

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1968

02.68.23

FISICA DE REACTORES

MEDICION DE INTEGRALES DE RESONANCIA DE ACTIVACION

Br^{81} , I^{127} , Te^{130} , Ba^{138} , Ce^{140} , y Co^{142}

INFORME Nº 3

G. Ricabarra ; D.B. Ricabarra ; R.F. Turjanski

1968

CNEA- Re- 28



RESUMEN

Usando la técnica discutida en la primera parte de este trabajo (1), se midió la integral de resonancia de activación relativa a la sección eficaz térmica de varios elementos, (So de Wescott (14)).

Los resultados referidos al Au^{197} , (So 17,7) son:
 $\text{Br}^{81} = 24,6 \pm 0,5$; $\text{I}^{127} = 27,8 \pm 0,5$; $\text{Te}^{130} = 2,10 \pm 0,07$
 $\text{Ba}^{138} = 0,649 \pm 0,004$; $\text{Ce}^{140} = 0,476 \pm 0,003$ y $\text{Ce}^{142} =$
 $0,865 \pm 0,005$.

BROMO

La integral de resonancia del Br^{81} se determinó por medio de dos técnicas de medición : relación de cadmio y relación de dos espectros (1). También se midió la transmisión de los neutrones de resonancia en el cadmio, F y el factor de autodepresión de flujo epitérmico en la muestra, G_R . Se usó el oro como patrón, midiendo con muestras de oro-bromo de distintos espesores.

El esquema de desintegración del Br^{82} (36 horas de período) y Br^{82m} (6,2 min), inducidos por captura neutrónica en el Br^{81} , se muestran en la fig. 1. La relación de rendimiento isomérico deducido de las secciones eficaces medidas por Emery (2) es de 0,93 y el 97,6% del Br^{82m} decae a Br^{82} .

La actividad del rayo γ de 554 kev del Br^{82} se midió relativa a la del de 411 kev del oro. También se verificó midiendo el fotopico de 619 kev del Br^{82} , después de decaídas las actividades del Br^{80} (17 min) y Br^{80m} (4,5 horas). El acuerdo de las relaciones medidas en los fotopicos de 554 y 619 kev es del 0,2%.

Con una solución conteniendo 156 partes de bromo por parte de oro se prepararon muestras de 1,0 ; 2,0 ; 20,4 mg/cm^2 de Br^{81} de espesor.

Se hicieron dos medidas de relación de cadmio con cada espesor de muestra. La relación de espectros se midió tres veces con muestras de 20,4 mg/cm^2 y una vez con 1,0 mg/cm^2

de espesor . Las muestras se irradiaron una hora y las medidas se realizaron 12,24 y 36 horas después del corte de la irradiación.

Los resultados obtenidos por los dos métodos con muestras de $20,4 \text{ mg/cm}^2$ se usaron para obtener el valor de F (apéndice 1). La resonancia de $99,6 \pm 0,2 \text{ ev}$ del Cd^{111} puede deprimir el flujo en la resonancia de $101,0 \pm 0,1 \text{ ev}$ del Br^{81} . El valor $F = 0,946 \pm 0,015$ obtenido experimentalmente está en buen acuerdo con el de 0,95 estimado con las secciones eficaces del Cd .

Las medidas de relación de Cd se usaron para verificar G_R , autodepresión del flujo en la resonancia (apéndice 2).

El acuerdo con los valores calculados es muy bueno, tabla I. Usando $F = 0,946$ y G_R de la tabla I, se obtuvieron los valores de S_0 . El resultado de la relación de cadmio con $20,4 \text{ mg/cm}^2$ de espesor no se usó para calcular S_0 , porque ese valor se empleó para verificar G_R . Los detalles del cálculo de S_0 a partir de los resultados experimentales se detallan en la referencia (1).

Los resultados se resumen en la tabla I. El acuerdo entre las dos técnicas usadas es bueno e incluyendo una corrección del $-0,9\%$ por desviación del espectro $1/E$, del promedio pesado de los resultados de ambos métodos se obtuvo:

$$S_0(\text{Br}^{81}) = 24,6 \pm 0,4$$

Del esquema de desintegración (fig. 1) y la relación de rendimiento isomérico podemos afirmar que el valor de S_0 medido con la actividad del período de 36 horas es muy próximo al de captura total del Br^{81} (diferencia $< 0,4\%$). Con los parámetros recomendados por Goldberg et al. (3) para las resonancias de 101 ; 135,5 y 205 ev , se calculó la integral de resonancia reducida usando la expresión de Breit-Wigner (4).

Las resonancias no resueltas se estimaron con el método recomendado por Dresner (5). Se obtuvo $I' = 63,1 \text{ b}$, que con la sección eficaz $\sigma_0 = 3,1 \pm 0,4 \text{ b}$ (3), corresponde a $S_0 = 23$ en razonable acuerdo con el valor experimental.

La integral de resonancia a partir del corte del cadmio $I_{\text{Cd}} = 41 \text{ b}$ medida por Emery (2) daría un valor de S_0 mucho más bajo . La discrepancia puede tal vez explicarse por un fuerte efecto de autodepresión en las muestras usadas por Emery. En ese trabajo no se hizo referencia al espesor de muestras usado.-

YODO

Debido a que la relación de cadmio del I^{127} es muy baja, se midió la relación de dos espectros. Se usó como patrón el indio y se prepararon muestras conteniendo $2,25 \text{ mg/cm}^2$ de iodo y $0,025 \text{ mg/cm}^2$ de indio.

En la figura 2 se muestra el esquema de desintegración del I^{128} de 25 minutos de período. Se midió el fotopico de 442 kev relativo al de 416 kev del In^{116} .

Dos hojas desnudas se irradiaron simultáneamente durante 10

minutos, una en el reflector central y otra en la columna térmica. Se comenzó a medir media hora después del fin de la irradiación, alternando las muestras y se verificó el decaimiento durante aproximadamente tres períodos del I^{128} .

El resultado obtenido del promedio de tres irradiaciones es :

$$R(I^{127}/I_n^{115}) = 1,306 \pm 0,014 ,$$

que usando $G_R = 0,982$ para el iodo y $G_R = 0,996$ para el indio y una corrección por espectro de -4% da un valor de S_0 :

$$S_0(I^{127}) = 27,8 \pm 0,5$$

La integral reducida calculada con los parámetros nucleares es $I' = 156,0$ b y con $\sigma_0 = 6,2 \pm 0,2$ b (3) se obtiene $S_0 = 28,4$ en razonable acuerdo con el valor experimental. En el cálculo se usaron los valores recomendados por Goldberg et al. (3) y se supuso $J=3$ para las tres resonancias principales de 31,3 ; 37,8 ; y 45,5 ev. Para las demás resonancias se consideró un peso estadístico $g=1$.

En la tabla III se comparan los resultados experimentales obtenidos por diversos autores.

TELURO

Por captura neutrónica en el Te^{130} se producen Te^{131} de 25 minutos de período y Te^{131} de 1,2 días ($\sim 4\%$), que decaen a I^{131} de 8 días (fig. 3). Aproximadamente un 20% del estado excitado pasa al estado fundamental. La relación de rendimiento isomérico es igual para neutrones térmicos y epitérmicos (9).

Un fotopico de aproximadamente 410 kev proveniente de una impureza hizo difícil medir el rayo δ de 360 kev del I^{131} relativo al de 411 kev del Au^{198} . Por eso se prefirió medir la actividad del fotopico de 150 kev del Te^{131} relativa a la de 137 kev del In^{116} de 54 min.

Dos hojas de 8,8 mg/cm² de Te^{130} y 0,0025 mg/cm² de In^{115} de espesor fueron irradiadas en el reflector central, una desnuda y otra cubierta de cadmio. Se irradió durante 2 min y se comenzó a medir 20 minutos después. La actividad del rayo δ de 150 kev se siguió durante tres vidas medias (fig. 4).

Del promedio de tres irradiaciones resulta :

$$Red (Te^{130} / In^{115}) = 3,26 \pm 0,11$$

$$Red (Te^{130}) = 5,67 \pm 0,19$$

La depresión del flujo es despreciable en el telurio e indio y suponiendo $F=1$, se obtiene sin corrección por espectro:

$$S_0 (Te^{130}) = 2,10 \pm 0,07$$

Si se calcula S_0 a partir de los parámetros de resonancia medidos por Bilpuch et al. (10) se obtiene un valor un 100% más bajo. La contribución principal provendría de la resonancia de 1,5 kev, pero la discrepancia entre el valor medido y el calculado sugiere que algunas de las resonancias no asignadas de baja energía que aparecen en el telurio (3) corresponden al Te^{130} . Confirmaría ésta hipótesis el hecho de que el valor de sección eficaz térmica calculado con los parámetros nucleares es, tam -

bién mucho más bajo que el experimental determinado por distintos autores (11) , (12) . Asimismo , es de notar que la resonancia de 1,5 kev no figura entre los valores "recomendados" por Goldberg et al. (3), en cambio se han determinado en el telurio varias resonancias de energías bajas e intermedias que no han sido asignadas.-

BARIO

Se midió la relación de cadmio del Ba¹³⁸ relativa al In¹¹⁵ . Se utilizaron muestras de bario-indio conteniendo 3,6 mg/cm² de Ba¹³⁸ y 0,004 mg/cm² de indio. Se irradiaron una hoja cubierta de Cd y otra desnuda en el reflector central durante 5 minutos y las medidas se iniciaron 30 minutos después. La actividad del fotopico de 166 kev del Ba¹³⁹ de 85 minutos se comparó con la de 137 kev del In¹¹⁶, continuándose la medida durante dos períodos del Ba¹³⁹.

El promedio de 4 irradiaciones es :

$$\text{Red} (\text{Ba}^{138} / \text{In}^{115}) = 7,23 \pm 0,03$$

$$\text{Red} (\text{Ba}^{138}) = 12,57 \pm 0,05$$

Suponiendo $F=1$ y $G_R=1$ para el bario :

$$S_0 (\text{Ba}^{138}) = 0,694 \pm 0,04$$

No se calculó a partir de los parámetros nucleares porque las resonancias identificadas en el Ba¹³⁸ son de energías mayores de 31,7 Kev, pero el bario tiene muchas resonancias no identificadas de energías bajas e intermedias, algunas de las cuales podrían contribuir a la integral del Ba¹³⁸ .-

CERIO

Las relaciones de cadmio del Ce^{140} y Ce^{142} se midieron simultáneamente relativas al oro. Se irradiaron durante 4 horas muestras de $6,40 \text{ mg/cm}^2$ de cerio y $0,0015 \text{ mg/cm}^2$ de oro. El rayo γ de $145,6 \text{ kev}$ del Ce^{141} de 32,5 días y el de 294 kev del Ce^{143} de 33 horas fueron medidos relativos al de 412 kev del Au^{198} (fig.5 y fig.6). Un espectro γ característico se muestra en la fig.7. Los resultados se obtuvieron del promedio de tres irradiaciones.-

 Ce^{140}

De la relación de cadmio relativa al oro :

$$\text{Red } (Ce^{140})/(Au^{197}) = 8,21 \pm 0,03$$

$$\text{Red } Ce^{140} = 13,74 \pm 0,05$$

y suponiendo $F=1$ y $G_R=1$ resulta :

$$S_0 (Ce^{140}) = 0,476 \pm 0,003$$

De la integral de resonancia desde el corte de cadmio $I_{Cd}=0,486$ b medida por Lantz et al. y usando $G_0=0,58$ b se obtiene $S_0=0,492$ en buen acuerdo. Para deducir este valor se tomó la energía de corte de cd: $E_{cd}=0,615 \text{ ev}$, para la geometría cilíndrica de las cajas de cadmio usadas por Lantz et al.

 Ce^{142}

El resultado promedio de la relación de cadmio es

$$\text{Red } (Ce^{142})/\text{Red } (Au^{197}) = 5,98 \pm 0,02$$

$$R_{Cd} (Ce^{142}) = 10,01 \pm 0,04$$

y suponiendo $F=1$ y $G_R=1$

$$S_0(Ce^{142}) = 0,865 \pm 0,005$$

Como no hay datos de parámetros de resonancia para el Ce^{140} y Ce^{142} , no se puede comparar con valores calculados.-

APENDICE I

Determinación de la transmisión de neutrones de resonancia en el cadmio para el Br^{81} .-

Para determinar F , se midió la relación de Cd y la relación de dos espectros con muestras de $20,4 \text{ mg/cm}^2$ de Br^{81} de espesor. Como en las dos mediciones G_R es el mismo, se puede conocer $S_0 G_R/g$ del Br^{81} , midiendo la relación R , de dos espectros (ver referencia(1)):

$$[S_0 G_R/g]_{Br^{81}} = R/f [S_0 G_R/g]_{Au^{197}} + (R/f - 1)(r\sqrt{T/T_0})_{rs}^{-1}$$

donde R y $(r\sqrt{T/T_0})_{rs}$ son valores experimentales y f es muy próximo a 1 y se obtiene rápidamente por iteración conociendo el índice espectral en la columna térmica $(r\sqrt{T/T_0})_{TC}$ y $(S_0 G_R/g)$ del Au^{197} es conocido.

De la medida de la relación de cadmio relativa al oro, y con el valor experimental de $[S_0 G_R/g]_{Br^{81}}$ podemos despejar F , usando

la expresión conocida (1) :

$$\frac{\text{Red}(\text{Br}^{81})}{\text{Red}(\text{Au}^{197})} = \frac{[(1 + (G_R S_0/g)(r\sqrt{T/T_0}))(F/g(S_0 G_R - W) + 1/k)]_{\text{Br}^{81}}}{[(1 + (G_R S_0/g)(r\sqrt{T/T_0}))(F/g(S_0 G_R - W) + 1/k)]_{\text{Au}^{197}}}$$

Si llamamos S al denominador que sólo depende del "standard" y $\text{Red} = \text{Red}(\text{Br}^{81})/\text{Red}(\text{Au}^{197})$, considerando que $W \approx 0$ para el bromo tenemos :

$$F = [\text{Red}^{-1} S^{-1} (1 + (G_R S_0/g)_{\text{Br}^{81}} (r\sqrt{T/T_0})_{rs})] (S_0 G_R/g)_{\text{Br}^{81}}^{-1}$$

del promedio de tres irradiaciones se obtuvo la relación de dos espectros:

$$R(\text{Br}^{81}/\text{Au}^{197}) = 1,216 \pm 0,014$$

Se hicieron dos irradiaciones para medir la relación de cadmio resultando :

$$\text{Red}(\text{Br}^{81})/\text{Red}(\text{Au}^{197}) = 0,929 \pm 0,003$$

Los índices espectrales $(r\sqrt{T/T_0})_{rs} = 0,0805 \pm 0,0002$ en el reflector central y $(r\sqrt{T/T_0})_{TC} = 0,0028 \pm 0,0001$ se midieron a partir de relaciones de cadmio con hojas muy delgadas, preparadas con aleaciones de oro-plomo con 0,02% de oro.

Con estos valores se obtuvo :

$$F = 0,946 \pm 0,015$$

Para calcular F se usó la aproximación del "slab" infinito, usando como sección eficaz de transmisión la sección eficaz de absorción (15).

El valor calculado de 0,95 muestra buen acuerdo con nuestro valor experimental.

APENDICE 2

Autodepresión del flujo de resonancia en muestras de bromo.-

La depresión de neutrones de resonancia se determinó midiendo la relación de cadmio con muestras de 20,4 mg/cm² y 2,0 mg/cm² de espesor de Br⁸¹.

Extrapolando $(FR_{Cd}-1)$ en función de $(\sqrt{1+2Zf(\theta)})^{-1}$ a espesor cero se tiene (17) :

$$\frac{(FR_{Cd}-1)_Z}{(FR_{Cd}-1)_0} = 1/G_R \quad ,$$

En nuestras medidas el error de esta aproximación es del orden del 0,1%.

$Z=N \cdot G_R$, donde N es el N° de átomos por cm² y G_R la sección eficaz máxima en la resonancia. $f(\theta)$ es un factor que corrige por efecto Doppler (5).

Los valores obtenidos se resumen en la tabla I.

G_R también se calculó para el bromo y el oro usando la expresión

$$G_R = \frac{\sum_{i=1}^m G_{Ri} I'_i + I_{NR}}{\sum I'_i + I_{NR}} \quad ,$$

donde m es el N° de resonancias resueltas, I'_i es la integral de resonancia calculada usando la expresión de Breit-Wigner, I_{NR} corresponde a las integrales no resueltas (5) y

$$G_{Ri} = 1/\sqrt{1+2Z_i f_i(\theta)}$$

es la depresión en cada resonancia resuelta.

En la tabla I se comparan los valores experimentales y calculados.-

TABLA I

VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS DE Gr PARA BR⁸¹ y Au¹⁹⁷

⁸¹ Br					¹⁹⁷ Au			
ESPESOR		DETERMINACION EXPERIMENTAL DE G _r			CALC.	ESPESOR		CALC.
mg/cm ²	$1/\sqrt{1+25.f(\infty)}$ (F Red-1)	Gr		Gr		mg/cm ²	Gr	
20.4	0.879	0.479 ± 0.003	0.918 ± 0.015	0.928		0.13	0.986	
2.0	0.985	0.445 ± 0.003	0.989 ± 0.010	0.990		0.01	0.999	
0	1	0.440 ± 0.007	----	1		----	----	

TABLA 2

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL BR⁸¹

Espesor mg/cm ²	Relación de dos espectros		Relación de Cadmio	
	R	S _o	Red(Br81)/Red(Au197)	S _o
20.4	1.216 ± 0.014	26.5 ± 0.5	0.929 ± 0.003	-----
2.0	-----	-----	0.912 ± 0.003	26.4 ±
1.0	1.30 ± 0.05	27.2 ± 1.2	0.905 ± 0.003	27.3 ±

TABLA 3

RESUMEN DE LOS VALORES DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA DEL I^{127}

<u>INTEGRALES DE RESONANCIA MEDIDAS</u>	<u>$I_{cd}(\text{barns})^{(a)}$</u>
Macklin and Pomerance (1955)	130-140
Klimentov y Griazev (1957)	160 $\pm$ 13
Tattersall et al (1960)	180 $\pm$ 30
En estas medidas, $\bar{G} = 6.2 \pm 0.2$	
<u>INTEGRALES DE RESONANCIA CALCULADAS</u>	
Parámetros consignados por Goldberg et al.(3) ^(b)	158.4

(a)
$$I_{cd} = \int_{E_{cd}} \bar{G}(E) \frac{dE}{E}$$

(b) En el cálculo se supuso $J = 3$, para las resonancias de 31.3 , 37.8 y 45.5 kev. Para las demás resonancias se usó un peso estadístico $g = 1/2$.

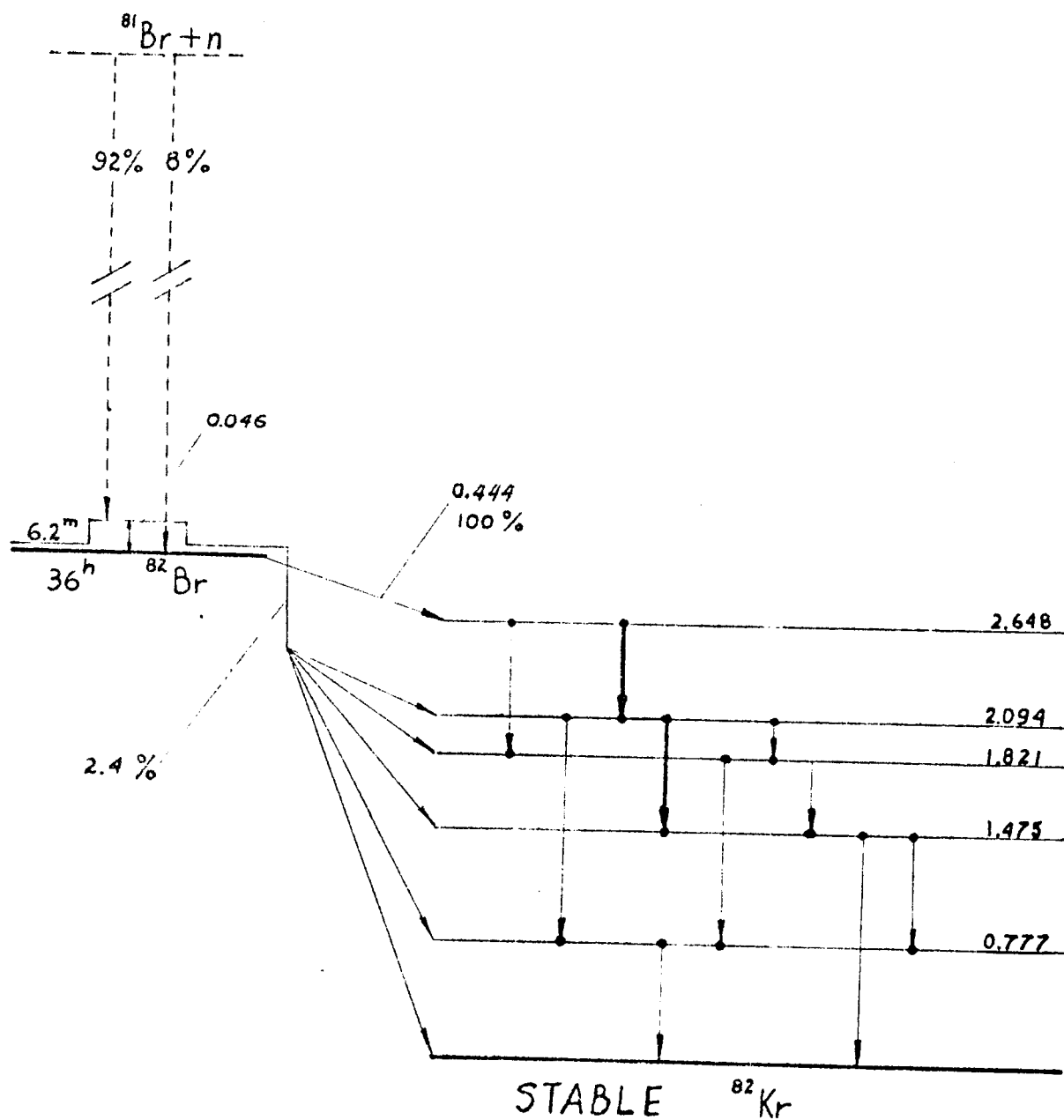


Fig. 1 - Esquema de desintegración del Br^{82}

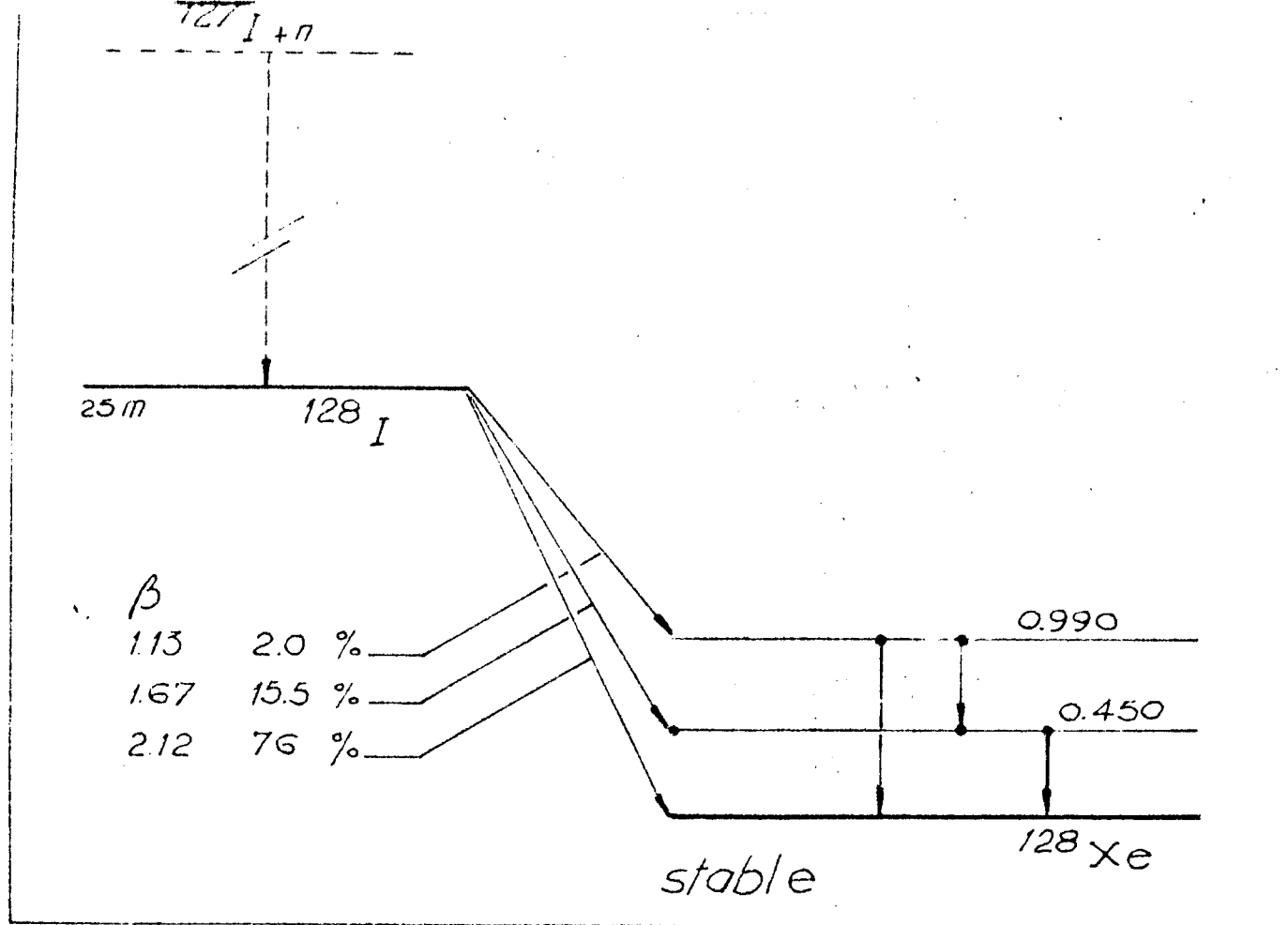


Fig. 2 - Esquema de desintegración del ^{128}I

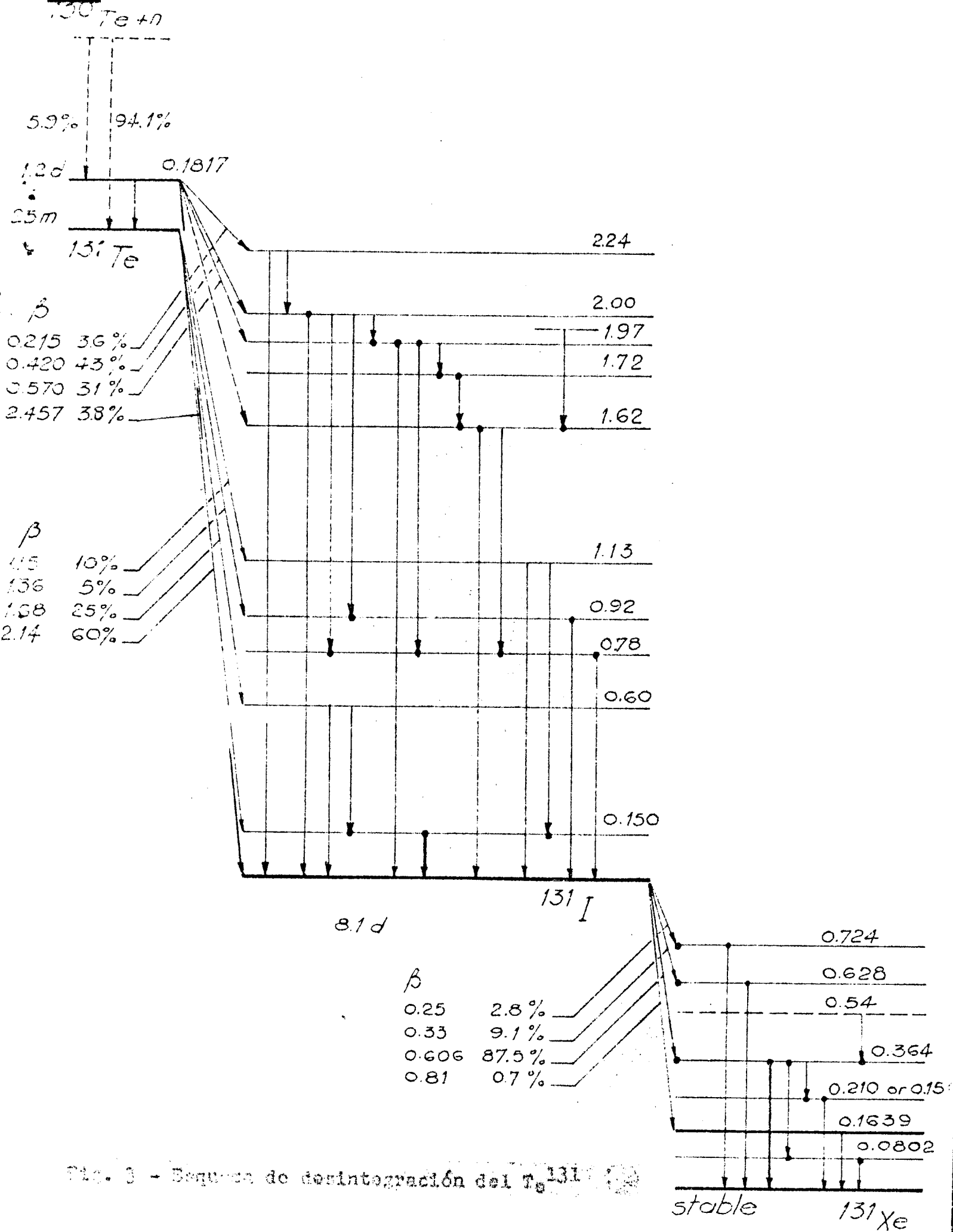


Fig. 3 - Esquema de desintegración del ^{131}Te

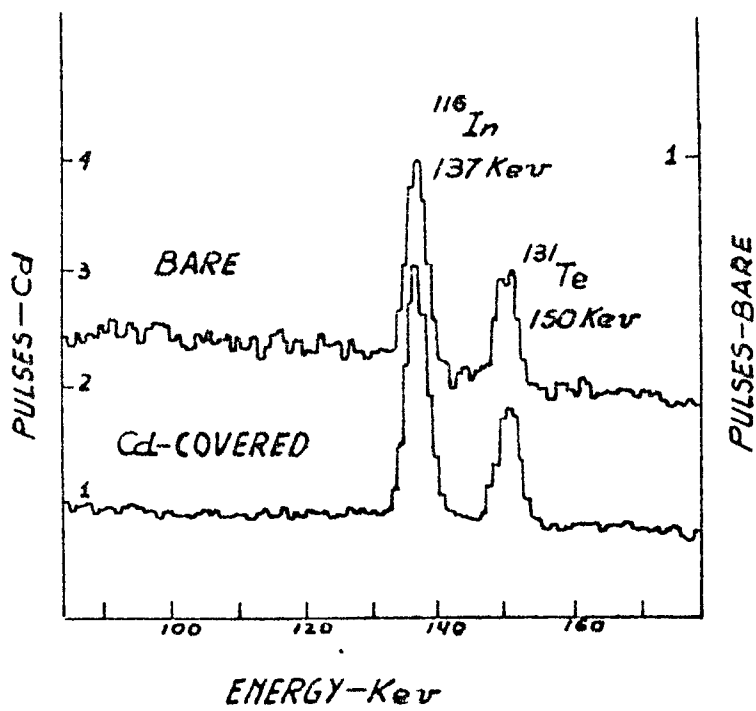


Fig. 4 - Espectro γ del T_{e131}

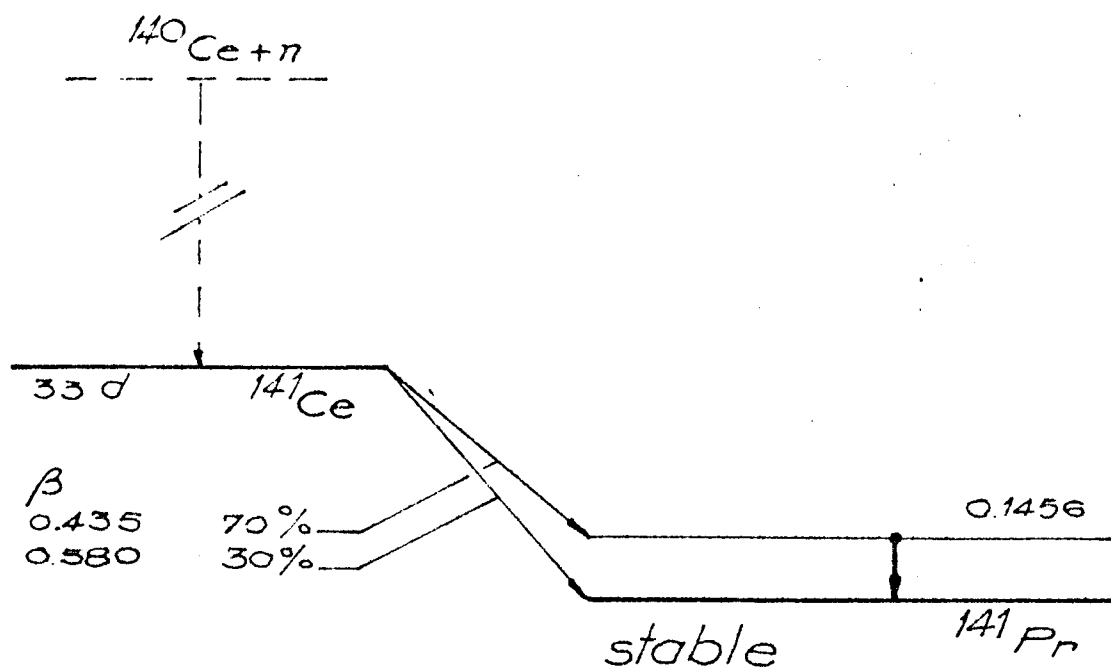


Fig. 5 - Esquema de desintegración del Ce^{141}

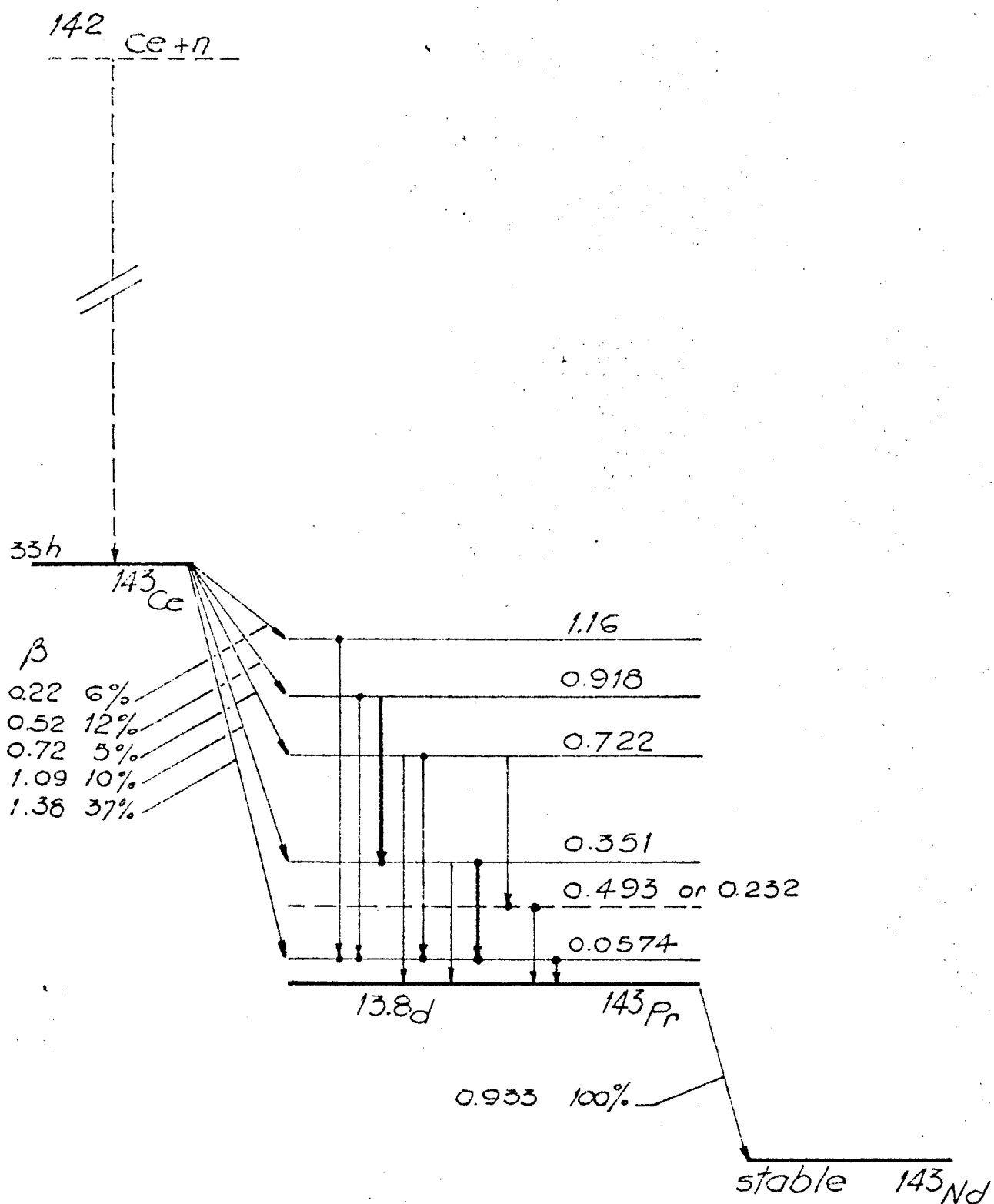


Fig. 6 - Esquema de desintegração do ^{143}Ce

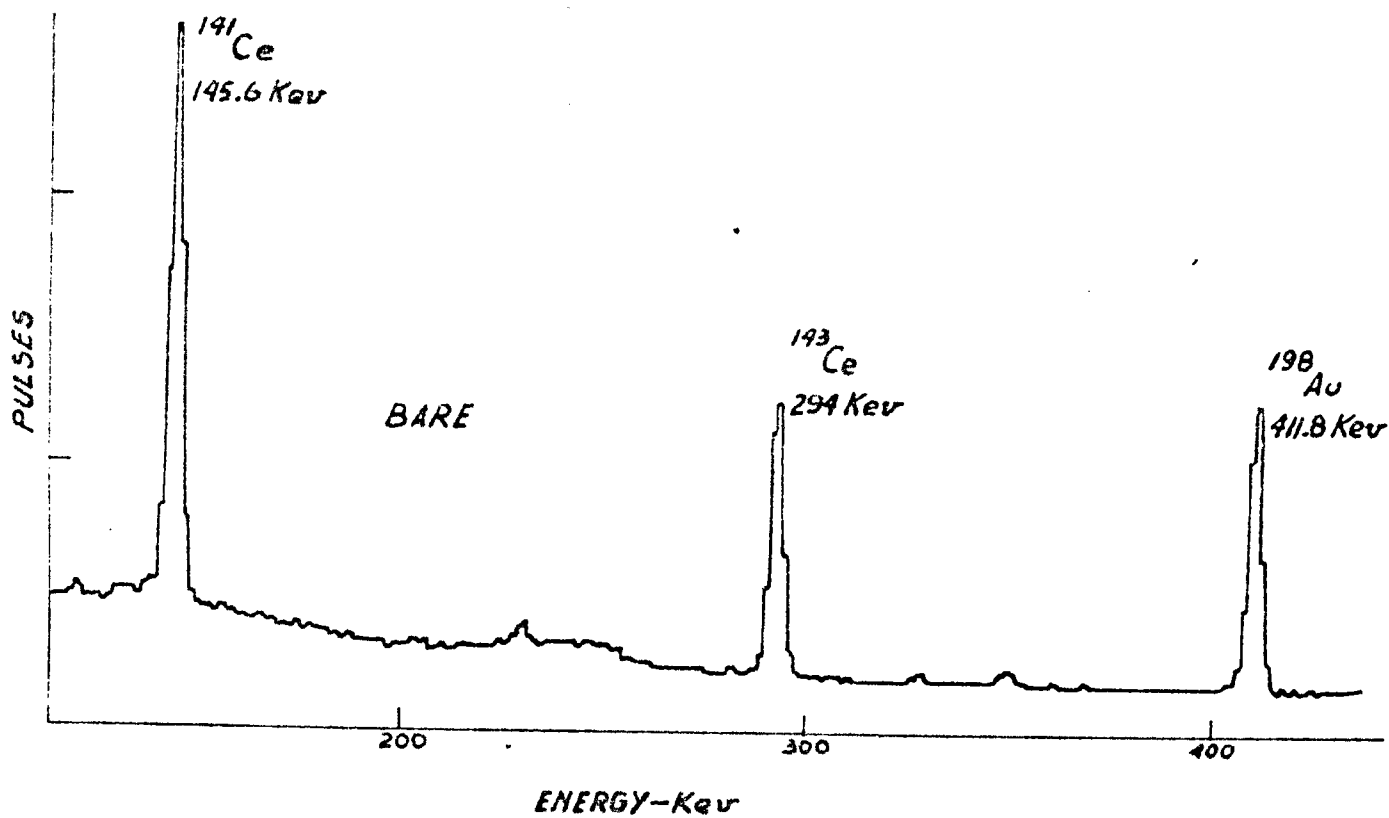
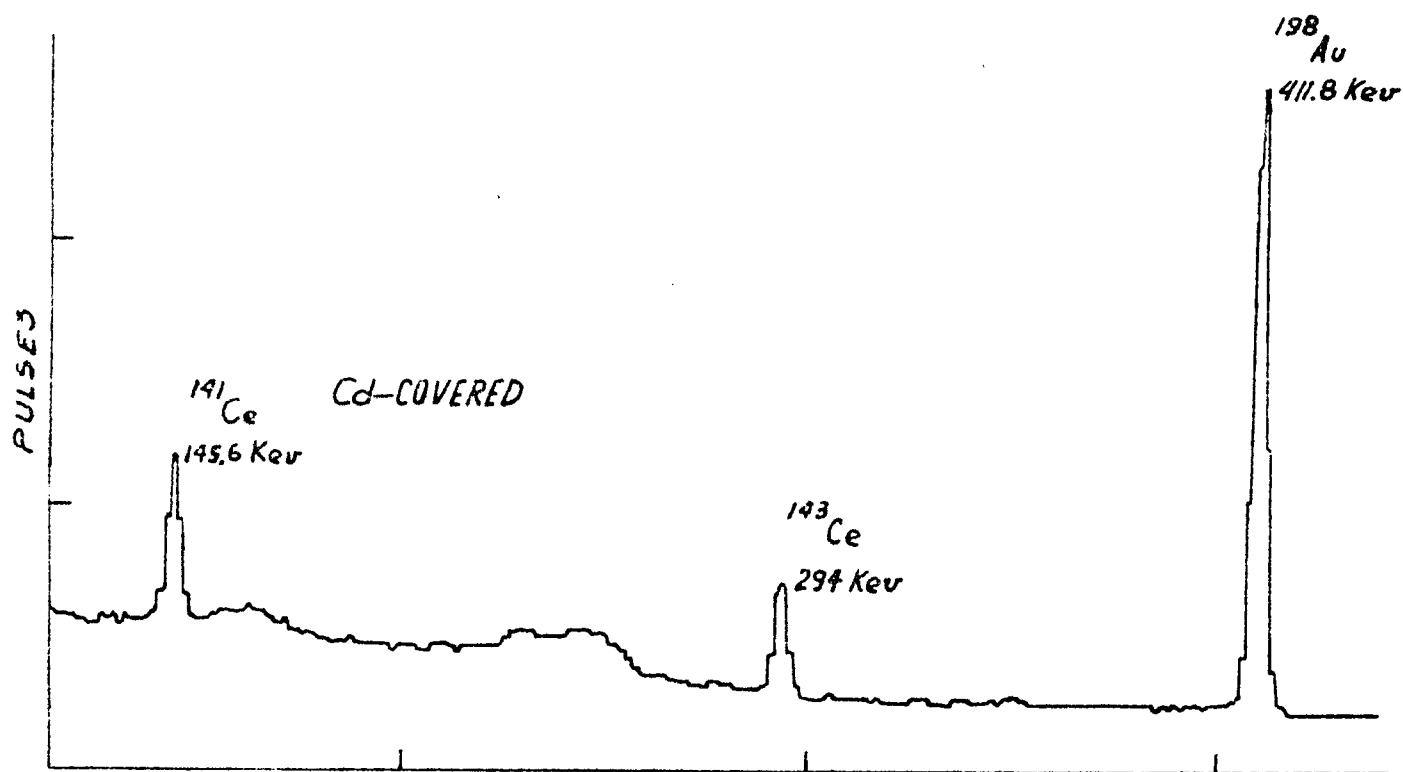


Fig. 7 - Espectro del Ce^{141} y Ce^{143}

BIBLIOGRAFIA

- 1) G. RICABARRA, D.B. de RICABARRA, R.F. de TURJANSKY, Medición Integrales de Resonancia de Activación- Informe Interno. Dpto. Reactores- Parte 1, 1967.-
- 2) J. EMERY , J. Inorganic Nucl. Chem., 27, 903, 1965.-
- 3) M.D. GOLDBERG et al. Brookhaven Natl. Lab. Rept. BNL-325, 2nd ed, Supp2 , 1966.-
- 4) A.M. WEINBERG y E. P. WIGNER. The Physical of Neutron Chain Reactores- University of Chicago Press, 1958.
- 5) L. DRESNER, Resonancia Absorption in Nuclear Reactors, Pergamon Press, New York, 1960.
- 6) R.L. MACKLIN and H.S. POMERANCE - Proc. 1st Int. Conf. of Peaceful Uses of Atomic Energy, 5, 96, 1955 .-
- 7) V.B. KLIMENTOV y V.M. GRIAEV - Soviet Atomic Energy, 3, 1387 , 1957 .-
- 8) R.B. TATTERSALL et al. S. Nucl. Energy 12 , 22, 1960 .-
- 9) M.N. NAMBOODIRI et al. J.Inorg. Nucl. Chem., 28, 1, 1966 .-
- 10) E.G. BILPUCH et al. Ann. Phys. 14, 3877, 1961 .-
- 11) M.L. SEGHAL, Phys. Rev. 128, 761, 1962 .-
- 12) S.K. MANGHAL y P.S.GILL. Nucl. Phys. 36, 542, 1962 .-
- 13) P.M. LANTZ et al. Nucl. Sc. Eng., 20, 302, 1964.-
- 14) C.H. WESTCOTT, AECL-1101, 1960.-
- 15) D.J. HUGHES Y R.O. SCHWARTZ.- BNL 325, 2nd ed, 1958 .-
- 17) E. AMALDI Encyclopedia of Physics- Vol 8 /2 . Editor S.Flugge (Springer-Verlag, Berlin).-