, t) y (d, α) sobre ytrio como una contribución al esclarecimiento de los mecanismos de reacción. Además, las secciones eficaces son útiles en la tecnología nuclear, ya sea en la producción de radioisótopos como en el análisis por activación con partículas cargadas.

(*) Con (d, t) queremos significar (d, t), (d, p2n) o (d, dn).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

a) Irradiaciones

Las irradiaciones se hicieron utilizando el haz externo del Sincrociclotrón de 180 cm de diámetro de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina.

La energía de los deuterones del haz incidente era de 25,0 MeV y su dispersión máxima estimada en un $\pm 1\%$.

Se empleó el método de las hojas metálicas superpuestas. Las hojuelas de ytrio, de unos 12 mg/cm² de espesor, fueron obtenidas con alto grado de pureza de la casa Koch Light Ltd., Inglaterra. La energía de los deuterones en cada una de las hojuelas de la pila fue determinada de acuerdo a las tablas de Williamson et al. . . .⁽¹⁶⁾.

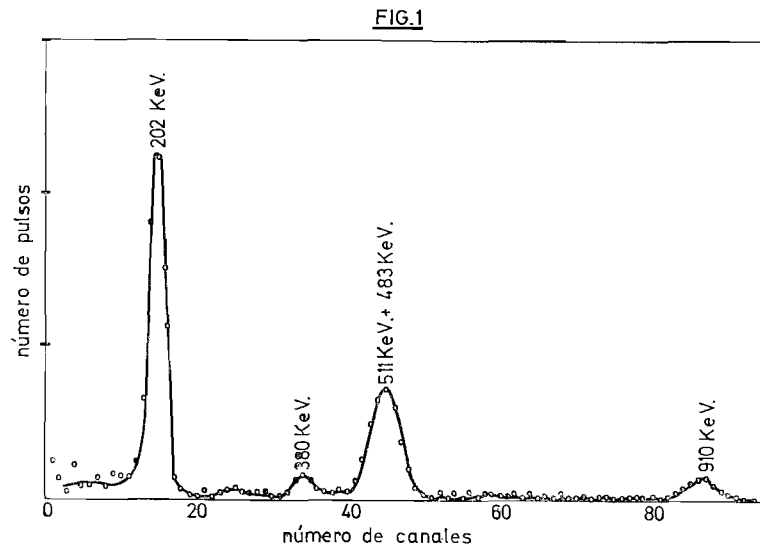
La dispersión del haz en el interior del blanco se consideró inferior a 200 KeV para cualquiera de las láminas⁽¹⁷⁾. Las técnicas de irradiación se describen en trabajos anteriores⁽¹⁸⁻¹⁹⁾.

El flujo de deuterones se midió utilizando la reacción Al(d, α)Na24 cuya función de excitación es bien conocida⁽²⁰⁻²¹⁾. Para ello se intercalaron entre las hojuelas de ytrio, otras de aluminio de unos 5 mg/cm². La reacción sobre aluminio resulta adecuada a ese fin por distintos motivos: su sección eficaz es alta; la única reacción que produce Na24 sobre aluminio es la (d, α); por irradiación de deuterones sobre aluminio no se producen otros nucleídos de períodos de semidesintegración comparables a los del Na24.

b) Contaje

Las secciones eficaces fueron determinadas por una medición absoluta de las actividades de los productos de reacción.

La radiación gamma se detectaba con un cristal de INa(Tl) de 3" x 3" acoplado a un selector de impulsos multicanal. Las figuras 1, 2 y 3 muestran, como ejemplos, la forma de los espectros gamma obtenidos



a diferentes tiempos desde el fin de irradiación, para una laminilla de ytrio. El tiempo de irradiación se variaba convenientemente según el nucleído a determinar.

Los períodos de semidesintegración fueron seguidos cuidadosamente en cada pico fotoeléctrico, así como las determinaciones de energías de los mismos.

Utilizando un programa FORTRAN IV ⁽²²⁻²³⁾ para computadora, denominado ALPHA M se determinaban las actividades absolutas del Zr89, Zr88, Y88 y Sr87m.

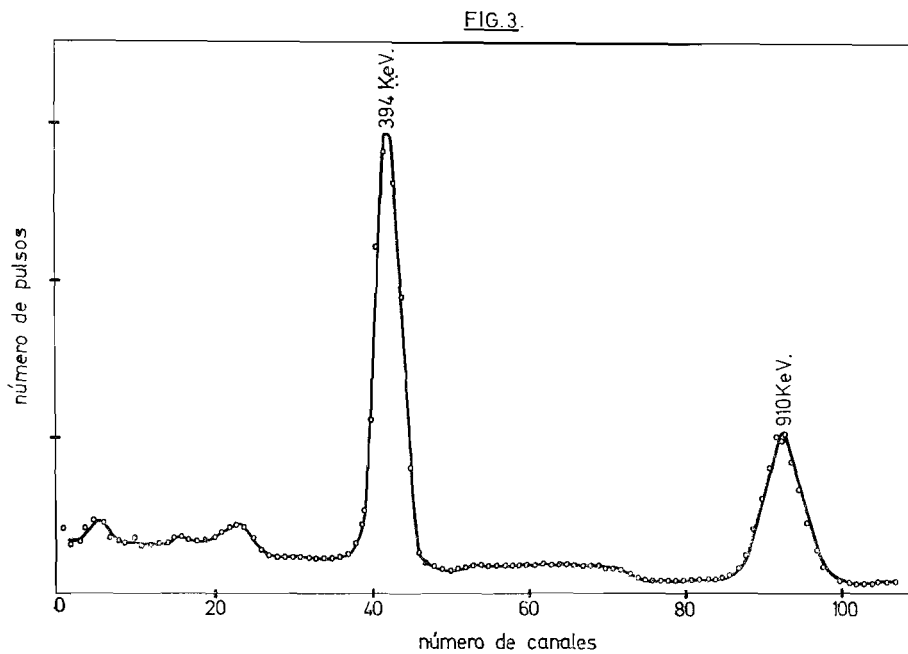
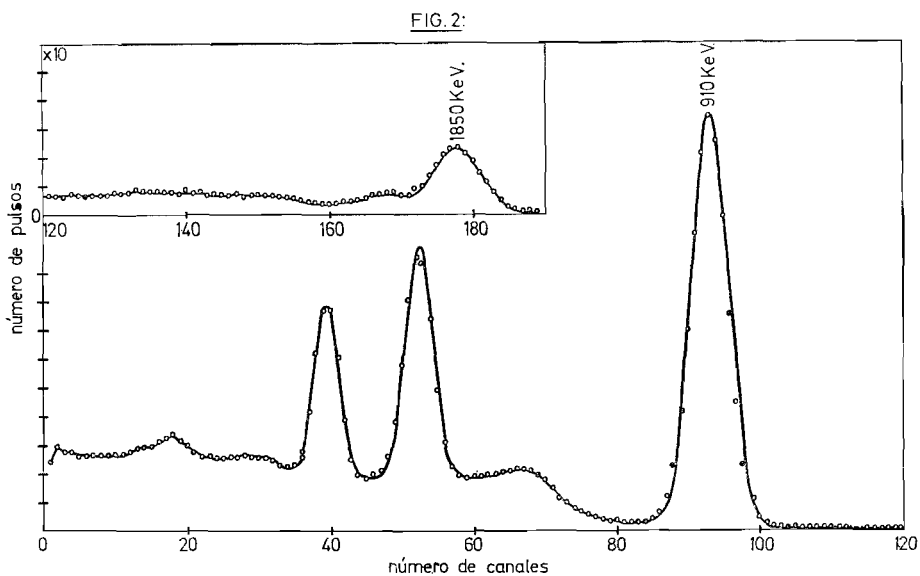


FIG. 4: Y88

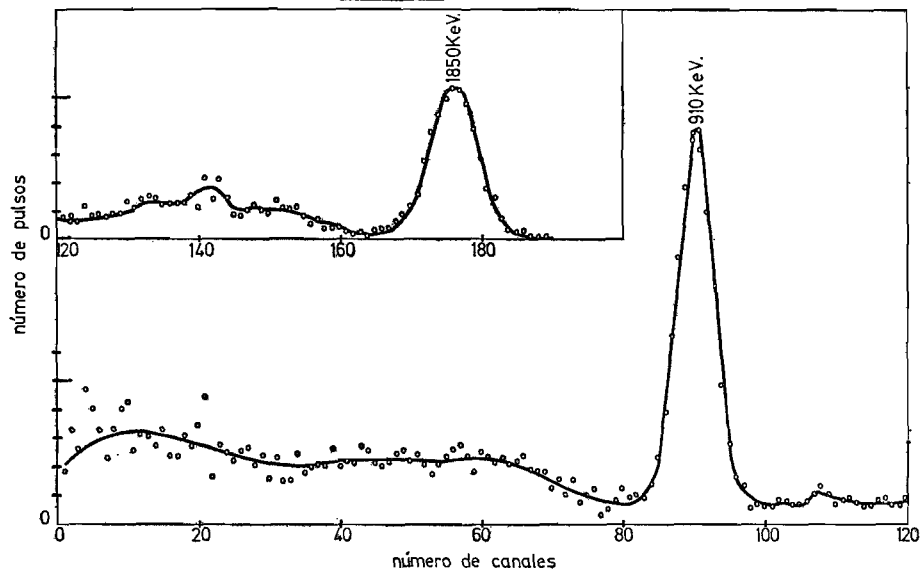


FIG. 5: Zr 88.

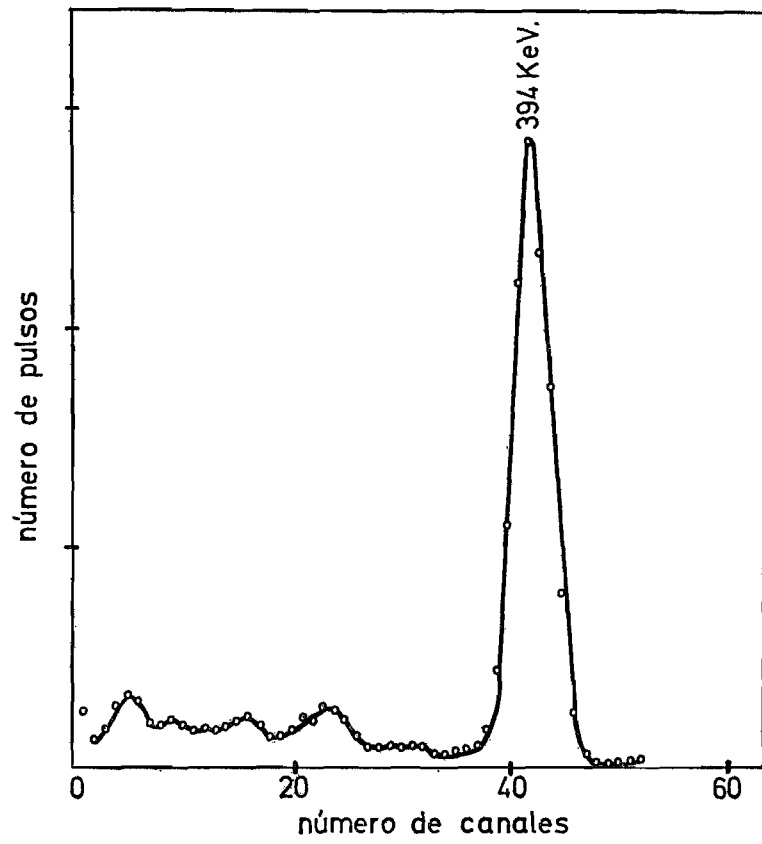


FIG. 6: Zr89.

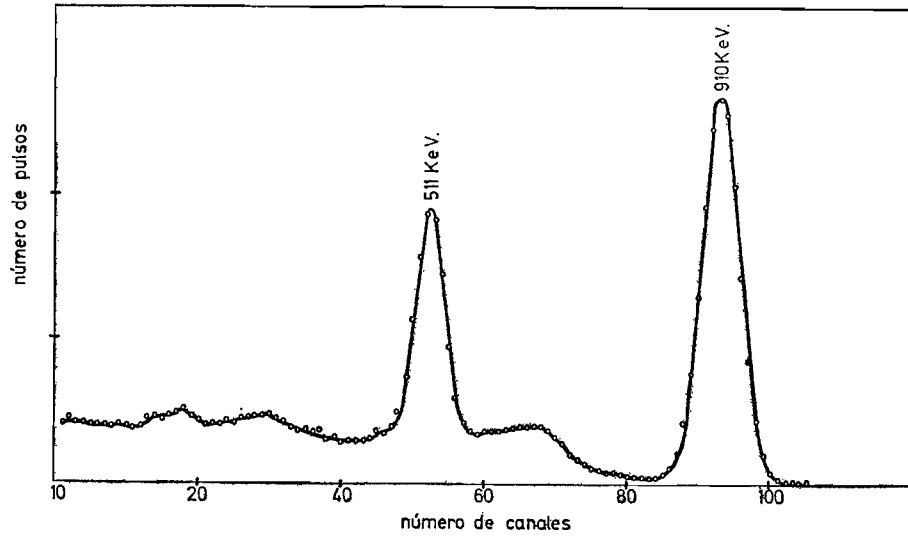
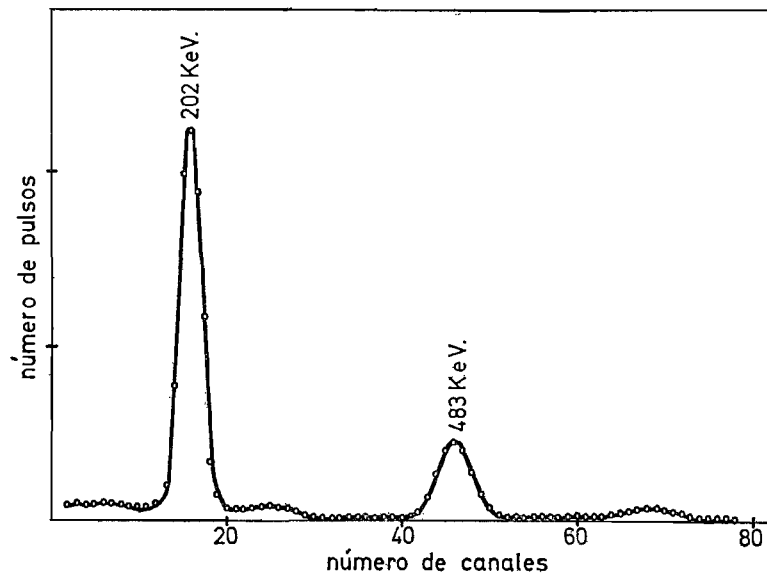


FIG. 7: Y90m.



Los espectros gamma patrones (Figs. 4, 5, 6 y 7) eran obtenidos de la siguiente forma:

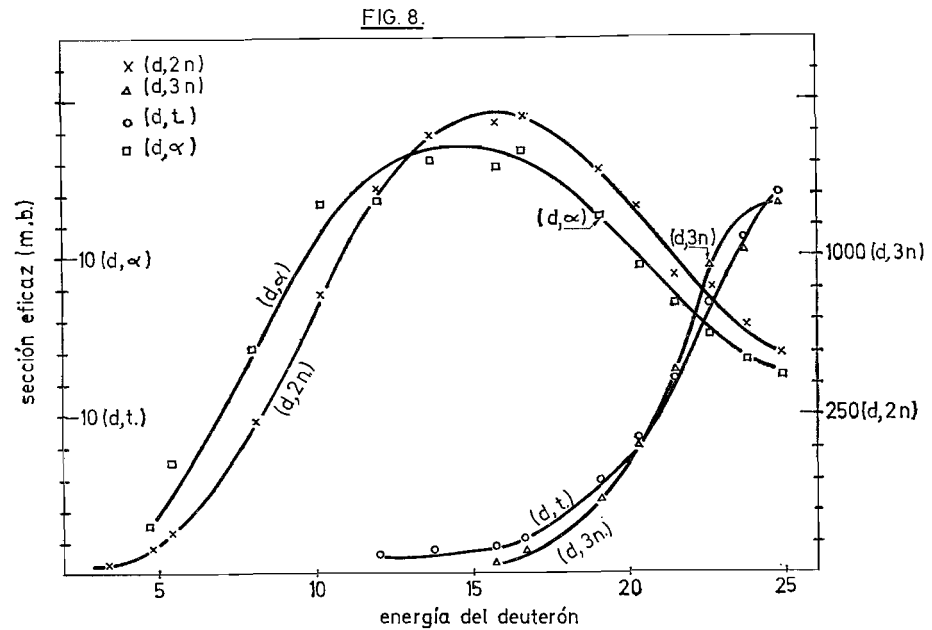
- El Y88 era obtenido puro por reacción (d, n) y (d,2n) sobre estroncio.
- El Sr87m y el Zr88 tienen un espectro gamma de la misma forma, aunque de periodos de semidesintegración diferentes. Se usaba como patrón de ambos el Zr88 de 85 días, medido en una de las láminas al cabo de tres meses desde el fin de irradiación, y del que se sustraía previamente el Y88 puro.
- Un espectro de Zr89 puro se obtenía irradiando ytrio con deuterones a una energía inferior a 15 MeV y haciendo una separación química en solución clorhídrica concentrada sobre resina DOWEX 1. Se eluía el zirconio con solución de ClH 4 M ⁽²⁴⁾.
- El Y90m que se encontraba también presente y molestaba en la determinación de Sr87m, se obtenía por reacción (n, γ).

Los datos sobre eficiencias y relaciones área de foto-pico a área total fueron tomados de las tablas de Heath ⁽²⁵⁾ y los correspondientes al esquema de desintegración de ⁽²⁶⁾. Las intensidades computadas para obtener las secciones eficaces del Zr89 eran obtenidas una vez que el Zr89m de 4,18 min. se había desintegrado completamente.

La tabla 1 y la fig. 8 muestran los resultados obtenidos. El error indicado es la desviación máxima, con respecto al valor promedio, de una serie de determinaciones.

TABLA 1

$E(\text{MeV})$	σ (m. b.)			
	$\text{Y89}(d, 2n)\text{Zr89}$	$\text{Y89}(d, 3n)\text{Zr88}$	$\text{Y89}(d, t)\text{Y88}$	$\text{Y89}(d, \alpha)\text{Sr87m}$
$24,8 \pm 0,15$	$346,3 \pm 51,9$	$1169,8 \pm 175,5$	$24,1 \pm 3,6$	$6,3 \pm 0,9$
$23,7 \pm 0,15$	$390,3 \pm 58,5$	$1014,7 \pm 150,0$	$21,2 \pm 3,1$	$6,7 \pm 0,9$
$22,6 \pm 0,15$	$449,9 \pm 67,5$	$969,1 \pm 145,5$	$16,9 \pm 2,5$	$7,5 \pm 1,0$
$21,5 \pm 0,20$	$473,1 \pm 70,9$	$635,1 \pm 95,2$	$12,3 \pm 1,8$	$8,5 \pm 1,2$
$20,4 \pm 0,20$	$582,5 \pm 87,4$	$400,8 \pm 60,1$	$8,4 \pm 1,3$	$9,7 \pm 1,5$
$19,1 \pm 0,15$	$632,2 \pm 94,8$	$227,3 \pm 34,0$	$5,7 \pm 0,9$	$11,2 \pm 1,8$
$16,7 \pm 0,20$	$724,9 \pm 108,7$	$62,1 \pm 9,2$	$2,1 \pm 0,3$	$13,4 \pm 1,9$
$15,7 \pm 0,20$	$713,4 \pm 107,0$	$21,1 \pm 3,5$	$1,6 \pm 0,2$	$11,9 \pm 1,8$
$13,7 \pm 0,20$	$698,9 \pm 104,8$		$1,3 \pm 0,2$	$13,1 \pm 1,9$
$12,0 \pm 0,25$	$610,9 \pm 91,6$		$1,1 \pm 0,1$	$11,9 \pm 1,8$
$10,2 \pm 0,30$	$438,7 \pm 65,8$			$11,7 \pm 1,7$
$8,0 \pm 0,30$	$239,1 \pm 35,8$			$7,1 \pm 1,0$
$5,4 \pm 0,35$	$64,2 \pm 9,6$			$3,5 \pm 0,5$
$4,7 \pm 0,5$	$41,5 \pm 6,0$			$1,5 \pm 0,2$
$3,4 \pm 0,5$	$13,2 \pm 1,9$			



Los errores relativos en la determinación de secciones eficaces provienen de: la estadística de conteo, falta de uniformidad y medición del espesor de la lámina e indeterminación en el tiempo transcurrido desde el fin de irradiación.

Los errores absolutos proceden del flujo de deuterones y de las eficiencias de conteo.

El error máximo en la determinación de secciones eficaces puede estimarse en un $\pm 15\%$.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Comparamos nuestros resultados experimentales con los recopilados por Lange y Münzel ⁽²⁷⁾ para reacciones (d, 2n) y (d, 3n) encontrando que nuestros valores caen dentro de lo que podría preverse.

El valor para 20 MeV obtenido en la reacción (d, t) sobre ytrio está ubicado un poco por debajo de la curva de secciones eficaces en función del número de neutrones, dada por Cohen et al. . . ⁽²⁸⁾, en que la sección eficaz está representada por:

$$(d, t) = 0,48 (N - 15) \text{ m.b.}$$

BIBLIOGRAFIA

1. J. P. BLASER, F. BOEHM, P. MARMIER and P. SCHERRER: *Helv. Phys. Acta* **24**, 441 (1951).
2. E. B. PAUL and R. L. CLARKE: *Can. J. Phys.* **31**, 267 (1953).
3. B. L. COHEN: *Phys. Rev.* **81**, 184 (1951).
4. P. AXEL and J. P. FOX: *Phys. Rev.* **102**, 400 (1956).
5. L. KATZ, R. G. BAKER and R. MONTALBETTI: *Can. Phys.* **31**, 250 (1953).
6. E. K. HYDE and G. D. O'KELLEY: *Phys. Rev.* **82**, 944 (1951).
7. E. K. HYDE, M. G. FLORENCE and A. E. LARSH: *Phys. Rev.* **97**, 1255 (1955).
8. P. F. YERGIN and B. P. FABRICAND: *Phys. Rev.* **104**, 1334 (1956).
9. O. U. ANDERS: AECU Report - 3513 (1957).
10. E. M. SOWDEN and S. R. STITCH: *Biochem. J.* **67**, 104 (1957).
11. G. E. HARRISON and W. H. A. RAYMOND: *J. Nuclear Energy* **1**, 290 (1955).
12. H. G. BLOSSER, C. D. GOODMAN and T. H. HANDLEY: *Phys. Rev.* **110**, 531 (1958).
13. F. W. PEMENT and R. L. WOLKE: *Nuclear Physics* **86**, 429 (1966).
14. K. OTOZAI et al: *Nuclear Physics* **81**, 322 (1966).
15. D. C. PEASLEE: *Phys. Rev.* **74**, 1001 (1948).
16. C. F. WILLIAMSON, P. J. BOUJOT, J. PICARD: Rapport CEA - R 3042 (1966).
17. E. SEGRE: *Experimental Nuclear Physics*, John Wiley and Sons, New York (1960).
18. P. A. LENK y R. J. SLOBODRIAN: *Phys. Rev.* **116**, 1229 (1959).
19. J. ROSEMBLATT y R. J. SLOBODRIAN: *Rev. Sci. Instr.* **31**, 863 (1960).
20. P. A. LENK y R. J. SLOBODRIAN: Informe N° 29 CNEA (1960).
21. Comunicación Privada: G. CHRISTALLER; Kernforschungszentrum Karlsruhe Zyklotronlaboratorium. European Colloquium on A. V. F. Cyclotrons. Eindhoven (1965).
22. L. SALMON: NAS - NS 3107, pág. 165 (1962).
23. E. SCHONFELD: ORNL - 3975 (1966).
24. J. H. HAMILTON, L. M. LANGER and W. G. SMITH: *Phys. Rev.* **119**, 772 (1960).
25. R. L. HEATH: Atomic Energy Commission IDO - 16880 - Vol. I y II (1964).
26. C. M. LEDERER, J. M. HOLLANDER and I. PERLMAN: *Table of Isotopes*, John Wiley and Sons Inc. (1967).
27. J. LANGE and H. MÜNDEL: HKF-797. Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, Alemania (1968).
28. N. BARON, B. L. COHEN: *Phys. Rev.* **129**, 2636 (1963).