

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 3	AÑO 1968

02.68.22

FISICA DE REACTORES
DETERMINACION DE LA INTEGRAL DE
RESONANCIA DEL Se^{78} , Se^{80} , Se^{74}

Informe N°2

G.Ricabarra, D.B.de Ricabarra, R.F.de Turjansky

CNEA-Re-27 1968



Determinación de la integral de resonancia del Se^{74} , Se^{80} y Se^{78}

Para la determinación de la integral de resonancia se usó la técnica de la relación de Cadmio. La relación de Cadmio del Se^{74} fué medida relativa a la relación de Cadmio del Au^{197} . La relación de Cadmio del Se^{80} fué determinada relativa al Se^{74} y la del Se^{78} relativa al Se^{80} ; por lo tanto se puede obtener la relación de Cd del Se^{78} y del Se^{80} relativa al Au^{197} .

Integral de resonancia del Se^{74}

El esquema de desintegración del Se^{75} (120 días de período) producido por la captura neutrónica en el Se^{74} , está descripto en la fig.1.

Muestras de 5 mg/cm^2 de Se y $0,001 \text{ mg/cm}^2$ de Au fueron irradiadas durante 4 horas. Uno ó dos días después de la irradiación, los fotopicos de 265 y 280 kev. del Se^{75} y el de 411 del Au^{198} fueron contados en la muestra desnuda y bajo Cd.

El rayo gamma de 405 kev. fué medido seis días después de la irradiación, cuando la actividad bajo el fotopico era del mismo orden que la actividad de 411 kev. del Au^{198} . Un espectro típico obtenido con el diodo de Germanio-Litio de muestras desnudas y bajo Cd, se muestra en la fig.2.

Las relaciones de Cd. para los tres fotopicos relativa al Au^{198} , eran las mismas dentro del 0,5 %. Se hicieron tres irradiaciones y el valor final es el promedio pesado de estas determinaciones.

El factor de self-shielding de los neutrones en el Cd, $F = 0,94$ para el Se^{74} fué calculado con una sección eficaz de absorción obtenida por una inspección de la curva de sección eficaz total del Cd. (Hughes and Schwartz, 1958), porque hay una resonancia de absorción en el Cd^{111} ($27,7 \pm 0,3 \text{ ev.}$) cerca de la resonancia del Se^{74} ($27,0 \pm 0,2 \text{ ev.}$). El self-shielding en la resonancia es despreciable.

Los valores de S_0 e I' deducidos de nuestras medidas son:

$R_{Cd}(Se74)/R_{Cd}(Au197)$	$R_{Cd}(Se74)$	S_0	$\overline{\sigma}_0$	I'_{exp}	I'_{calc}
(barns)					
$1,322 \pm 0,006$	$2,213 \pm 0,011$	$10,6 \pm 0,1$	50 ± 7	470	530

La desviación de flujo calculada con teoría de multigrupos del espectro $1/E$ a la energía de resonancia de 27 ev. es alrededor del 3%, luego si se corrige por el espectro calculado se obtiene ,
 $I'(1/E) = 456,3$

Cálculo de la integral de resonancia del Se 74.

Los parámetros de resonancia adoptados para el cálculo son los siguientes:

E_0 (ev)	Γ (mv)	Γ_n (mv)	Γ_γ (mv)	Referencias
$27,0 \pm 0,1$	355 ± 25	166 ± 8	189 ± 30	Goldberg et al. (1966)
269 ± 1	4600 ± 1100	4200 ± 800		

La integral de resonancia reducida fué calculada usando la ecuación de Breit-Wigner para las dos resonancias especificadas en la tabla, y calculando la parte no resuelta con la expresión recomendada por Dresner (1960), multiplicada por el factor de Porter-Thomas que tiene en cuenta la distribución de los anchos neutrónicos reducidos.

Debido a la existencia de solamente dos resonancias conocidas, el cálculo de los parámetros promedio que se necesitan para el cálculo

de la parte no resuelta, es dudoso. A juzgar por el valor D de los demás núcleos del Se par-par, el valor D promedio del Se^{74} sería de 6 a 30 veces más grande. Igualmente la "strength function" (función de fuerza), S_0 , calculada con las dos resonancias del Se^{74} , da un valor aproximadamente 6 veces más grande que para los otros isótopos del Se (Se^{78} , Se^{80} , Se^{82}). Es probable que usando valores más correctos, la integral de resonancia no resuelta, INR , fuese despreciable.

Otro valor dudoso es el de la integral de resonancia de 269 ev. que depende básicamente de Γ_γ .

El valor de Γ_γ dado por Coté (1964) es de 500 mv., y el dado por LeBlanc es de 250 mv. La evidencia proveniente de la sistemática de los anchos de captura sugiere que el valor de LeBlanc es el más correcto, por lo que la integral de resonancia de 269 ev. podría ser reducido por un factor de 2.

Los errores sistemáticos asignados a los parámetros de resonancia son alrededor del 10%. La sección eficaz térmica de absorción 50 ± 7 fué tomada de Hughes and Schwartz (1958). La sección eficaz térmica calculada con los parámetros de resonancia es de 41 barns.

Es evidente por lo discutido anteriormente que el valor experimental de la integral de resonancia ó de la relación de la integral de resonancia a la sección eficaz térmica es más exacto que el calculado con los parámetros de resonancia.

Integral de resonancia del Se^{80}

Se determinó la relación de Cd del Se^{80} relativa al Se^{74} . Por captura neutrónica, el Se^{80} produce un estado isomérico, el $\text{Se}^{81\text{m}}$ (62m) que decae al estado fundamental por un rayo gamma de 103 kev.

El rayo gamma de 103 Kev del $\text{Se}^{81\text{m}}$ (62 min.) fué medido en relación

al de 136 Kev del Se75. La figura 3 muestra un espectro típico tomado con el diodo de germanio-litio.

Se irradiaron muestras de Se de 5 mg/cm² durante una hora y las medidas se iniciaron una hora después de finalizada la irradiación. El decaimiento del Se81m fué seguido durante tres períodos.

Se hicieron dos determinaciones de la relación de Cd y el valor promedio, $\bar{R}_{Cd}$ y el valor deducido, S_{Cd}^m para la reacción $Se80(n, \gamma)Se81m$ son:

$\bar{R}_{Cd} (Se80)/R_{Cd} (Se74)$	$\bar{R}_{Cd} (Se80)$	$S_{Cd}^m (Se80)$
$1,585 \pm 0,003$	$3,508 \pm 0,016$	$4,367 \pm 0,022$

Los rendimientos isoméricos son diferentes para captura térmica y epitérmica en el Se80, puesto que la captura "P" es tan importante como la captura "S" en las resonancias de alta energía del Se80 (Bishop et al-1964). Para la captura térmica, el rendimiento isomérico experimental medido por Bishop es:

$$Y_{th} = \frac{\sigma_0 (62 \text{ min.})}{\sigma_0 (62 \text{ min.}) + \sigma_0 (17 \text{ min.})} = 0,115 \pm 0,012$$

y para captura epicádmica es:

$$Y_{epiCd} = 0,161 \pm 0,016$$

Por lo tanto, el So del Se80 fué obtenido del So(62 min.) medido y de

$$So(62 \text{ min.} + 17 \text{ min}) = So(62 \text{ min.}) Y_{th}/Y_{epi}$$

donde $Y_{epiCd}/\alpha = Y_{epi}$; el factor $\alpha = 0,96$ corrige por la contribución de la captura 1/v en Y_{epiCd} .

Para resonancias de alta energía se supone generalmente que $F=1$,

pero una inspección de la sección eficaz de absorción desde 0.2 Kev a 10 Kev (Block et al, 1961) muestra que F vale alrededor de 0.99 para las tres principales resonancias del Se^{80} (1,9; 4,1; y 4,8 Kev).

El valor experimental y calculado de S_0 e I' para el Se^{80} es:

S_0 (Se^{80})	$\bar{\sigma}_0$	$I'_{exp.}$	$I'_{calc.}$
	(barns)		
$2,99 \pm 0,02$	$0,61 \pm 0,05$	$1,62 \pm 0,16$	1,58

Cálculo de la integral de resonancia del Se^{80}

Los parámetros de las tres primeras resonancias adoptados para el cálculo son los siguientes (valores recomendados por Goldberg et al, 1966)

E_0 (ev)	Γ (mv)	Γ_f (mv)
1965 ± 25	48000 ± 2000	
4100 ± 100	40000 ± 8000	400
4800 ± 100	81000 ± 20000	

Hay otras seis resonancias desde 11,8 Kev a 40 Kev, cuyos parámetros de resonancia han sido tomados de Goldberg et al (1966).

El cálculo hecho de la integral de resonancia con estos parámetros mediante la ecuación de Breit-Wigner da un I' alrededor de 0.9 que es un 100% más chico que el valor experimental. Diferencias espectrales no pueden explicar esta discrepancia puesto que el flujo epitérmico entre la zona de 1,9 a 5 Kev de acuerdo con el cálculo de multigrupos es 13% más alto que en la zona de baja energía.

Para descartar la existencia de resonancias a bajas energías del Se^{80} se realizó una medición relativa de la Rcd de una muestra gruesa, en dos puntos, a 2cm. del núcleo en el reflector interno y a 40 cm. en el reflector externo y se las comparó con la relación de cadmio del Au (4,9 ev).

Si definimos de acuerdo a Bigham et al (1965).

$$D = \frac{f_2(E_1)}{f_{40}(E_1)} = \frac{\left(\frac{F_{Au} R_{Au}}{F_1 R_1} - 1 \right)_2 \left(\frac{1-r \sqrt{T/T_0} R_1/K}{1-r \sqrt{T/T_0} R_{Au}/K} \right)_2}{\left(\frac{F_{Au} R_{Au}}{F_1 R_1} - 1 \right)_{40} \left(\frac{1-r \sqrt{T/T_0} R_1/K}{1-r \sqrt{T/T_0} R_{In}/K} \right)_{40}}$$

Los resultados de nuestras medidas y los valores calculados con la teoría de multigrupos son:

	D	
	Se80	Zn64
Medido	1,66	1,62
Calculado	1,80	

que muestran que la relación de cadmio del Se80 es muy sensible a los neutrones que están en el rango de energía de los Kev. Además, el acuerdo es cualitativamente satisfactorio y confirma los resultados del cálculo de multigrupos en la zona de los Kev.

Para explicar la discrepancia con los resultados experimentales, es necesario puntualizar que el cálculo de la integral de resonancia hecho usualmente, considera solamente la captura de neutrones de momento angular cero. La importancia de la captura de neutrones de momento angular mayor que cero aumenta con la energía (Weinberg and Wigner), (1958), además la función fuerza para neutrones de momento angular 1 tiene un máximo alrededor del número de masa 100, mientras que la función fuerza (strength function) para neutrones de momento angular cero tiene un mínimo alrededor del mismo número de masa. (Newson and Gibbons -1963).

Un cálculo teniendo en cuenta este efecto, fué hecho para el Se80

multiplicando la integral de resonancia para neutrones de momento angular cero, hecho con la ecuación de Breit-Wigner, por un factor

$\delta(l=0) + \delta(l=1)/\delta(l=0)$ calculado con el modelo estadístico que describe la sección eficaz de captura promedio. Se debe notar que la teoría continua es usada únicamente para calcular la relación de la captura "S" a la captura "P" y sería correcto si las funciones fuerza fueran bien conocidas. Realmente las funciones fuerza "P" son pobremente conocidas, por lo que su selección es el punto controversial del cálculo.

Nuevos datos experimentales de Good et al, citados en BNL-325, Sup.2 (Goldberg et al 1966) dan un valor de la función fuerza "S" alrededor de $1,5 \cdot 10^{-4}$ (Marion and Fowler 1963). Un cálculo se realizó suponiendo una relación entre las funciones "S" y "P" igual a 1 y se obtuvo un buen acuerdo con los resultados experimentales. Este cálculo está descrito en el apéndice 1.

El flujo calculado a 1,9; 4,1 y 4,8 Kev que corresponde a las tres primeras resonancias del Se80 es alrededor del 13% más alto que el espec-
1/E, corrigiendo nuestro valor experimental se obtiene el valor $I \approx 1,47$.

La relación de cadmio del Se80m, por ser baja, puede ser usada para medir el flujo epitérmico en la zona de los Kev y esto abre la posibilidad de una nueva serie de detectores de características similares al Se80, como el Zn64, el Zr94 y posiblemente alguno de los Ge.

En la literatura reciente (Bigham et al, Wirtz and Beckurts) no hay ejemplo de detectores similares. La máxima energía que se podía estudiar con la técnica de la relación de Cd, de acuerdo con esta literatura, es de alrededor de 400 ev.

Integral de resonancia del Se78.

El Se^{78} , por captura neutrónica produce un isómero que decae al isómero de spin más alto mediante un rayo gamma de 96 Kev, con una vida media de 3,9 min.

Muestras iguales a las usadas para el Se^{80} , se irradiaron en el reflector central durante dos minutos. El uso de una cápsula de nylon para introducir las muestras en el tubo neumático, permitió retirar y medir las muestras inmediatamente después de irradiadas.

El rayo gamma de 96 Kev del Se^{79m} fué medido relativo del rayo gamma de 130 Kev del Se^{81m} . Un espectro de rayos gamma típico se muestra en la figura 4.

Como la relación de Cd se hizo en una cápsula de material diferente, fué necesario corregirla. Esto se hizo midiendo la relación de los índices espectrales:

$$(r \sqrt{T/T_0})_{\text{Ny}} / (r \sqrt{T/T_0})_{\text{Al}}$$

por medio de la determinación de la relación de Cd del In en las cápsulas de nylon y de Al. Con el conocimiento de los índices espectrales en ambos materiales podemos corregir nuestras medidas.

Los resultados de nuestras medidas son:

$R_{\text{Cd}} (\text{In})$		$R_{\text{Cd}}(\text{Se}^{78})/R_{\text{Cd}}^{\text{m}}(\text{Se}^{80})$		$R_{\text{Cd}}(\text{Se}^{78})$
Cápsula Ny	Cápsula Al	Cápsula Ny	Cápsula Al	
$1,782 \pm 0,006$	$1,739 \pm 0,003$	$0,941 \pm 0,005$	$0,544 \pm 0,007$	$1,936 \pm 0,03$

El valor $F = 0,94$ fué calculado con la sección eficaz de absorción del Cd (Block et al, 1961) para la energía de resonancia principal del Se^{78} (380 ev.). La sección eficaz térmica para la producción del estado isomérico de spin más alto ($6,5 \times 10^4$ a.) no es conocida, pero fué calculada

aproximadamente, suponiendo una relación isomérica de 0,1 (Bishop et al, 1964). La sección eficaz térmica para el isómero de 3,9 min. es $0,38 \pm 0,04$ (Goldberg et al, 1966), por lo tanto $\bar{\sigma}_{\text{alto spin}} + \bar{\sigma}_{\text{bajo spin}} = 0,42 \pm 0,05$. Luego, I' y S_0 deducidos de nuestras medidas y cálculos son:

S_0	$\bar{\sigma}_0$	$I'_{\text{exp.}}$	$I'_{\text{calc.}}$
		barns	
$14,1 \pm 0,3$	$0,42 \pm 0,05$	$5,25 \pm 0,63$	5,78

Corrigiendo por la variación espectral a 380 ev, se obtiene $I' = 4,77$.

No existe ninguna determinación experimental previa para los nucleidos del Se, sin embargo Krammer y Whal, 1965, han medido la sección eficaz de activación para el Se 78 (n, γ) Se 79m y usando las relaciones de Cd del Se78 y del Au, citados en su trabajo, se obtiene:

$$\frac{(R_{\text{Cd}})_{\text{Se78}} - 1}{(R_{\text{Cd}})_{\text{Au}} - 1} = 1,385$$

mientras que nosotros obtuvimos 1,389, pero ningún intento se hizo para obtener de sus resultados experimentales el S_0 para el Se78, porque faltan detalles experimentales (Self-shielding y espectro).

Cálculo de la integral de resonancia del Se78.

Los valores calculados para la integral de resonancia han sido obtenidos con los parámetros de resonancia recomendados por Goldberg et al, 1966 para la resonancia de 380 ev, que son $\Gamma = 800 \pm 200$ y $\Gamma_n = 400 \pm 150$; el error sistemático es alrededor del 30%. Γ_γ es considerado 250 ± 70 por Le Blanc et al, 1959 y 500 por Coté et al, 1964.

Por lo tanto nuestra medida confirma la evidencia proveniente de la sistemática (Huynh et al, 1967) que Γ_γ es más bajo que el valor recomendado.

Apéndice I

La sección eficaz de captura neutrónica es descripta mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ng} = \sum_{\ell=0}^{\infty} \bar{\sigma}_{\ell\ell} \frac{\bar{\Gamma}_r}{\bar{\Gamma}_r + \bar{\Gamma}_{n\ell}}$$

donde $\bar{\sigma}_{\ell\ell}$ es la sección eficaz para la formación del núcleo compuesto por neutrones de momento angular " ℓ ", que se puede expresar:

$$\bar{\sigma}_{\ell\ell} = \pi \bar{x}^2 \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) T_{\ell} \quad ; \quad T_{\ell} = 2\pi \frac{\bar{\Gamma}_{n\ell}}{D}$$

entonces resulta

$$\frac{\bar{\sigma}_{ng\ell=0} + \bar{\sigma}_{ng\ell=1}}{\bar{\sigma}_{g\ell=0}} = 1 + 3 \frac{1/\bar{\Gamma}_r + 1}{1/\bar{\Gamma}_r/\bar{\Gamma}_{n0} + 1} \quad (1)$$

P_{ℓ} con los factores de penetración que tienen los siguientes valores para los dos primeros momentos:

$$P_0 = 1 \quad ; \quad P_1 = \frac{x^2}{1+x^2} \quad x = kR \quad R = \text{radio nuclear}$$

los anchos neutrónicos están relacionados con los factores de penetración mediante:

$$\bar{\Gamma}_n = 2k P_{\ell} \delta n^2(\ell) = P_{\ell} E^{1/2} (\bar{\Gamma}_{n0})_{\ell}$$

Pueden entonces definirse las funciones fuerza (strength function) para los dos primeros momentos:

$$\bar{S}^0 = \frac{(\bar{\Gamma}_n^0)_{\ell=0}}{D} \quad , \quad \bar{S}^1 = \frac{(\bar{\Gamma}_n^0)_{\ell=1}}{D}$$

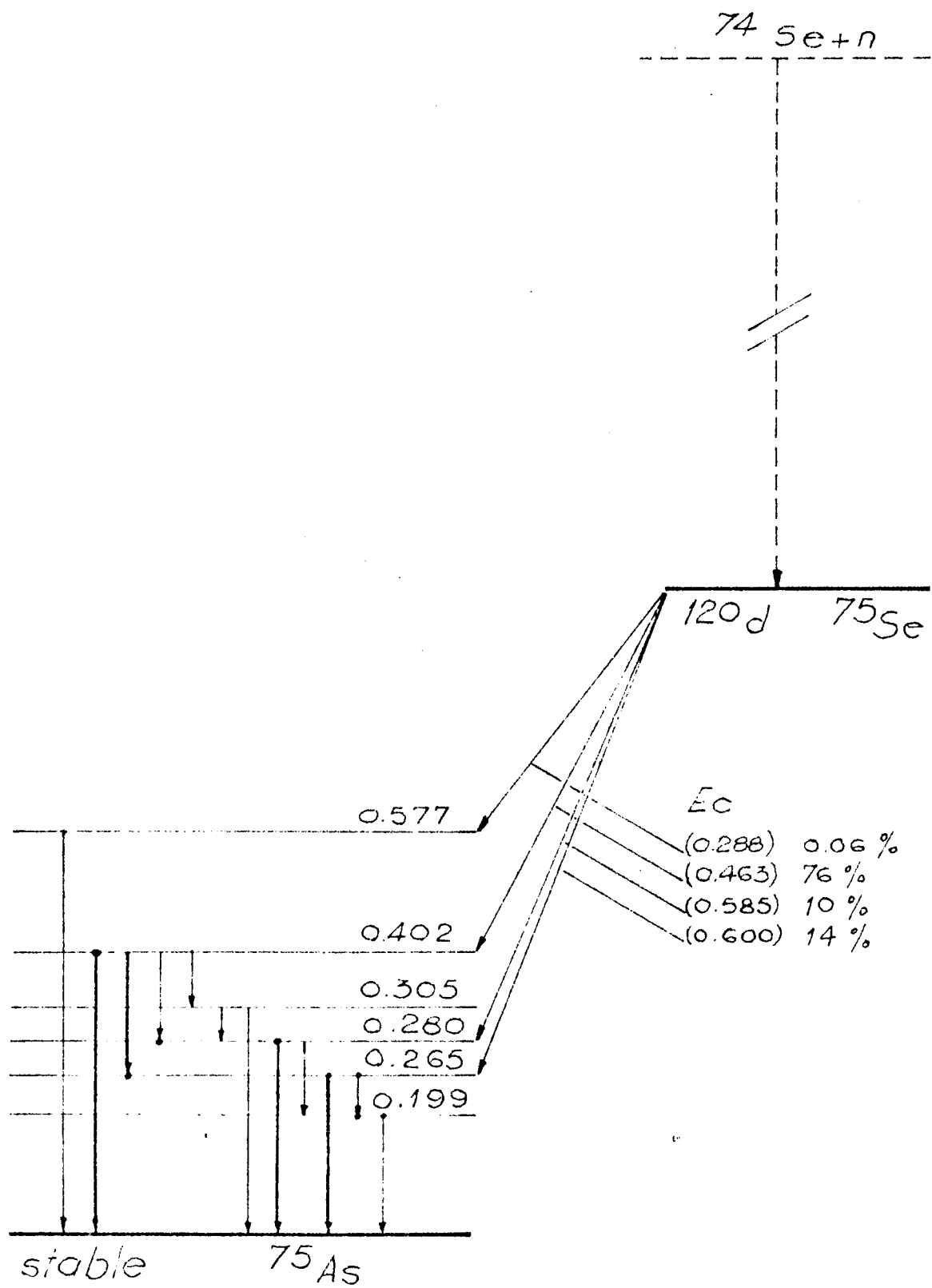
Si las funciones fuerza para los dos momentos angulares son las mismas como es el caso en el Se80, resultará:

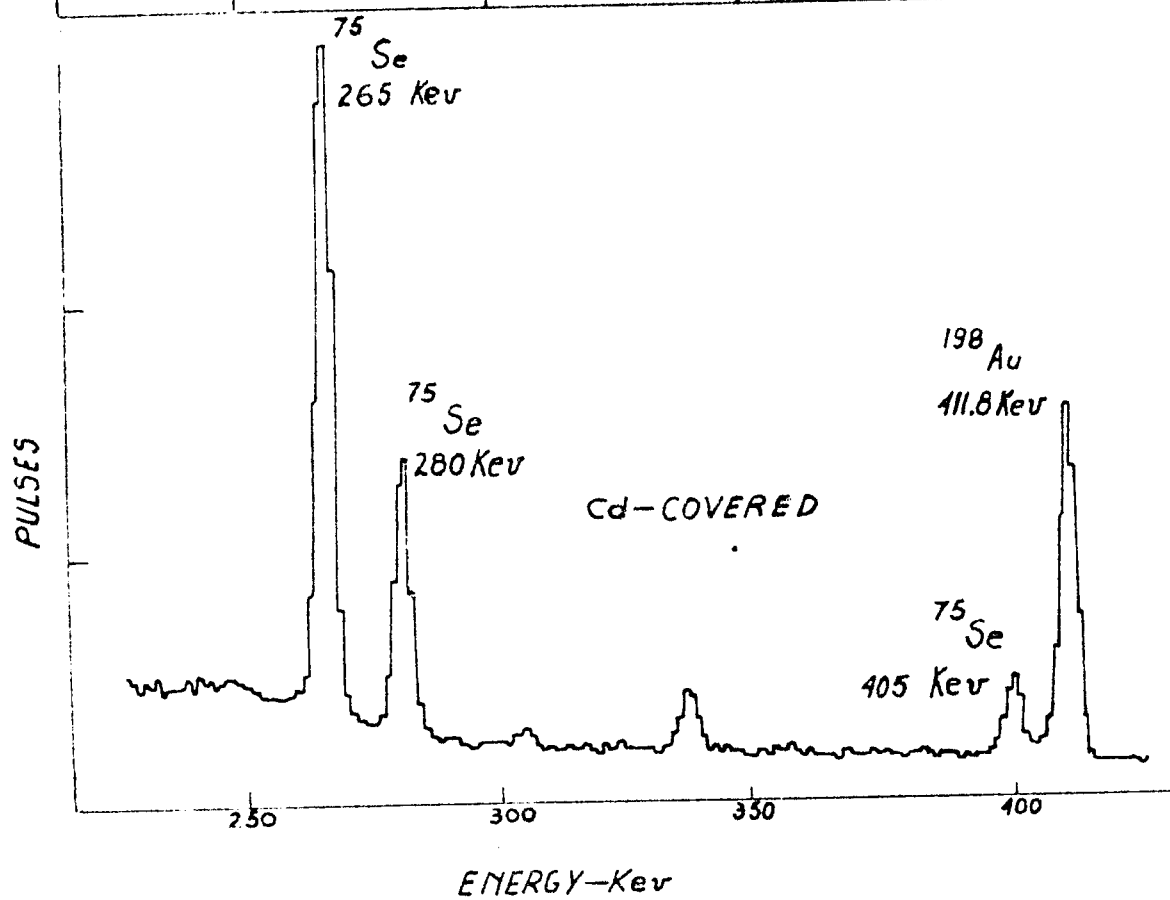
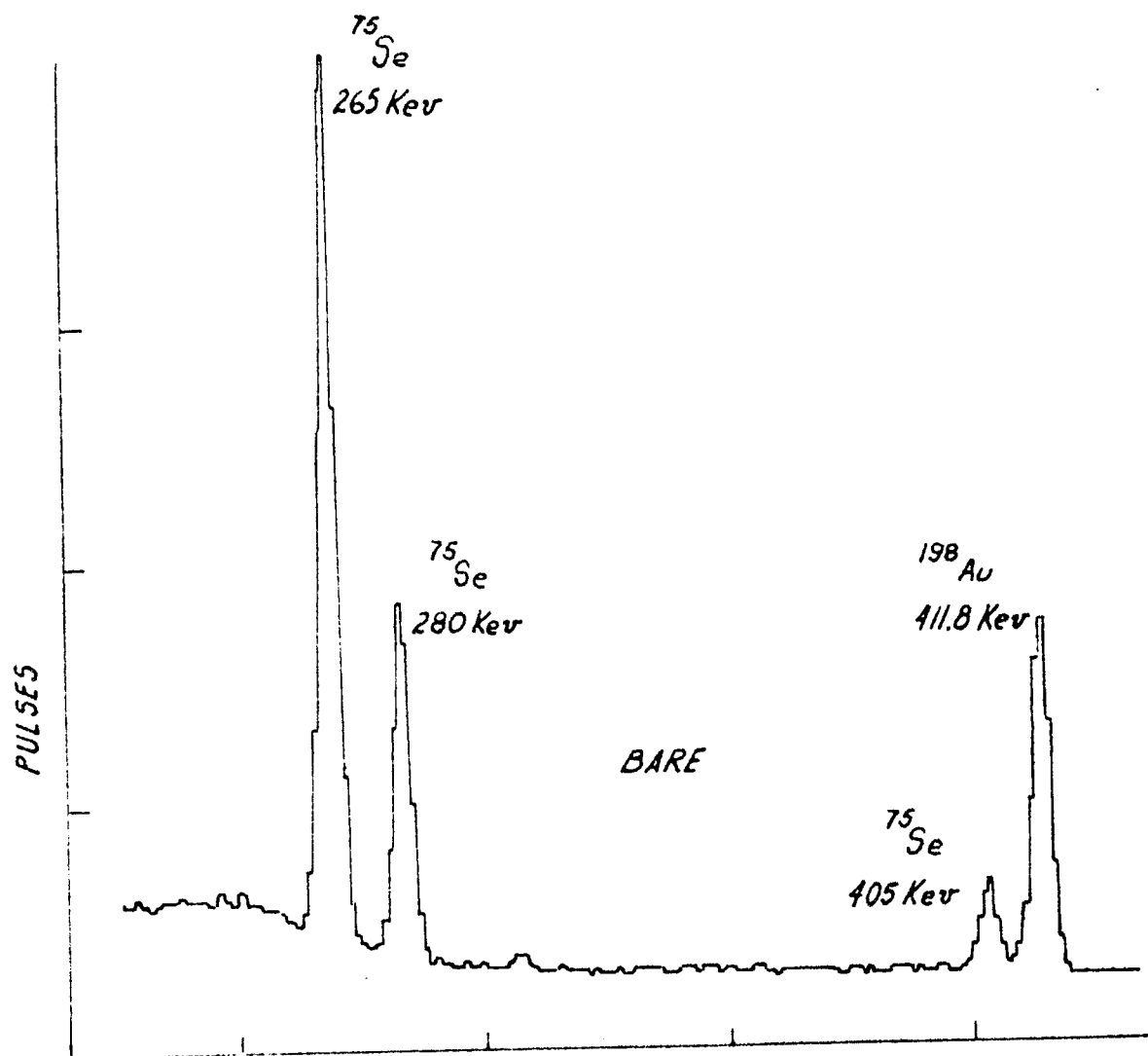
$$\frac{\bar{\sigma}_{g\ell=0} + \bar{\sigma}_{g\ell=1}}{\bar{\sigma}_{g\ell=0}} = 1 + 3 \frac{1/\bar{\Gamma}_r/2 \delta n^2(0) P_{1K+1}}{1/\bar{\Gamma}_r/2 \delta n^2(0) K+1} \quad (2)$$

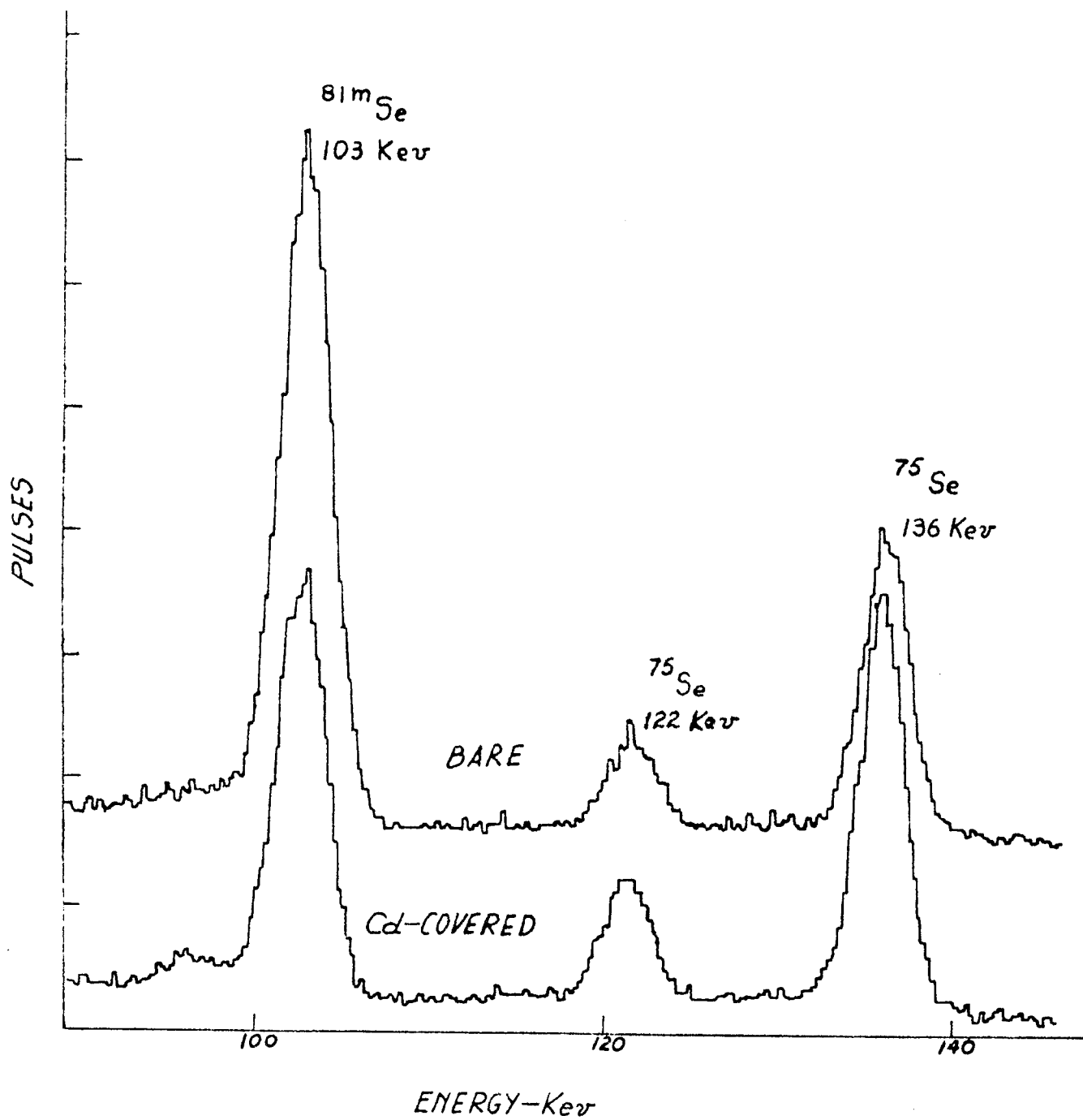
Luego:

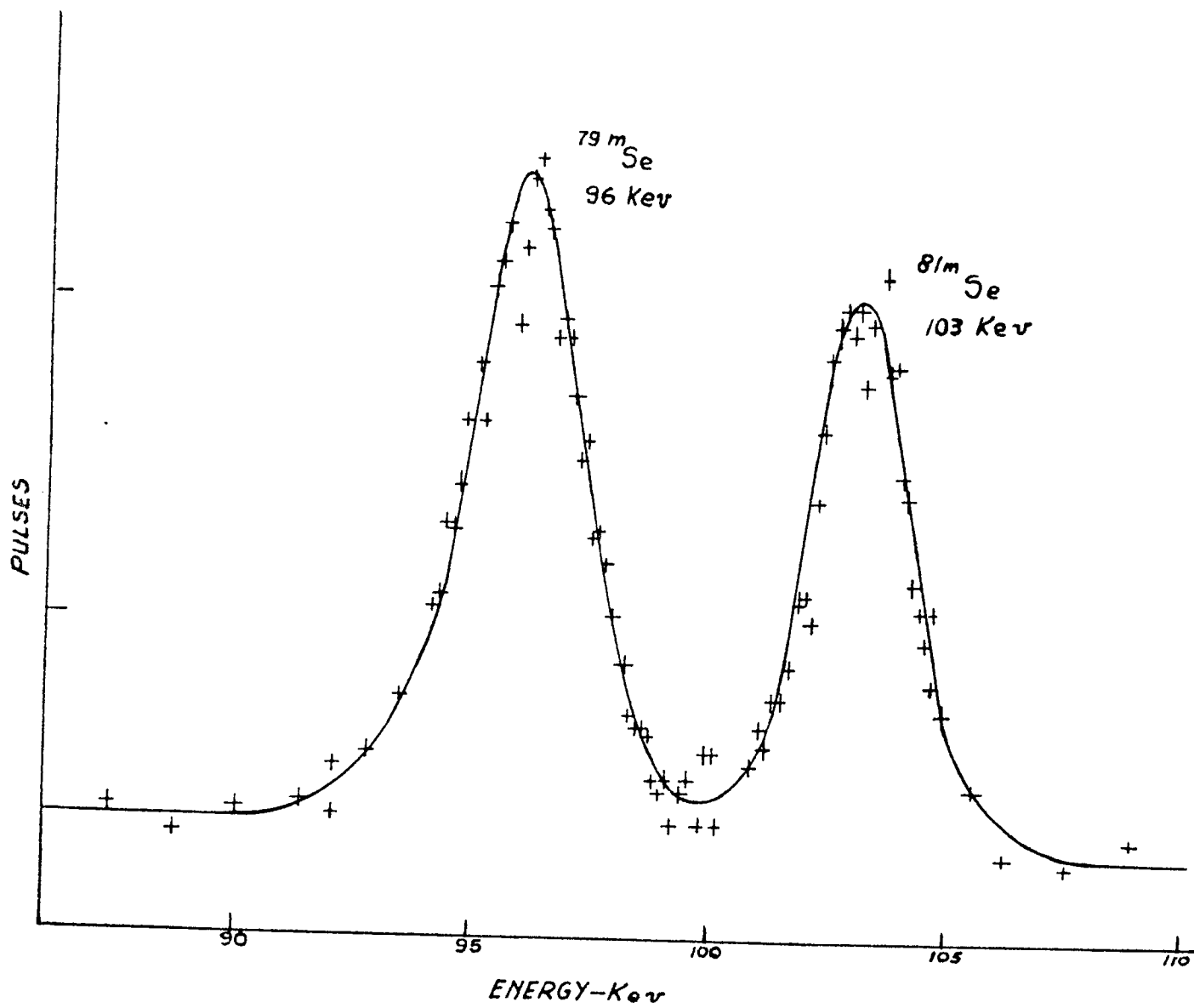
$$I'_{\ell=0} \left[\begin{array}{l} \text{calculado con la ecuación} \\ \text{de Breit-Wigner y paráme-} \\ \text{tros dados por BNL} \end{array} \right] \frac{\sqrt{\gamma_{\ell=0}} + \sqrt{\gamma_{\ell=1}}}{\sqrt{\gamma_{\ell=0}}} = I'_{\ell=0 + \ell=1}$$

La relación (2) es casi constante desde 2Kev hasta 4Kev para el Se80, por lo que no hay mucho error en multiplicar cada resonancia por este factor y sumar.









Referencias bibliográficas

- Beckurts, K.H. and Wirtz, K. 1964 Neutron Physics (Springer-Verlag, Berlin).
- Bigham, C.B. , Green R.E. and Okazaki A. 1965 Nucl.Sci.Eng., 21, 296
- Bishop, C.T. , Vonach, H.K. and Huizenga, J.R. 1964. Nucl.Phys. 60, 294.
- Coté, R.E., Bollinger, L.M. and Thomas, G.E., Phys.Rev. 136, B703 , (1964).
- Huynh et al. Valeur des largeurs radiatives totales en fonction du nombre de masse A. Nuclear Data For Reactor Vol.1 CN-23-62, 1967.
- Hughes, D.J. and Schwartz, R.B. 1958 Brookhaven Nat. Lab. Rept. BNL-325, 2nd ed.
- Goldberg, M.D., Mughabghab, S.F. , Purohit, S.N., Magurno, B.A. and and May, V.M. 1966. Brookhaven Nat. Lab. Rept. BNL-325, 2nd ed., supp.2.
- LeBlanc, J.M., Coté, R.E., and Bollinger, L.M. Nuclear Phys. 14, 120, (1959).
- Newson, H.W. and Gibbons, J.H. 1963. Fast Neutron Physics Chapter V.L. (Interscience Publishers).
- Weingerg, A.M. and Wigner, E.P. 1958. The Physical Theory of Neutron Chain Reactors (The University of Chicago Press).