

REPORT NO. IAEA-R-2499-F

TITLE

Charged particle cross-section data and their
systematization

FINAL REPORT FOR THE PERIOD

1979-11-01 - 1981-11-30

AUTHOR(S)

Sonia Nassif

INSTITUTE

Comisión Nacional de Energía Atómica
Gerencia de Investigaciones Radioquímicas
Buenos Aires
Argentina

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

DATE July 1982

CERTIFIED BY:

P. M. Lutz

FINAL REPORT

a (i) Contrato Número 2499/R1/RB

(ii) Título del Proyecto: "Datos de secciones eficaces con partículas cargadas y su evaluación y sistematización".

(iii) Institución donde se desarrolla la investigación:

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
República Argentina

(iv) Investigador Científico Jefe

Dr. Sonia F. J. NASSIFF

(v) Período

1 de diciembre de 1980 - 1 de diciembre de 1981

b Descripción de la investigación llevada a cabo

- Se obtuvieron datos de secciones eficaces con partículas alfa. El método experimental se describe en las publicaciones que acompañan a este informe.
- Se determinó el parámetro "densidad de spin nuclear", siguiendo una aproximación fenomenológica a partir de datos de secciones eficaces, para reacciones (α, n) cuyos productos de reacción son pares isoméricos.
- Se mostró el comportamiento sistemático de los resultados obtenidos por nuestro grupo de trabajo y por otros autores.

c Resultados obtenidos

En todos los casos se adoptaron programas de cálculo para el procesamiento de los datos experimentales, los cuales se encuentran actualmente en la Biblioteca de Programas de RADIOQUIMICA del Centro de Cómputos de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. Este trabajo se realizó sin interrupción durante el curso del presente programa de investigación.

Los resultados obtenidos se encontrarán a continuación bajo los siguientes títulos :

- I. "EXCITATION FUNCTIONS AND THICK TARGET YIELDS OF (α, α_{xn}) AND (α, xn) REACTIONS ON ^{103}Rh "
Se acompaña una separata del trabajo publicado.
- II. "ALPHA PARTICLES INDUCED REACTIONS ON ZIRCONIUM"
Se acompaña una separata del trabajo publicado.
- III. "CROSS SECTIONS AND ISOMERIC RATIOS FOR THE ISOMERIC PAIR $^{133m}\text{Xe}/^{133g}\text{Xe}$ FORMED IN $^{130}\text{Te}(\alpha, n)$ REACTION"
Se acompaña una separata del trabajo publicado.
- IV. CROSS SECTIONS AND THICK TARGET YIELDS OF (α, xn) REACTIONS ON NATURAL LEAD"
Se acompaña una separata del trabajo publicado.
- V. "REACCIONES CON PARTICULAS ALFA PARA LA PRODUCCION DE ^{61}Cu , ^{63}Zn + ^{63}Ga y ^{66}Ga "
Se acompañan tablas y gráficos de los resultados.

- VI. SECCIONES EFICACES Y RELACIONES DE RENDIMIENTOS DEL PAR ISOMERICO $^{87m}\text{Y}/^{87g}\text{Y}$ FORMADO EN LA REACCION $(\alpha, \alpha 2n)$ "
Se acompañan tablas y gráficos de los resultados.
- VII. "REACCIONES $(\alpha, 4n)$ PARA LA FORMACION DE ^{197}Tl $(\alpha, \alpha n)$ y $(\alpha, 2p3n)$ PARA LA FORMACION DE ^{196}Au ."
- VIII. "SECCIONES EFICACES Y RELACIONES ISOMERICAS PARA EL PAR $^{184m}/^{184g}\text{Re}$ OBTENIDO EN LA REACCION $^{181}\text{Ta} (\alpha, n)$ "
Se acompañan tablas y gráficos con los resultados.
- IX. DETERMINACION DEL PARAMETRO "DENSIDAD DE SPIN NUCLEAR" A PARTIR DE DATOS DE SECCIONES EFICACES, USANDO UNA APROXIMACION FENOMENOLOGICA.
Se detallan los resultados por separado.
- X. SISTEMATIZACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR NOSOTROS Y POR OTROS INVESTIGADORES.
Se detallan los resultados por separado.

d Conclusiones

Se obtuvieron una serie de publicaciones en revistas internacionales y presentaciones a Congresos realizados en nuestro país. En los mismos figuran los resultados experimentales obtenidos por este grupo de trabajo.

Mediante una aproximación fenomenológica basada en modelos de mecanismos de reacciones nucleares hemos obtenido valores del "parámetro densidad de spin nuclear" que ha permitido una adecuada correlación entre los datos calculados y los experimentales.

Y, finalmente, se ha obtenido la sistematización de los datos producidos por nosotros y por otros investigadores para reacciones (α, n) cuyos productos de reacción son pares isoméricos.

e (i) Trabajos Publicados

- a. "Excitations Functions and Thick Target Yields of (α , xn) and (α , α xn) Reactions on ^{103}Rh ".
M. J. Ozafrán, M. E. Vázquez, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochemical Radioanalytical Letters 43, N° 5
265 - 278 (1980).
- b. "Alpha Particle Induced Reactions on Zirconium"
M. de la Vega Vedoya, C. Wasilevsky y S. J. Nassiff.
Journal of Radioanalytical Letters, 67, N° 1, 165-
-181 (1981).
- c. "Cross Sections and Isomeric Ratios for the Isomeric Pair $^{133\text{m}}\text{Xe}/^{133\text{g}}\text{Xe}$ Formed in ^{130}Te (α , n) Reaction".
C. Wasilevsky, R. Montenegro, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochem. Radioanal. Letters, 50, 5, 307 -
318 (1982).
- d. "Cross Sections and Thick Target Yields of (α , xn) Reactions on Natural Lead"
C. Wasilevsky, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochem. Radioanal. Letters, 50, 4, 211-226
(1982).

(ii) Presentaciones a Congresos

- "Determinación de las Funciones de Excitación para las Reacciones Producidas por Partículas Alfa sobre Zirconio".
M. de la Vega Vedoya, C. Wasilevsky y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1980, San Carlos de Bariloche, República Argentina.

- "Determinación de la Relación de Secciones Eficaces para el Par Isomérico $^{133m}\text{Xe}/^{133g}\text{Xe}$ Producido por la Reacción Nuclear $^{130}\text{Te}(\alpha, n)$ ".
C. Wasilevsky, R. Montenegro, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1980, San Carlos de Bariloche, República Argentina.
- "Estudio de Algunas Funciones de Excitación Obtenidas por Interacción de Partículas Alfa con Plomo".
C. Wasilevsky, I. E. Capovilla, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1980, San Carlos de Bariloche, República Argentina.
- "Reacciones con Partículas Alfa para la Producción de ^{61}Cu , ^{63}Zn , ^{63}Ga y ^{66}Ga ".
O. Bonesso, C. Wasilevsky y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1981, San Luis, República Argentina.
- "Estudio de una Reacción Nuclear Producida por el Bombardeo de Ytrio con Partículas Alfa".
M. J. Tavelli, y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1980, San Carlos de Bariloche, República Argentina.
- "Reacciones $(\alpha, 4n)$ para la Formación de ^{197}Tl y $(\alpha, \alpha n)$ y $(\alpha, 2p3n)$ para la Formación de ^{196g}Au ".
O. A. Capurro y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1981, San Luis, República Argentina.
- "Secciones Eficaces, Relaciones Isoméricas y Rendimientos de Blancos Gruesos para el Par $^{184m}\text{Re}/^{184g}\text{Re}$ Obtenido en la Reacción $^{181}\text{Ta}(\alpha, n)$ ".
M. J. Ozafrán, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Reunión Nacional de Física 1981, San Luis, República Argentina.

f. Como lo explicaramos oportunamente, el tema de las reacciones nucleares no cuenta aún con un andamiaje teórico satisfactorio. En el campo experimental, la mayoría de los datos se refieren a reacciones inducidas por neutrones. Con partículas cargadas los parámetros que intervienen son mayores en número y la complejidad de los problemas a resolver es mayor. Todo ello hace que la cantidad de datos experimentales sea por de más insuficiente faltando, además, un estudio sistematizado de dichos datos, si se tiene en cuenta el amplio campo de aplicaciones de estos resultados en algunos campos como:

- los estudios teóricos, para confrontar modelos de mecanismos de reacciones nucleares.
- en química analítica, donde permite un estudio isotópico del elemento en cuestión, además de otras ventajas.
- en la producción de radioisótopos con partículas cargadas, cuando es más favorable que la producción con neutrones o, cuando dicho nucleido no se puede obtener por irradiación con neutrones.
- En la tecnología de reactores nucleares donde faltan datos acerca de las reacciones que se producen con las partículas alfa secundarias. En la tecnología en general, cuando es necesario producir un nucleido que no se puede obtener por irradiación con neutrones.
- En medicina, donde resulta muy útil saber cual es la reacción que tiene mayor sección eficaz y produce el menor número de interferencias o cuando interesa un determinado isómero nuclear.

se comprenderá, como decíamos, la importancia que reviste continuar con estas investigaciones, hasta arribar a conclusiones más generales que lo que permite un estudio de tan corto tiempo como el que es objeto de este Informe.

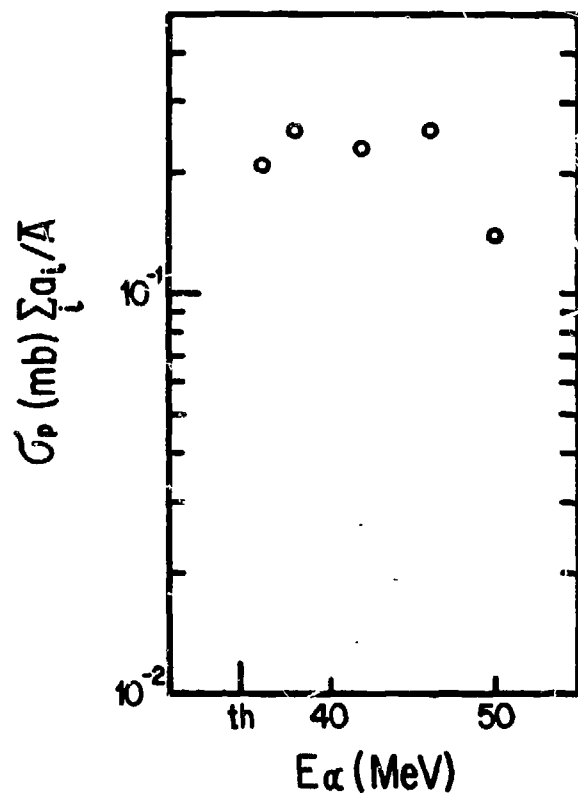
c. V REACCIONES CON PARTICULAS ALFA PARA LA PRODUCCION DE ^{61}Cu , ^{63}Zn , ^{63}Ga y ^{66}Ga .

El estudio experimental de las secciones eficaces de producción del ^{61}Cu mostraron que dicho nucleído se produce por las siguientes reacciones: $^{63}\text{Cu}(\alpha, \alpha 2n) ^{61}\text{Cu}$, $^{65}\text{Cu}(\alpha, \alpha 4n) ^{61}\text{Cu}$ y $^{63}\text{Cu}(\alpha, 2p4n) ^{61}\text{Cu}$. Este trabajo permitió determinar también las secciones eficaces absolutas para la formación de $^{63}\text{Zn} + ^{63}\text{Ga}$ a través de las reacciones $^{63}\text{Cu}(\alpha, p3n)$ y $^{63}\text{Cu}(\alpha, 4n)$ respectivamente. Por último, las secciones eficaces de producción del ^{66}Ga a través de las reacciones $^{63}\text{Cu}(\alpha, n)$ y $^{65}\text{Cu}(\alpha, 3n)$. La metodología utilizada consistió escuetamente, en irradiaciones con partículas alfa en el Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica utilizando el método de las hojuelas de Cobre superpuestas y el estudio posterior de los espectros gama con un detector de Ge intrínseco de alta resolución.

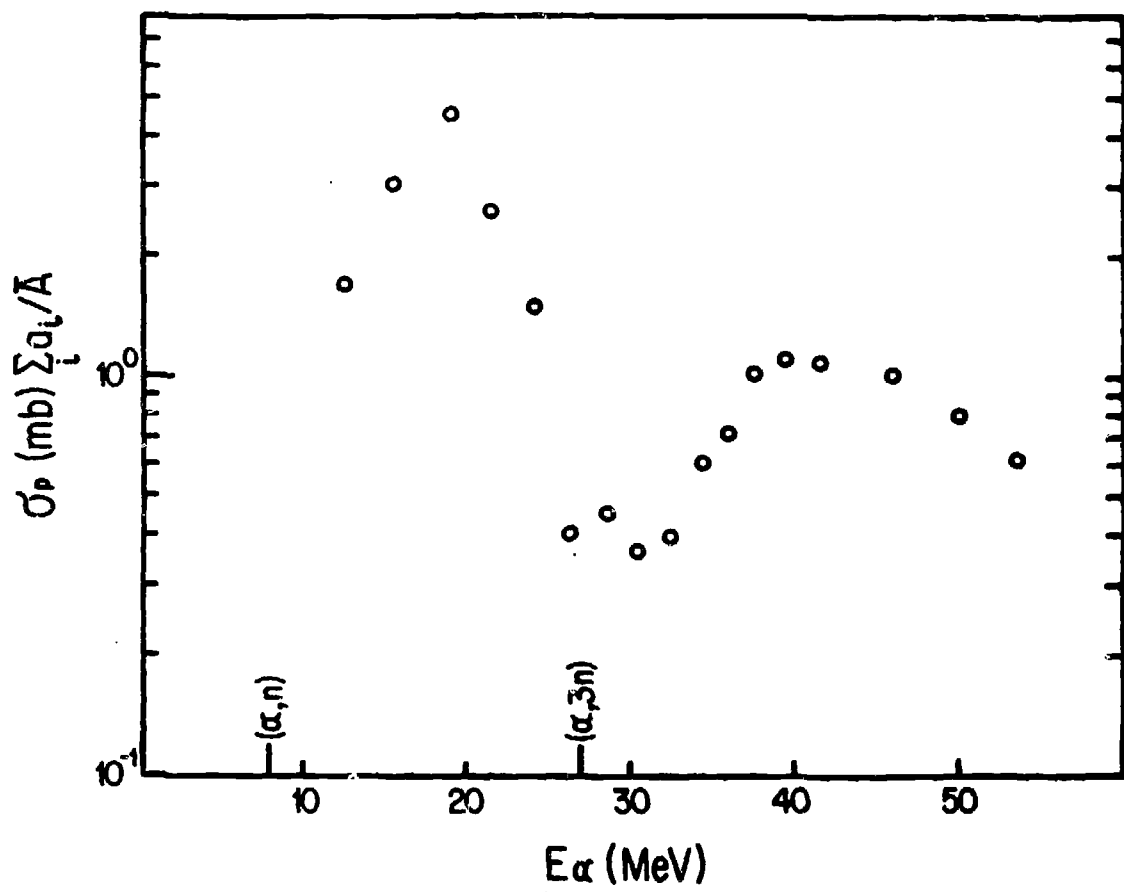
A continuación se describen los resultados obtenidos.

E_α (MeV)	$\sigma_p \sum_i a_i / \bar{A}$ (mb)		
	^{61}Cu	^{66}Ga	^{63}Zn
53.78	$7.54 \times 10^{-1} \pm 4.92 \times 10^{-2}$	$6.30 \times 10^{-1} \pm 7.59 \times 10^{-2}$	
50.02	$8.04 \times 10^{-1} \pm 4.89 \times 10^{-2}$	$8.13 \times 10^{-1} \pm 7.96 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-1} \pm 1.31 \times 10^{-1}$
46.00	$7.78 \times 10^{-1} \pm 4.80 \times 10^{-2}$	$1.04 \times 10^0 \pm 2.81 \times 10^{-2}$	$2.60 \times 10^{-1} \pm 1.25 \times 10^{-1}$
41.76	$5.26 \times 10^{-1} \pm 4.30 \times 10^{-2}$	$1.14 \times 10^0 \pm 9.12 \times 10^{-2}$	$2.29 \times 10^{-1} \pm 1.32 \times 10^{-1}$
39.42		$1.18 \times 10^0 \pm 1.43 \times 10^{-1}$	
37.72	$2.30 \times 10^{-2} \pm 7.63 \times 10^{-2}$	$1.05 \times 10^0 \pm 1.45 \times 10^{-1}$	$2.56 \times 10^{-1} \pm 1.99 \times 10^{-1}$
35.98	$2.30 \times 10^{-1} \pm 9.40 \times 10^{-2}$	$7.41 \times 10^{-1} \pm 3.43 \times 10^{-2}$	$2.13 \times 10^{-1} \pm 1.04 \times 10^{-1}$
34.19	$1.09 \times 10^{-1} \pm 9.21 \times 10^{-2}$	$6.26 \times 10^{-1} \pm 1.10 \times 10^{-1}$	
32.29	$1.30 \times 10^{-1} \pm 7.31 \times 10^{-2}$	$4.03 \times 10^{-1} \pm 2.59 \times 10^{-2}$	
30.33	$4.18 \times 10^{-2} \pm 3.84 \times 10^{-2}$	$3.84 \times 10^{-1} \pm 9.09 \times 10^{-2}$	
28.41	$6.04 \times 10^{-2} \pm 8.12 \times 10^{-2}$	$4.60 \times 10^{-1} \pm 2.63 \times 10^{-2}$	
26.35	$2.25 \times 10^{-1} \pm 7.12 \times 10^{-2}$	$4.47 \times 10^{-1} \pm 1.12 \times 10^{-1}$	
24.08	$2.19 \times 10^{-1} \pm 8.36 \times 10^{-2}$	$1.53 \times 10^0 \pm 4.91 \times 10^{-2}$	
21.55	$7.60 \times 10^{-2} \pm 9.81 \times 10^{-2}$	$2.68 \times 10^0 \pm 2.11 \times 10^{-1}$	
18.80		$4.71 \times 10^0 \pm 1.94 \times 10^{-1}$	
15.75		$3.08 \times 10^0 \pm 2.05 \times 10^{-1}$	
12.24		$1.69 \times 10^0 \pm 1.43 \times 10^{-1}$	

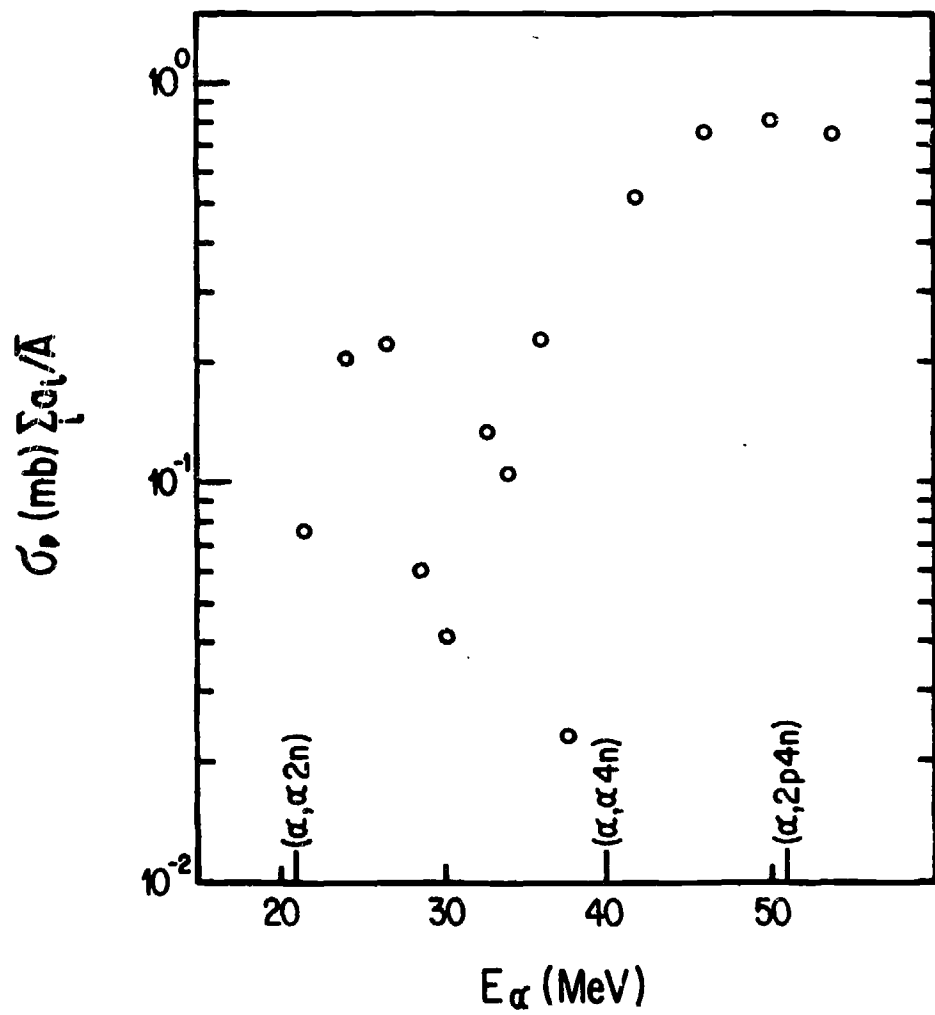
0⁻¹
0⁻¹
0⁻¹
10⁻¹
10⁻¹



$\sigma_p (\text{mb}) \sum_i a_i / \bar{A}$ para la Producción de $^{63}\text{Zn} + ^{63}\text{Ga}$



σ_p (mb) $\sum_i a_i / \bar{A}$ para la Producción de ^{66}Ga

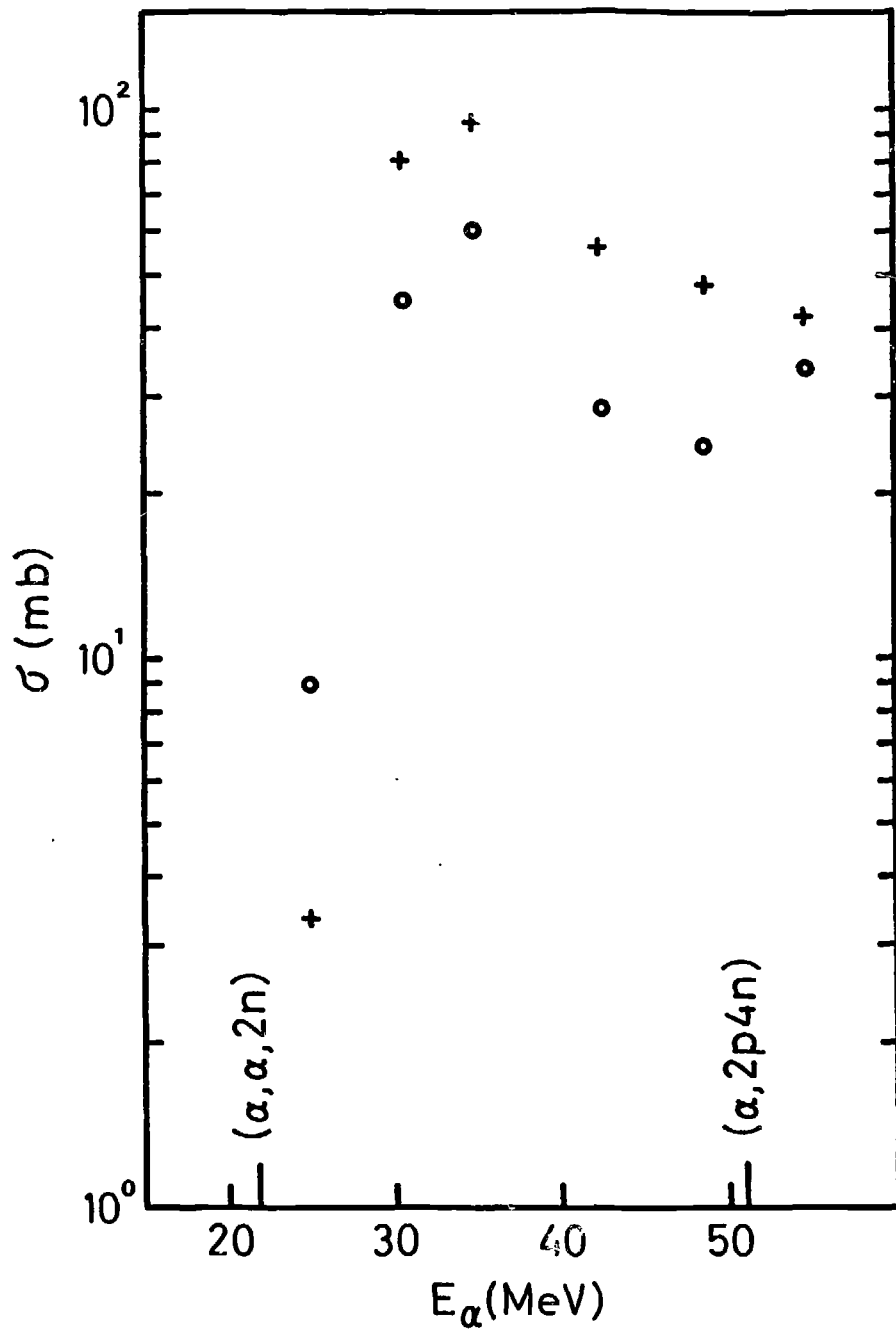


$\sigma_p \text{ (mb)} \sum_i a_i / \bar{A}$ para la Producción de ^{61}Cu

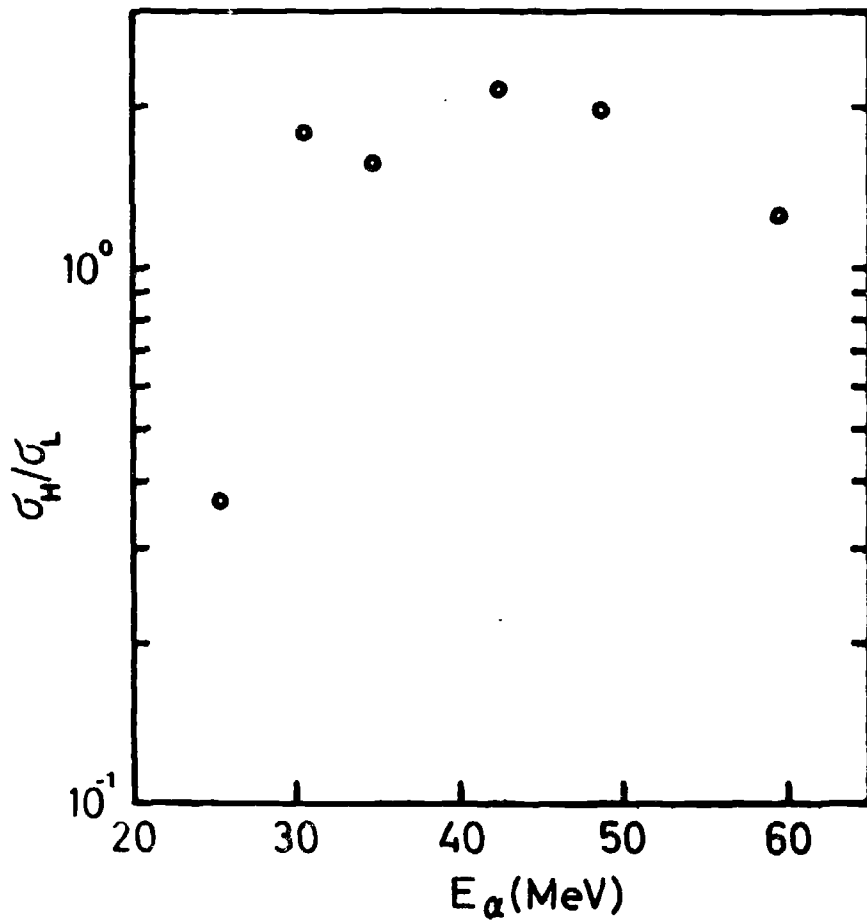
c. VI SECCIONES EFICACES Y RELACIONES DE RENDIMIENTOS DEL PAR ISOMERICO $^{87m}\text{Y}/^{87g}\text{Y}$ FORMADO EN LA REACCION (α , $\alpha 2n$)

Se presentan en forma de tablas y gráficos las funciones de excitación para la formación del ^{87m}Y y el ^{87g}Y ; asimismo, las relaciones de secciones eficaces del par isomérico indicado, en función de la energía de la partícula incidente. Los rendimientos para blancos gruesos en la producción del ^{87g}Y fueron también evaluados. El comportamiento en la formación cuantitativa de pares isoméricos que se producen en reacciones (α , $\alpha 2n$) es muy difícil de prever ya que el número de datos con respecto a estas reacciones son muy escasos. Las experiencias se realizaron sometiendo láminas metálicas de ^{89}Y , según el método de las hojuelas metálicas superpuestas, al haz externo del Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica. La población de los niveles de cada uno de los isómeros se determinó mediante la medición de sus espectros gamma con un detector de Ge intrínseco de alta resolución. El procesamiento posterior de los datos obtenidos se realizó con programas de cálculo utilizando la computadora IBM 370 del Centro de Cómputos de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

E_{α} (MeV)	σ (mb)		σ_H / σ_L
	$^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha 2n) ^{87}\text{mY}$	$^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha 2n) ^{87}\text{gY}$	
25.03	9.111 ± 0.159	3.38 ± 3.03	2.695 ± 2.508
30.40	44.45 ± 4.76	81.31 ± 8.22	0.547 ± 0.0805
34.95	59.85 ± 2.36	94.66 ± 6.99	0.632 ± 0.0529
42.30	28.73 ± 1.44	56.54 ± 5.59	0.508 ± 0.0563
48.76	24.13 ± 1.94	48.36 ± 4.45	0.499 ± 0.0610
54.50	34.08 ± 2.81	42.03 ± 4.48	0.811 ± 0.109



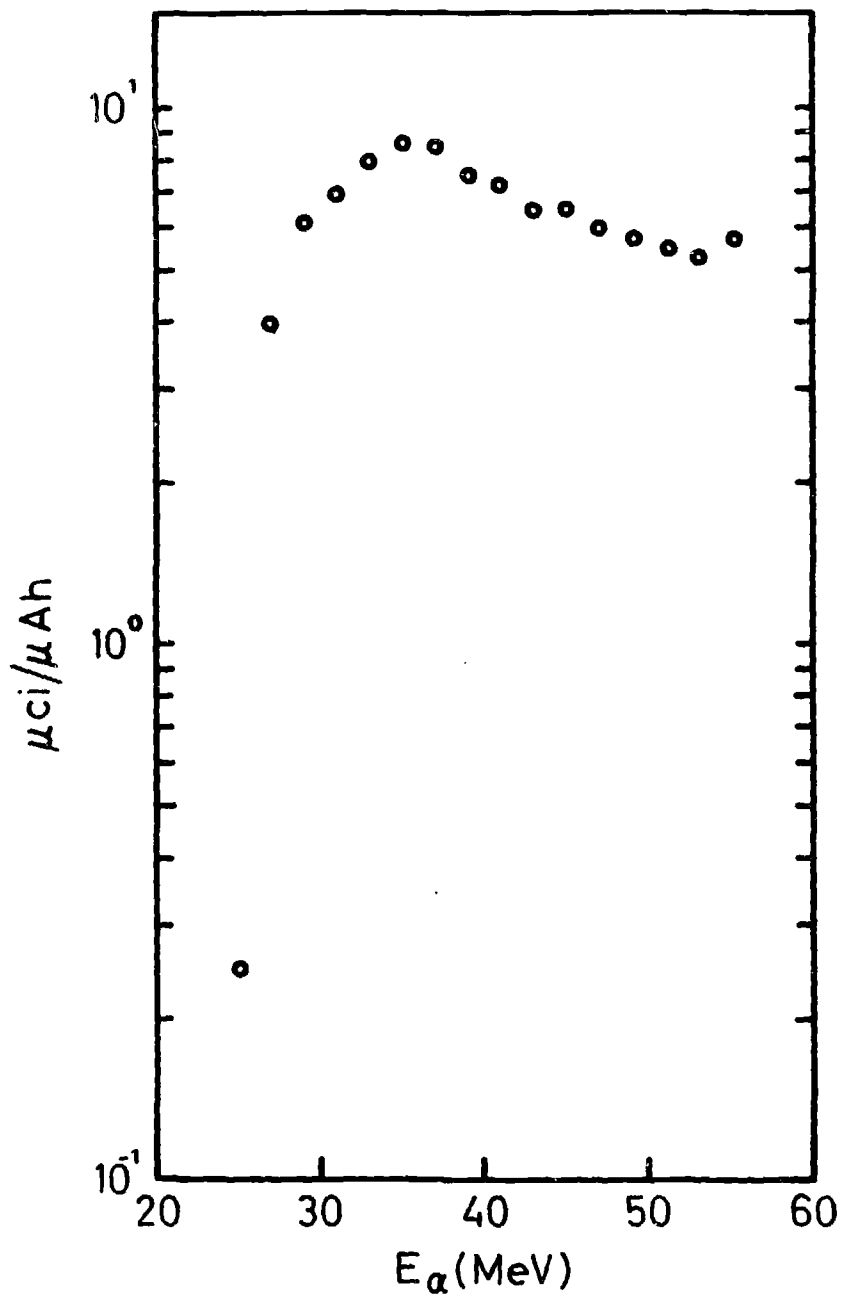
- Secciones Eficaces para la Reacción $^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha 2n)^{87\text{m}}\text{Y}$
- + Secciones Eficaces para la Reacción $^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha 2n)^{87\text{g}}\text{Y}$



σ_{in} / σ_g para la Reacción $^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha 2n)^{87m}\text{Y}/^{87g}\text{Y}$

Intervalo de energía	Espesor del blanco	Sección eficaz	Actividad a saturación	Actividad a saturación	$A_t/10$	A_{1h}
(MeV)	(mg/cm ²)	(m. b.)	($\mu\text{Ci}/\text{A}$)	($\mu\text{Ci}/\text{A}$)	($\mu\text{Ci}/\mu\text{A}$)	($\mu\text{Ci}/\text{Ah}$)
56 - 54	27.46	42	6.592×10^2	1.140×10^4	7.632×10^2	9.795×10^1
54 - 52	24.27	44	6.104×10^2	1.074×10^4	7.190×10^2	9.228×10^1
52 - 50	24.27	46	6.381×10^2	1.013×10^4	6.781×10^2	8.703×10^1
50 - 48	24.00	49	6.721×10^2	9.488×10^3	6.354×10^2	8.155×10^1
48 - 46	23.00	53	6.967×10^2	8.816×10^3	5.904×10^2	7.577×10^1
46 - 44	23.00	58	7.624×10^2	8.120×10^3	5.437×10^2	6.979×10^1
44 - 42	21.00	62	7.441×10^2	7.357×10^3	4.927×10^2	6.323×10^1
42 - 40	21.00	70	8.401×10^2	6.613×10^3	4.429×10^2	5.684×10^1
40 - 38	20.00	76	8.687×10^2	5.773×10^3	3.866×10^2	4.962×10^1
38 - 36	20.00	85	9.716×10^2	4.904×10^3	3.284×10^2	4.215×10^1
36 - 34	19.00	92	9.990×10^2	3.933×10^3	2.633×10^2	3.380×10^1
34 - 32	18.00	90	9.259×10^2	2.933×10^3	1.964×10^2	2.521×10^1
32 - 30	17.00	83	8.064×10^2	2.008×10^3	1.344×10^2	1.725×10^1
30 - 28	17.00	73	7.093×10^2	1.201×10^3	8.044×10^1	1.032×10^1
28 - 26	15.00	54	4.629×10^2	4.919×10^2	3.294×10^1	4.228×10^1
26 - 24	15.00	3.38	2.898×10^1	2.898×10^1	1.940×10^0	2.490×10^{-1}

Rendimientos de Blancos Gruesos para la Producción de ^{87}gY .

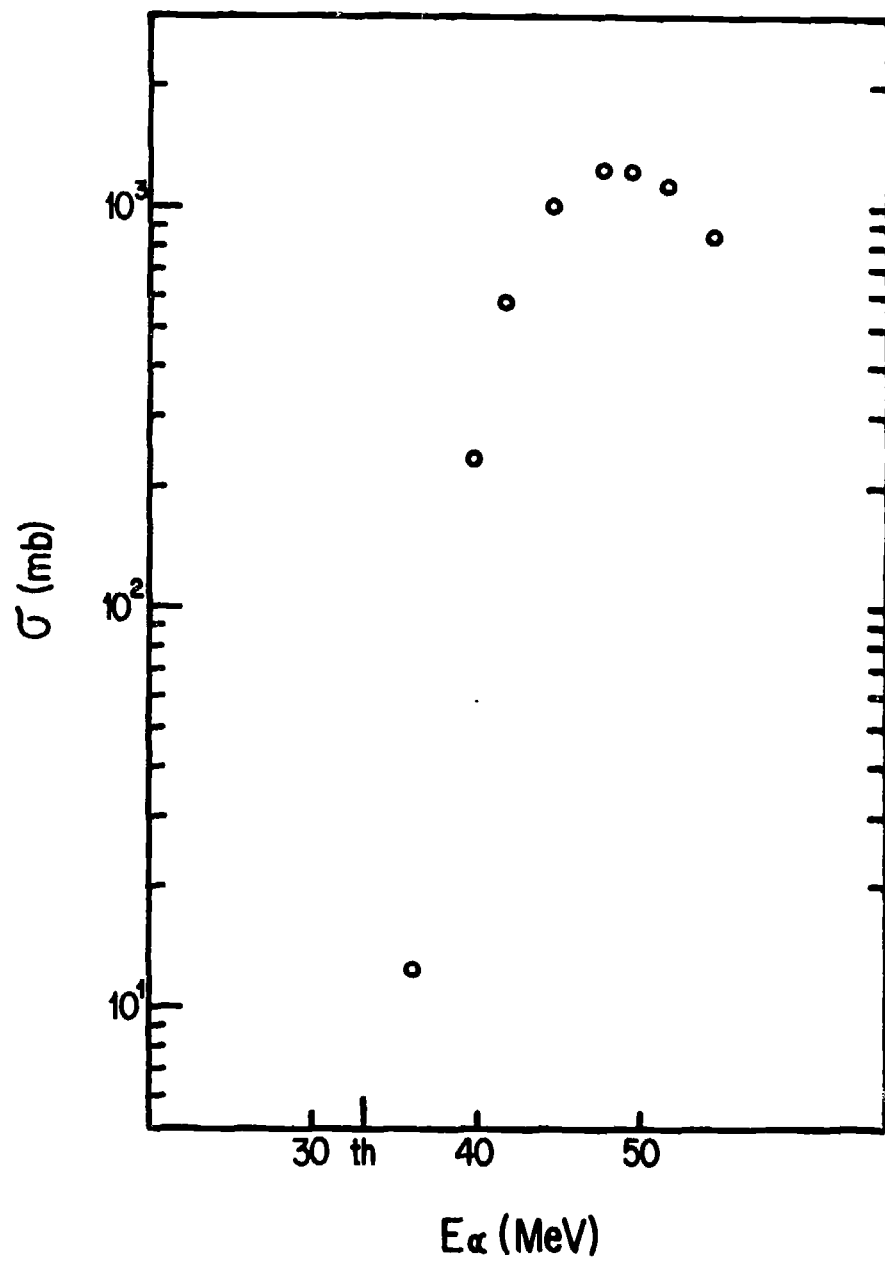


Rendimientos de Blancos Gruesos para la Producción de ^{87}gY

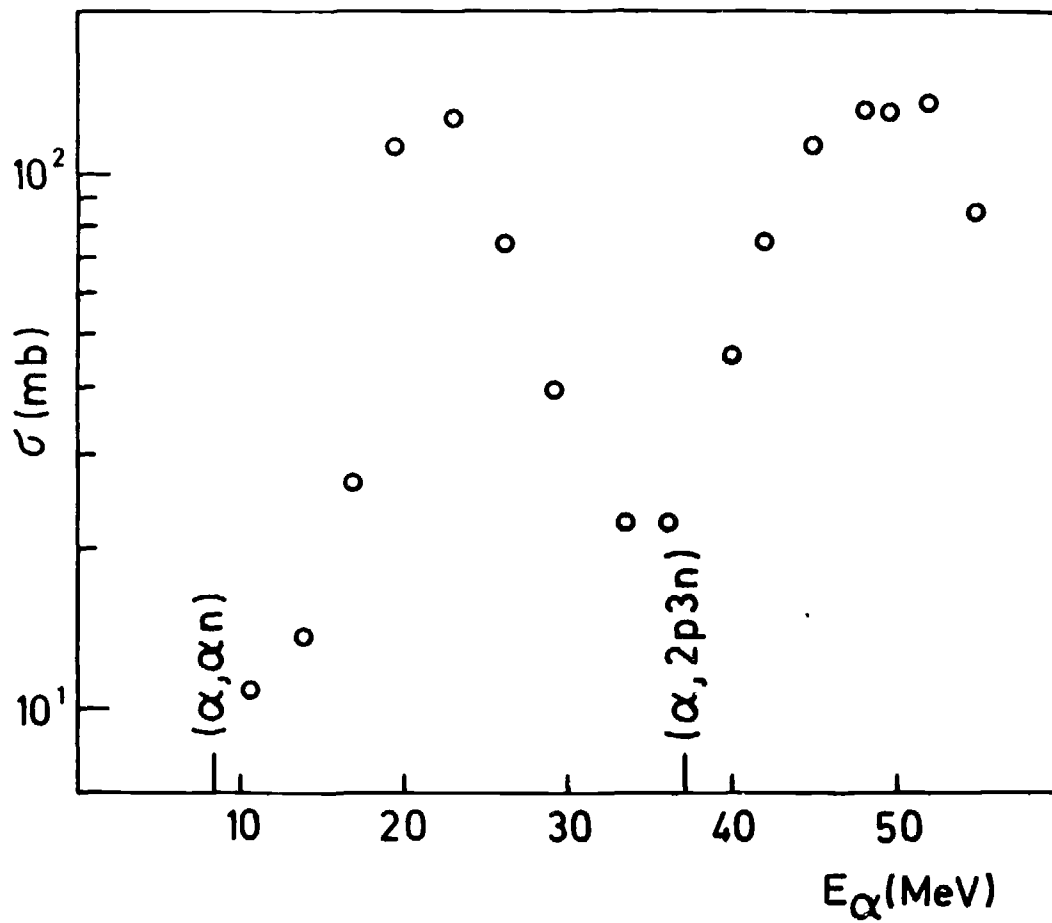
c. VII REACCIONES (α , 4n) PARA LA FORMACION DE ^{197}Tl
y (α , α n) y (α , 2p3n) PARA LA FORMACION DE ^{196}gAu .

De la irradiación de laminillas metálicas de Oro natural con partículas alfa se determinaron las secciones eficaces para la producción de los nucleidos indicados en el título. En el caso del ^{197}Tl , por tratarse de una sola reacción nuclear, los valores obtenidos significaron directamente las secciones eficaces absolutas. En cuanto al ^{196}gAu , hubo que recurrir al método que se describe en Landolt and Börnstein (Numerical Data and Functional Relationship in Science and Technology, Vol. 5, 1974) y Svoboda (U. J. V. Report 2258, 1969) para separar las funciones de excitación de las reacciones (α , α n) y (α , 2p3n) respectivamente, teniendo en cuenta los umbrales de dichas reacciones. La metodología utilizada consistió fundamentalmente en determinación de la actividad del nucleido producto mediante espectrometría gama con un detector de Ge intrínseco de alta resolución y posterior procesamiento de datos con programas computacionales de nuestra biblioteca, Radioquímica - Comisión Nacional de Energía Atómica.

E_{α} (MeV)	σ (mb)	
	$^{197}\text{Au}(\alpha, 4n)^{197}\text{Tl}$	$^{197}\text{Au}(\alpha, \alpha n)^{196}\text{gAu}$
54.47	849.27 \pm 254.29	85.16 \pm 21.18
51.82	1161.12 \pm 347.67	133.73 \pm 33.23
49.48	1233.89 \pm 369.47	130.64 \pm 33.32
47.41	1243.49 \pm 372.36	133.61 \pm 33.24
44.79	1012.25 \pm 303.13	113.25 \pm 28.11
41.84	583.98 \pm 174.89	75.24 \pm 18.67
39.86	237.89 \pm 71.27	46.28 \pm 11.46
36.21	126.58 \pm 33.95	22.47 \pm 6.02
33.48		22.70 \pm 6.61
29.04		39.45 \pm 10.43
26.10		74.42 \pm 18.38
22.89		128.26 \pm 31.87
19.43		112.47 \pm 27.74
16.88		26.39 \pm 14.90
13.75		13.87 \pm 3.42
10.42		10.89 \pm 2.85



Secciones Eficaces para la Reacción $^{197}\text{Au}(\alpha, 4n)^{197}\text{Tl}$



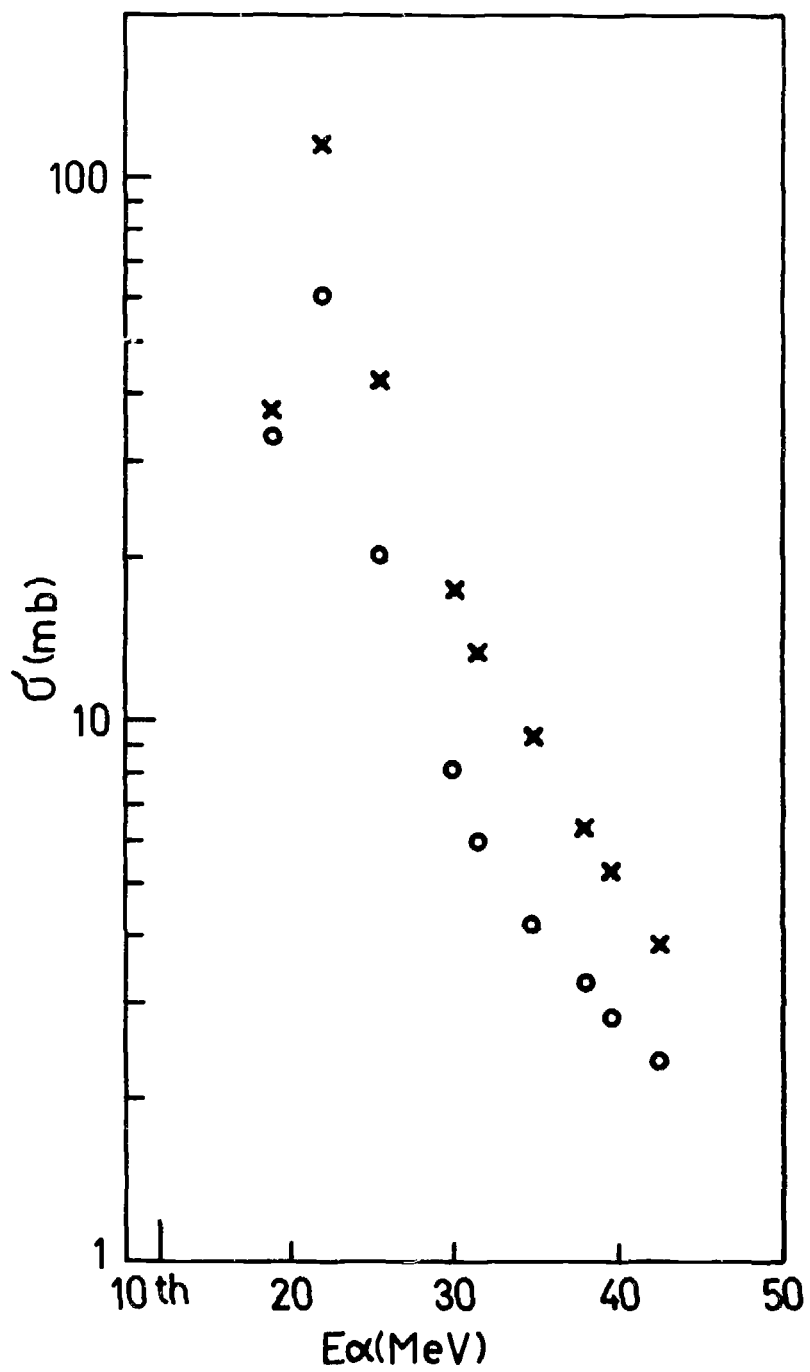
Secciones Eficaces para las Reacciones $^{197}\text{Au}(\alpha, \alpha n)^{196}\text{gAu}$ y $^{197}\text{Au}(\alpha, 2p3n)^{196}\text{gAu}$.

c. VIII SECCIONES EFICACES Y RELACIONES ISOMERICAS
PARA EL PAR $^{184m}\text{Re}/^{184g}\text{Re}$ OBTENIDO EN LA REAC-
CION $^{181}\text{Ta} (\alpha, n)$.

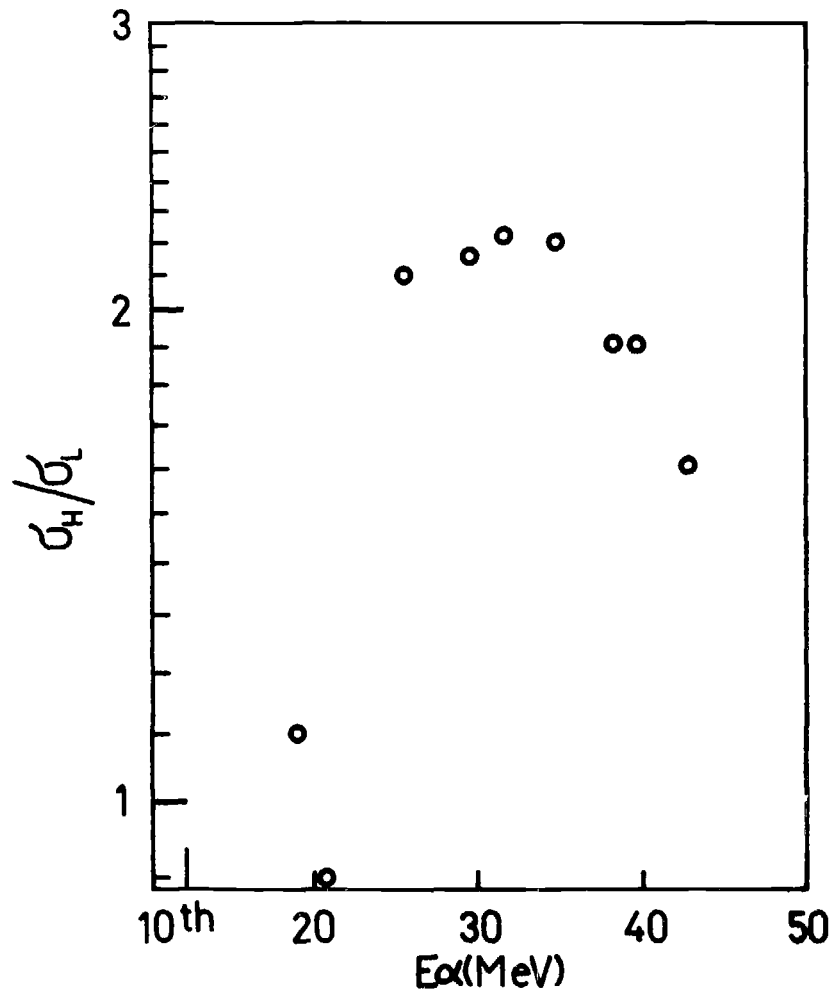
Las experiencias se realizaron sometiendo los blancos de Tantalio en forma de hojuelas metálicas superpuestas al haz externo del Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. Las actividades absolutas del ^{184m}Re y ^{184g}Re se obtuvieron a través de los rayos gama de 920 KeV y 792 KeV respectivamente. Se hizo la corrección de la actividad del ^{184g}Re proveniente de la transición isomérica a partir del ^{184m}Re .

A continuación se muestran los resultados experimentales obtenidos.

E_{α} (MeV)	σ (mb)		σ_H/σ_L
	184gRe	184mRe	
18.81	33.24 + 5.38	37.54 + 7.13	1.13
20.69	55.71 + 12.26	48.12 + 10.11	0.86
25.47	20.00 + 3.80	42.03 + 7.15	2.10
29.82	8.01 + 1.76	17.12 + 3.25	2.14
31.41	5.89 + 1.01	13.11 + 2.36	2.23
34.83	4.13 + 0.66	9.27 + 1.95	2.24
38.18	3.27 + 0.72	6.31 + 1.39	1.93
39.67	2.81 + 0.56	5.30 + 1.11	1.89
42.78	2.36 + 0.45	3.87 + 0.74	1.64



- × Secciones Eficaces para la Reacción $^{181}\text{Ta} (\alpha, n) ^{184m}\text{Re}$
- Secciones Eficaces para la Reacción $^{181}\text{Ta} (\alpha, n) ^{184g}\text{Re}$



$$\sigma_{(184m\text{Re})} / \sigma_{(184g\text{Re})}$$

b. IX DETERMINACION DEL PARAMETRO "DENSIDAD DE SPIN NUCLEAR" A PARTIR DE DATOS DE SECCIONES EFICACES, USANDO UNA APROXIMACION FENOMENOLOGICA

A partir de los resultados obtenidos en el punto c. VIII de este informe, se han representado los valores experimentales de la función de excitación para la reacción $^{181}\text{Ta}(\alpha, n)$ $^{184\text{m}}/^{184\text{g}}\text{Re}$ (Fig. 1).

Mediante la utilización del programa OVERLAID ALICE desarrollado por M. Blann (USAEC - Report C00349-29/1976), el cual se basa en el modelo estadístico, se calcularon funciones de excitación con el objeto de hallar el mejor ajuste a esos valores experimentales.

Las secciones eficaces de producción para el núcleo compuesto se calculan, en este programa, mediante el modelo parabólico desarrollado por T. D. Thomas (Phys. Rev. 116, 703 / 1959) usando el potencial de Woods-Saxon

La evaporación de partículas se obtiene de la fórmula de V. Weisskoff y D. H. Ewing (Phys. Rev. 57, 472 / 1940) y el coeficiente de transmisión para la evaporación de partículas se determina partiendo del modelo óptico, con parámetros tomados de F. G. Perey (Phys. Rev. 131, 745 / 1963) y G. R. Satcher (Nucl. Phys. 70, 177 / 1965).

La energía responsable de la evaporación de partículas se define como la energía total de excitación menos la energía rotacional.

Esta última se calcula utilizando el modelo de la gota líquida, según S. Cohen, F. Plasil y W. S. Swiatecki (Ann. Phys., N. Y., 82, 557 / 1974).

El ajuste que se muestra en Fig. 1 se obtuvo con el valor del parámetro densidad de niveles $a = A / 12.5$.

Como el programa espera, además, datos de entrada acerca de la excitación inicial, separada en excitones p y n por sobre el nivel de Fermi y h por debajo del mismo, hemos tomado como valores :

$$n_o = 4 \quad n_p = 2 \quad n_n = 2 \quad n_h = 0$$

para excitación inicial, protones, neutrones y agujeros, respectivamente.

Por otra parte los valores experimentales de las relaciones isoméricas medidas en c. VIII para la reacción $^{181}\text{Ta} (\alpha, n) ^{184m}\text{Re}/^{184g}\text{Re}$ fueron expresadas como $\sigma_H / (\sigma_H + \sigma_L)$ siendo $\sigma_H = \sigma_m$ la sección eficaz correspondiente al isómero de más alto spin y $\sigma_L = \sigma_g$ la sección eficaz para el isómero de más bajo spin.

Estos valores, que podemos describir como la probabilidad de formación relativa del isómero de más alto spin y que designaremos con F_r , han sido representados, en función de la energía de la partícula incidente, en la Fig. 2.

En esta figura se representan, también, valores calculados para esta relación, obtenidos mediante el modelo de gas de Fermi desplazado, siguiendo el procedimiento descrito por J. R. Huizenga y R. Vanderbosch (Phys. Rev. 120, 1305 y 1313 / 1960) tomando $a = A/12.5$, valor con el que se ajustó la función de excitación $(\sigma_m + \sigma_g)$ de la Fig. 1.

De la confrontación de los resultados teóricos y experimentales, podemos deducir los valores para el parámetro densidad de spin nuclear, " σ ", detallados en la Tabla 1.

El factor c indica la desviación del momento de inercia del correspondiente a una esfera rígida. Como se ve, de acuerdo a lo esperado, el núcleo se va alejando del comportamiento de una esfera rígida a medida que aumenta la energía de la partícula incidente.

E_{α}	C	" σ "
MeV	—	—
18.1	0.5	6.662
20.7	0.5	6.847
25.2	0.5	6.969
29.8	0.5	7.260
31.4	0.3	5.956
34.8	0.3	6.124
38.2	0.2	5.910
39.8	0.2	6.020
42.6	0.1	5.906

$$" \sigma_{\text{cut off}} " = 6.406 \pm 0.13$$

TABLA I

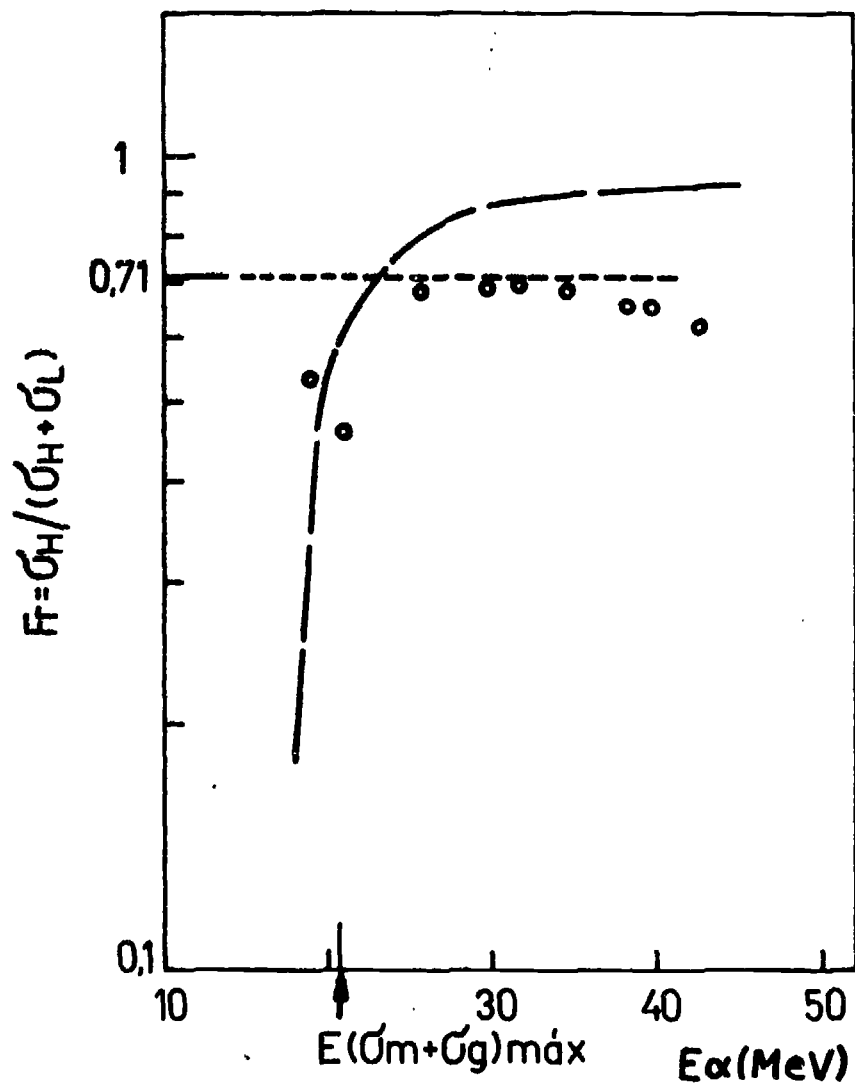


Fig. 2 $\circ \circ \circ \circ \circ$ Valores experimentales
 --- Curva calculada

9. X SISTEMATIZACION DE LOS DATOS OBTENIDOS POR NOSOTROS Y POR OTROS INVESTIGADORES

Las funciones de excitación para los estados isoméricos fundamental y metaestable de los núcleos producto fueron medidos por diferentes autores (1 - 19) para reacciones (α, n).

En la Fig. 1 se encuentran representadas las probabilidades experimentales de formación relativas del isómero de alto spin, $F_r = \sigma_H / \sigma_H + \sigma_L$ para los datos provenientes de la literatura especializada, indicada más arriba. Las secciones eficaces de formación de los isómeros de alto y bajo spin se indican con σ_H y σ_L respectivamente.

En general, los valores aumentan con la energía de la partícula alfa; a energías correspondientes al máximo de las funciones de excitación, la formación del isómero de alto spin se encuentra favorecida.

Una aproximación a estos valores se obtiene mediante el procedimiento propuesto por J. R. Huizenga y R. Vandenbosch mencionado anteriormente (Phys. Rev. 120, 1305 y 1313 / 1960)

Puede usarse también una versión simplificada del mismo, que consiste en resolver la ecuación :

$$F_r = \sigma_H / \sigma_H + \sigma_L = 1 - \frac{I^2}{2\mu R^2 (E_{CM} - V_c)} \quad (1)$$

donde:

$$I = \frac{I_H + I_L}{2}$$

con

I_H = momento angular del estado de spin alto

I_L = momento angular del estado de spin bajo

μ = masa reducida

$$R = r_0 A_T^{1/3} + r_0' A_p^{1/3}$$

siendo :

r_0 = parámetro radial para el núcleo blanco

r_0' = parámetro radial para el proyectil

E_{CM} = energía del proyectil en el centro de masa del sistema

V_c = barrera de potencial de Coulomb del núcleo

La ecuación (1) implica las siguientes consideraciones y aproximaciones :

- La distribución del momento angular del núcleo compuesto es igual a la probabilidad de distribución del momento angular orbital, calculada con un nítido radio de corte (sharp radius cut-off), para el núcleo blanco.
- Se desprecian los momentos angulares del proyectil y núcleo blanco.
- La distribución de momentos angulares del núcleo excitado no cambia durante la emisión de partículas.
- El estado de spin alto se forma de estados con un momento angular mayor que

$$I = \frac{I_H + I_L}{2}$$

Los valores obtenidos de la ecuación (1) para los estados isoméricos del ^{184}Re en la reacción $^{181}\text{Ta}(\alpha, n)$ son representados conjuntamente con los valores experimentales en la Fig. 2.

Para los cálculos se utilizaron los valores :

$$V_c = 15,2 \text{ MeV}$$

$$r_0 = 1.2 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

$$r_0' = 1.4 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

El acuerdo entre los resultados experimentales y calculados es muy satisfactorio hasta la energía correspondiente al máximo de la función de excitación. De allí en adelante, los valores calculados comienzan a alejarse de los experimentales.

Estas discrepancias son debidas fundamentalmente, a que, a mayores energías, la población de los estados de spin alto es menor que la prevista por la ecuación (1), ya que el momento angular orbital de las partículas emitidas no puede ser despreciado a estas energías.

Tomando en cuenta lo expuesto, la distribución de momentos angulares del producto excitado final es, para energías bastante mayores que la del máximo de la función de excitación, más o menos constante.

A esas energías debería ser igual al peso estadístico :

$$(\sigma_H / \sigma_L)_{cte} = 2 I_H + 1 / 2 I_L + 1 \quad (2)$$

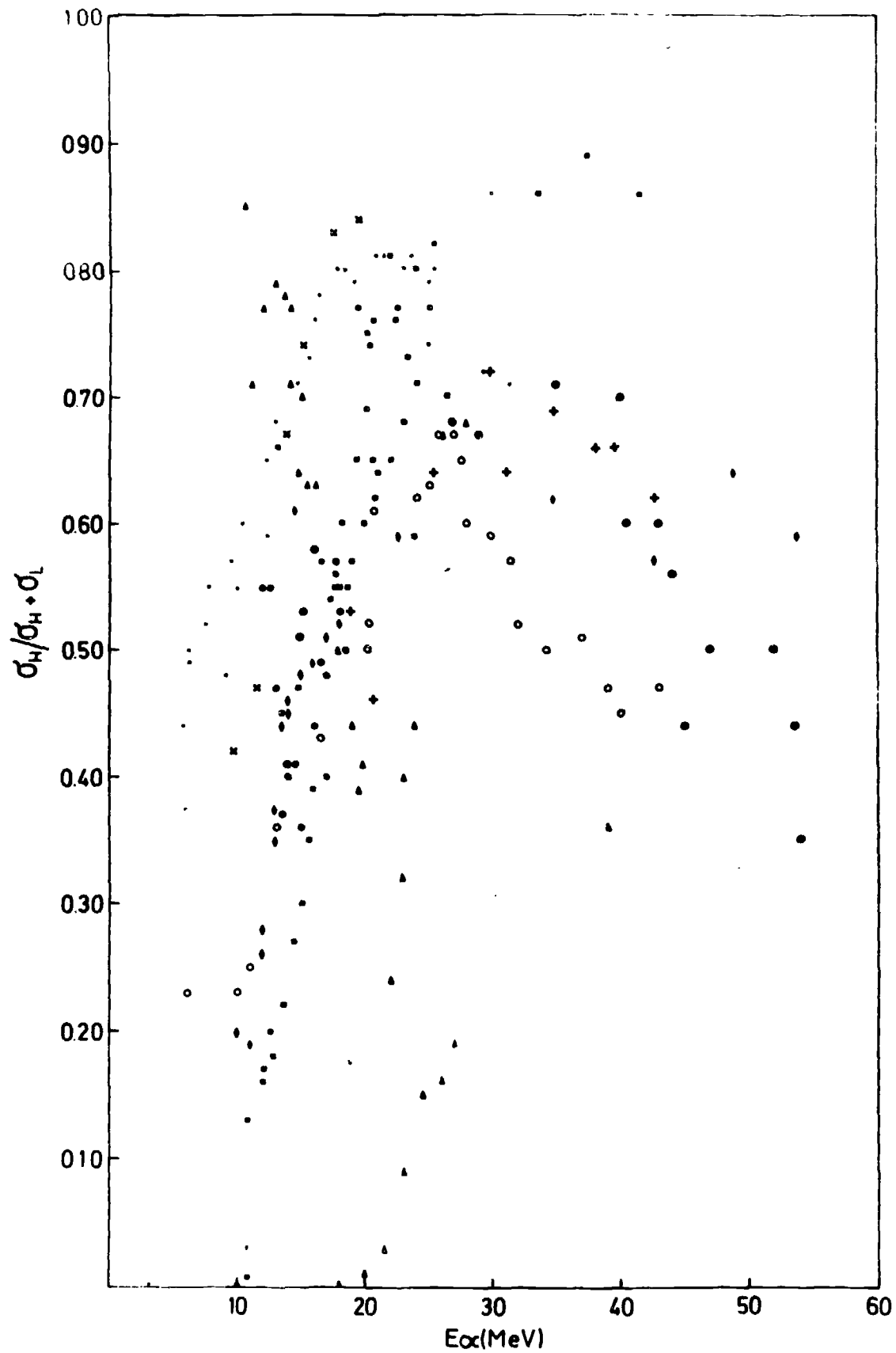
En nuestro caso, para la reacción estudiada, $^{181}\text{Ta} (\alpha, n) ^{184m}/^{184g}\text{Re}$, podría esperarse para $\sigma_H / \sigma_H + \sigma_L$, teniendo en cuenta la consideración anterior, un valor igual a 0.71.

Los valores obtenidos para las reacciones estudiadas por otros autores (1 - 19) son los siguientes :

Reacción	Ref.	F _r max	F _r en base a (2)
$^{41}\text{K} (\alpha, n) ^{44\text{m}}/^{44\text{g}}\text{Sc}$	1, 2, 3	0.665	0.72
$^{55}\text{Mn} (\alpha, n) ^{58\text{m}}/^{58\text{g}}\text{Co}$	4, 5	0.81	0.69
$^{81}\text{Br} (\alpha, n) ^{84\text{m}}/^{84\text{g}}\text{Rb}$	6	0.71	0.72
$^{87}\text{Rb} (\alpha, n) ^{90\text{m}}/^{90\text{g}}\text{Y}$	7	---	0.75
$^{93}\text{Nb} (\alpha, n) ^{96\text{m}}/^{96\text{g}}\text{Tc}$	8, 9	0.68	0.63
$^{103}\text{Rh} (\alpha, n) ^{106\text{m}}/^{106\text{g}}\text{Ag}$	10	---	0.81
$^{107}\text{Ag} (\alpha, n) ^{110\text{m}}/^{110\text{g}}\text{In}$	11, 12, 13, 14, 15	0.87	0.75
$^{109}\text{Ag} (\alpha, n) ^{112\text{m}}/^{112\text{g}}\text{In}$	16	0.83	0.75
$^{124}\text{Sn} (\alpha, n) ^{127\text{m}}/^{127\text{g}}\text{Te}$	17	0.76	0.75
$^{130}\text{Te} (\alpha, n) ^{133\text{m}}/^{133\text{g}}\text{Xe}$	18	0.66	0.75
$^{208}\text{Pb} (\alpha, n) ^{211\text{m}}/^{211\text{g}}\text{Po}$	19	---	0.72
$^{181}\text{Ta} (\alpha, n) ^{184\text{m}}/^{184\text{g}}\text{Re}$	this work	0.71	0.71

El acuerdo con los resultados experimentales es bastante satisfactorio, pese a la crudeza de la estimación.

Fig. 1



○ K ⁴¹	$\frac{3}{2} \begin{array}{l} \nearrow 6, 7 \\ \searrow 0, 1, 2, 3 \end{array}$	Sc ⁴⁴	Ref. 1, 2, 3
• Mn ⁵⁵	$\frac{5}{2} \begin{array}{l} \nearrow 5 \\ \searrow 2 \end{array}$	Co ⁵⁸	Ref. 4, 5
● Br ⁸¹	$\frac{3}{2} \begin{array}{l} \nearrow 6 \\ \searrow 2 \end{array}$	Rb ⁸⁴	Ref. 6
◊ Rb ⁸⁷	$\frac{3}{2} \begin{array}{l} \nearrow 7 \\ \searrow 2 \end{array}$	Y ⁹⁰	Ref. 7
▲ Nb ⁹³	$\frac{9}{2} \begin{array}{l} \nearrow 7 \\ \searrow 4 \end{array}$	Tc ⁹⁶	Ref. 8, 9
⊕ Rh ¹⁰³	$\frac{1}{2} \begin{array}{l} \nearrow 6 \\ \searrow 1 \end{array}$	Ag ¹⁰⁶	Ref. 10
◻ Ag ¹⁰⁷	$\frac{1}{2} \begin{array}{l} \nearrow 7 \\ \searrow 2 \end{array}$	In ¹¹⁰	Ref. 11, 12, 13, 14, 15
× Ag ¹⁰⁹	$\frac{1}{2} \begin{array}{l} \nearrow 4 \\ \searrow 1 \end{array}$	In ¹¹²	Ref. 16
■ Sn ¹²⁴	$0 \begin{array}{l} \nearrow \frac{11}{2} \\ \searrow \frac{3}{2} \end{array}$	Te ¹²⁷	Ref. 17
◊ Te ¹³⁰	$0 \begin{array}{l} \nearrow \frac{11}{2} \\ \searrow \frac{3}{2} \end{array}$	Xe ¹³³	Ref. 18
Δ Pb ²⁰⁸	$0 \begin{array}{l} \nearrow \frac{25}{2} \\ \searrow \frac{9}{2} \end{array}$	Po ²¹¹	Ref. 19
+ Ta ¹⁸¹	$\frac{7}{2} \begin{array}{l} \nearrow 8 \\ \searrow 3 \end{array}$	Re ¹⁸⁴	This work

Símbolos y referencias de la Fig. 1

REFERENCIAS

1. - T. Matsuo and T. T. Sugihara, *Can. J. Chem.*, 39, 697 (1961); *Bull. Am. Phys. Soc. II*, 4, 141 (1959).
2. - T. T. Sugihara, Atomic Energy Commission Report, NYO-7759 (1960).
3. - S. M. Bailey, *Phys. Rev.*, 123, 579 (1961).
4. - J. Wing: ANL-6598 (1962).
5. - S. Iwata, *J. Phys. Soc. (Japan)*, 17, 1323 (1962).
6. - A. Demeyer: LYCEM 7218, 1972.
7. - C. Riley and B. Linder : *Phys. Rev.* 134, N° 3 B, 559 (1964).
8. - T. T. Sugihara and J. M. Matuszek, Atomic Energy Commission Report, TID-11815 (1961).
9. - T. T. Sugihara, Atomic Energy Commission Report, TID-15020 (1962).
10. - H. L. Bradt and D. J. Tendam : *Phys. Rev.* 72, 1117 (1947).
11. - K. G. Porges: *Phys. Rev.* 101, N° 1, 225 - 230, (1956).
12. - C. T. Bishop, J. R. Hulzenga and J. P. Hummel: *Phys. Rev.* 135, N° 2 B, 401 - 411, (1964).
13. - S. Fukushima, S. Hayashi, S. Hume, H. Okamura, K. Otozai, K. Sakamoto and Y. Yoshizawa: *Nucl. Phys.* 41, 275 - 297, (1963).
14. - C. T. Bishop, Atomic Energy Commission Report, ANL - 6405 (1961).
15. - P. Misaelides : KFK 2311, 1976.
16. - S. Fukushima, S. Kume, H. Okamura, K. Otozai, K. Sakamoto and Y. Yoshizawa : *Nucl. Phys.* 69, 273-290. (1965).

17. - R. L. Hahm and J. M. Miller, Phys. Rev., 124, 1879 (1961).
18. - C. Wasilevsky, R. Montenegro, M. de la Vega Vedoya and S. J. Nassiff : Radiochem. Radioanal. Letters, 50, 5, 307 - 318 (1982).
19. - F. N. Spiess, Phys. Rev., 94, 1292 (1954).

RESUMEN

Título del Proyecto: "Datos de secciones eficaces con partículas cargadas y su evaluación y sistematización".

Institución donde se desarrolla la investigación:

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
República Argentina

Investigador Científico Jefe

Dr. Sonia F. J. Nassiff

Período

1 de diciembre de 1980 - 1 de diciembre de 1981

Antecedentes Científicos y Alcances del Proyecto

Es muy amplio el espectro de Institutos de Investigación en el mundo que normalmente publican resultados referentes a secciones eficaces con partículas cargadas. El Kernforschungszentrum de KARLSRUHE, Alemania Federal, es uno de los que más asidua y ordenadamente ha contribuido a este campo, construyendo el banco KACHA PAG (Karlsruhe Charged Particle Group). Nuestro grupo de trabajo, Radioquímica, de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina, viene desarrollando desde hace varios años trabajos en el tema, los cuales han sido publicados en revistas científicas internacionales.

El proyecto pretende :

- Obtener datos experimentales en un volumen suficiente como para permitir una comprobación de la validez de los modelos teóricos.

- Aportar datos a las bibliotecas de datos nucleares. Dichos datos tienen aplicaciones diversas : en el Análisis por Activación con Partículas Cargadas, en la Producción de Radioisótopos con Partículas Cargadas, en la Tecnología de Reactores no Convencionales, etc.

Método Experimental

El método experimental para la obtención de las secciones eficaces consiste en irradiación, en el Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina, de hojas metálicas superpuestas (stacked foil) y determinación posterior cuantitativa de los productos de reacción. Esto se hace por la medición de la intensidad absoluta de un rayo gama característico utilizando detectores de estado sólido acoplados a analizadores de pulsos, multicanales. La metodología de la Investigación se describe en detalle en los trabajos publicados.

Resultados Obtenidos

- Se obtuvieron datos de secciones eficaces con partículas alfa. El método experimental se describe en las publicaciones que acompañan a este informe.
- Se determinó el parámetro "densidad de spin nuclear", siguiendo una aproximación fenomenológica a partir de datos de secciones eficaces, para reacciones (α, n) cuyos productos de reacción son pares isoméricos.
- Se mostró el comportamiento sistemático de los resultados obtenidos por nuestro grupo de trabajo y por otros autores.

Conclusiones

Se obtuvieron una serie de publicaciones en revistas internacionales y presentaciones a Congresos realizados en nuestros países. En los mismos figuran los resultados experimentales obtenidos por este grupo de trabajo.

Mediante una aproximación fenomenológica basada en modelos de mecanismos de reacciones nucleares hemos obtenido valores del "parámetro densidad de spin nuclear" que ha permitido una adecuada correlación entre los datos calculados y los experimentales.

Y, finalmente, se ha obtenido la sistematización de los datos producidos por nosotros y por otros investigadores para reacciones (α , n) cuyos productos de reacción son pares isoméricos.

Trabajos Publicados

- "Excitations Functions and Thick Target Yields of (α , xn) and (α , α xn) Reactions on ^{103}Rh ".
M. J. Ozafrán, M. E. Vázquez, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochemical Radioanalytical Letters 43, N° 5 265 - 278 (1980).
- "Alpha Particle Induced Reactions on Zirconium"
M. de la Vega Vedoya, C. Wasilevsky y S. J. Nassiff.
Journal of Radioanalytical Letters, 67, N° 1, 165 - 181 (1981).
- "Cross Sections and Isomeric Ratios for the Isomeric Pair $^{133\text{m}}\text{Xe} / ^{133\text{g}}\text{Xe}$ Formed in ^{130}Te (α , n) Reaction".
C. Wasilevsky, R. Montenegro, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochemical Radioanalytical Letters, 50, 5, 307 - 318 (1982).
- "Cross Sections and Thick Target Yields of (α , xn) Reactions on Natural Lead".
C. Wasilevsky, M. de la Vega Vedoya y S. J. Nassiff.
Radiochemical Radioanalytical Letters, 50, 4, 211 - 226 (1982).