

# DECAIMIENTO POR EMISION DE NEUTRONES DE ESTADOS GIGANTES EXCITADOS VIA REACCIONES DE TRANSFERENCIA

C. P. Massolo\*, M. Rentería

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata, C.C. 67, 1900 La Plata

D. Beaumel, S. Fortier, S. Galés, J. Guillot, H. Langevin-Joliot, H. Laurent, J. M. Maison, J. Verotte.

Institut de Physique Nucléaire, Orsay, Francia

S. Brandenburg, J. Bordewijk, M. Hofstee, A. Kraznahorkay, S. Y. van der Werf, A. van der Woude  
Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, Baises Bajos

G.M. Crawley

National Superconducting Laboratory, Michigan State University, USA.

Presentamos aquí un experimento preliminar donde se estudia la reacción  $(\alpha, {}^3\text{He}n)$  sobre blancos de  ${}^{208}\text{Pb}$  y  ${}^{90}\text{Zr}$  a  $E_\alpha = 30$  MeV/n. Se investiga el decaimiento por neutrones de los estados de partícula independiente localizados entre 5 y 25 MeV de energía de excitación del  ${}^{209}\text{Pb}$  y  ${}^{91}\text{Zr}$ . Los  ${}^3\text{He}$  emergentes fueron detectados alrededor de  $0^\circ$  en el plano focal del espectrógrafo QDDM. Los neutrones en coincidencia fueron medidos entre  $55$  y  $168^\circ$  por medio de 16 centelladores líquidos del multidetector EDEN.

En los espectros inclusivos de reacciones de *stripping* de un nucleón sobre núcleos medianos y pesados se observan estructuras a alta energía de excitación inmersas en el continuo nuclear, de aspecto similar al de las resonancias gigantes. Estas estructuras han sido identificadas como estados de partícula independiente<sup>1-3</sup>. Las reacciones de *stripping* a alta energía incidente se caracterizan por su gran selectividad para la transferencia de altos momentos angulares y mostraron que los estados de partícula independiente se encuentran a alta energía de excitación, muy distorsionados comparados con un núcleo Hartree-Fock simple. Se encuentran desparramados sobre un amplio rango de energía, como montañas embebidas en el continuo.

Las predicciones teóricas, en el marco de modelos microscópicos<sup>4,5</sup>, concuerdan con la evidencia experimental<sup>2,3</sup>: un ensanchamiento de las estructuras se produce a medida que el número másico, para un dado núcleo, se aleja del cierre de la subcapa externa. En la Figura 1 se muestra este efecto en los isótopos del Sn donde se observa<sup>2</sup> el ensanchamiento de las estructuras entre  $A=125$  y  $A=113$  con un cierre de capa en  $N=82$  para los estados de partícula. El mecanismo que ensancha estos estados es atribuido teóricamente al acoplamiento de los modos de partícula independiente

con excitaciones colectivas tales como uno o dos fonones.

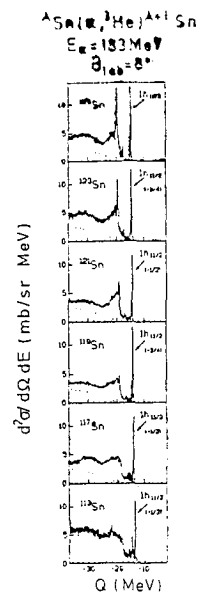


Figura 1: Espectro de energía  ${}^3\text{He}$  de la reacción  $(\alpha, {}^3\text{He})$  sobre blancos de  ${}^{124}, {}^{122}, {}^{120}, {}^{118}, {}^{116}, {}^{112}\text{Sn}$  a un ángulo de laboratorio de  $8^\circ$ . La línea de puntos indica la forma del fondo calculada con un modelo de *break-up* de onda plana normalizado a altas energías de excitación. Está indicada en cada espectro la componente principal del estado de partícula independiente  $1h_{11/2}$ . El pico alrededor de  $-22$  MeV de  $Q$  en el espectro del  ${}^{113}\text{Sn}$  proviene de impurezas de  ${}^{12}\text{C}$  y  ${}^{16}\text{O}$  presentes en el blanco.

\* Investigador del CONICET

Si bien hay un buen acuerdo cualitativo entre las predicciones teóricas y los resultados experimentales, los experimentos inclusivos no proveen información directa ni sobre la estructura microscópica ni sobre los procesos de ensanchamiento de los estados "gigantes". Más aún, el origen, intensidad y forma del continuo subyacente es poco conocido y las formas de las distribuciones angulares no son suficientemente características como para lograr una separación de los estados gigantes superpuestos. De ahí la necesidad de pasar a una nueva generación de experimentos: EXPERIMENTOS EXCLUSIVOS.

Los experimentos exclusivos, en los que los estados gigantes son detectados en coincidencia con el eyectil, reducen fuertemente el fondo y proveen información sobre el continuo subyacente. La extracción del ancho de escape (después de la sustracción de la componente de decaimiento estadístico) permite probar los modelos microscópicos y entender los mecanismos de ensanchamiento. La correlación angular aporta además información sobre el momento angular de los estados de partícula independiente.

Para núcleos mediano-pesados y pesados, las partículas de decaimiento a ser detectadas son esencialmente los neutrones. Con este propósito se realizó, en el marco de una colaboración IPN-Orsay con el KVI de Groningen, el sistema multi-detector EDEN (*Etude de DEcroissance par Neutron*). Se trata de un espectrómetro de tiempo de vuelo cuyos requerimientos principales son: buena eficiencia, buena resolución en energía y eficiente discriminación neutrón/gamma.

#### Características de Eden:

- Número de Detectores: 40
- Centelladores líquidos NE213
- Tamaño :  $\phi = 20$  cm,  $e = 5$  cm
- Longitud de tiempo de vuelo  $\approx 2$  m
- Eficiencia  $\approx 20$  %
- Angulo sólido total: 300 msr
- Eficiencia total: 0.5 %

Los neutrones emitidos en coincidencia con el eyectil, son detectados en las células de centelladores líquidos ubicadas en ángulos traseros (entre  $70^\circ$  y  $170^\circ$ ) de manera de evitar los neutrones de *break-up* que se enfocan hacia adelante. La mayoría de los detectores se ubican en el hemisferio opuesto al del ión de retroceso a fin de evitar la contribución de neutrones de *knock-out*, aunque

algunos detectores se ubican en el otro hemisferio de manera de contar con una medida de esta contribución. La medida de la energía se hace por tiempo de vuelo. Para permitir una resolución suficiente, los detectores son colocados a 1.8 metros del blanco. En estas condiciones, y con una resolución en tiempo del haz de 1 ns, la resolución en energía es de 300 keV para neutrones de 5 MeV y de 2MeV para neutrones de 20 MeV. La discriminación neutrón-gamma se hace por análisis de la forma de la señal, integrando separadamente las componentes rápida y lenta de las señales salidas del NE213.

Presentamos aquí un experimento preliminar donde se estudia la reacción  $(\alpha, {}^3\text{He}n)$  sobre blancos de  ${}^{208}\text{Pb}$  y  ${}^{90}\text{Zr}$ . Las partículas  $\alpha$  de 30 MeV/n fueron provistas por el ciclotrón K160 del KVI. Se investiga el decaimiento por neutrones de los estados de partícula independiente localizados entre 5 y 25 MeV de energía de excitación del  ${}^{209}\text{Pb}$  y  ${}^{91}\text{Zr}$ . Los  ${}^3\text{He}$  emergentes fueron detectados alrededor de  $0^\circ$  en el plano focal del espectrógrafo QDDM. Los neutrones en coincidencia medidos entre  $55$  y  $168^\circ$  por medio de 16 centelladores líquidos del sistema EDEN.

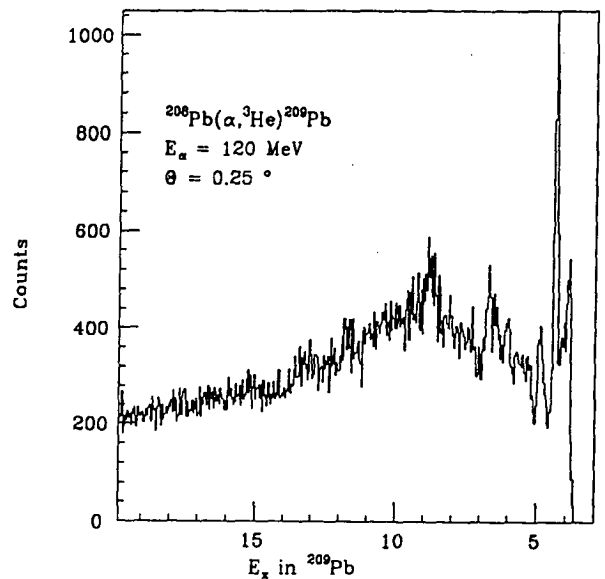


Figura 2a: En la figura 2a se muestra el espectro directo para el caso del blanco  ${}^{208}\text{Pb}$  a un ángulo de laboratorio de  $0.25^\circ$  y 120 MeV de energía incidente. El pico más intenso corresponde a la componente principal del estado de partícula independiente  $1j_{15/2}$  y muestra la selectividad de la reacción para la transferencia de altos momentos angulares.

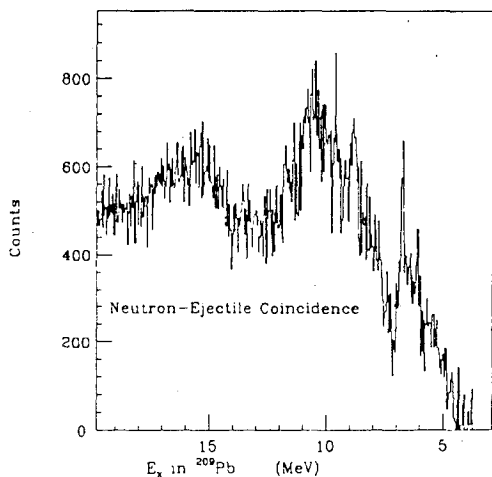


Figura 2b: La figura 2b muestra el espectro  $^3\text{He}$  en coincidencia con los neutrones de decaimiento para energías de excitación del  $^{209}\text{Pb}$  superiores a 5 MeV en condiciones de energía incidente y ángulo de entrada al espectrómetro idénticas a la Figura 2a.

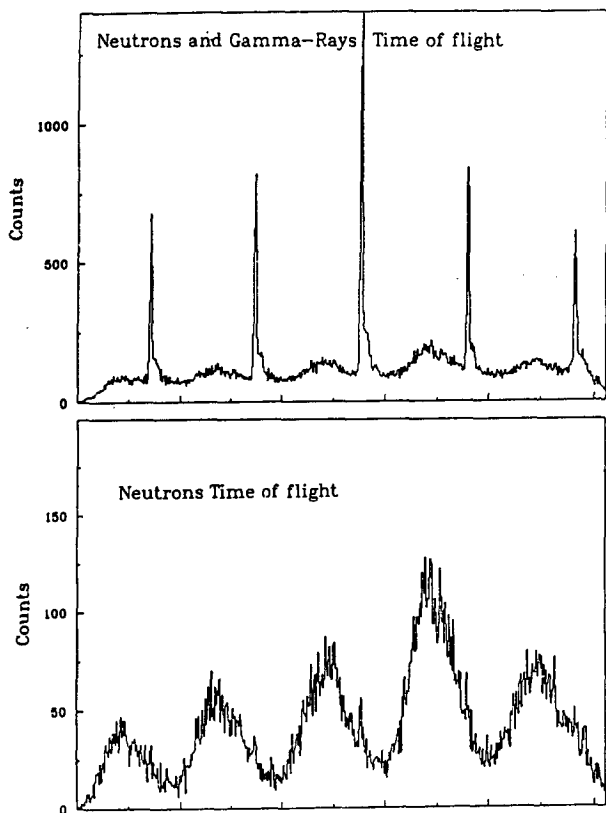


Figura 3: Espectro típico de tiempo de vuelo que muestra la relación verdaderas/fortuitas que se obtiene del experimento.

En la Figura 2a se muestra el espectro directo para el caso del blanco  $^{208}\text{Pb}$ . Se observa la estructura a 10.7 MeV de energía de excitación proveniente de la transferencia de un neutrón a las capas  $1k_{17/2}$ ,  $2h_{11/2}$  y  $1i_{13/2}$  (ver ref. 6) cuyo decaimiento se estudia. La figura 2b muestra el espectro en coincidencia con los neutrones de decaimiento. Es claramente visible que la técnica de detección en coincidencias reduce fuertemente el fondo de *break-up* proveniente de reacciones de tipo  $A + \alpha \rightarrow ^3\text{He} + n + A$  o  $A^*$ .

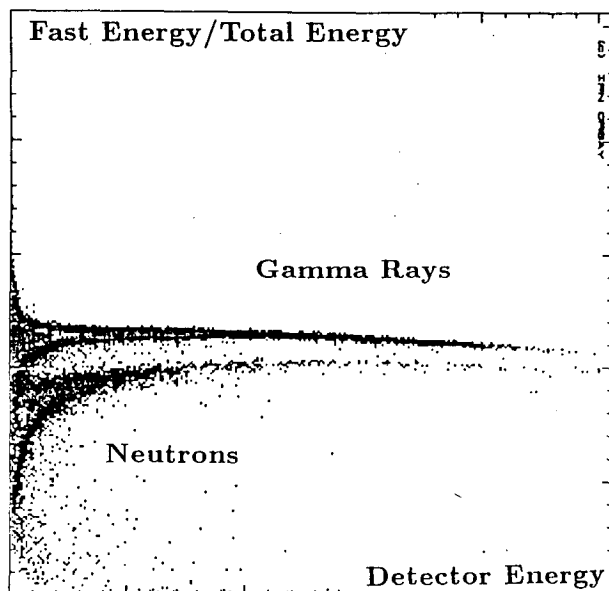


Figura 4: Espectro típico neutrón-gamma que presentan los detectores del sistema EDEN.

En la Figura 3 se muestra la relación verdaderas/fortuitas que se obtiene en la medida de tiempo de vuelo. La Figura 4 muestra la muy buena separación neutrón-gamma que presenta un detector típico del sistema EDEN.

Los resultados preliminares obtenidos en este experimento son:

BLANCO:  $^{208}\text{Pb}$

En la Figura 5 se muestra el espectro de energía final del  $^{208}\text{Pb}$ . Los estados excitados del  $^{209}\text{Pb}$  hasta 7.6 MeV decaen prácticamente por completo al estado fundamental  $0+$  del  $^{208}\text{Pb}$ . La primera estructura gigante, entre 7.6 y 12 MeV decae a estados excitados del  $^{208}\text{Pb}$ . La segunda estructura (entre 12 y 18 MeV) presenta un decaimiento de tipo estadístico sobre el cual se correlaciona un máximo definido correspondiente al estado de 10 MeV del  $^{208}\text{Pb}$ .

BLANCO:  $^{90}\text{Zr}$

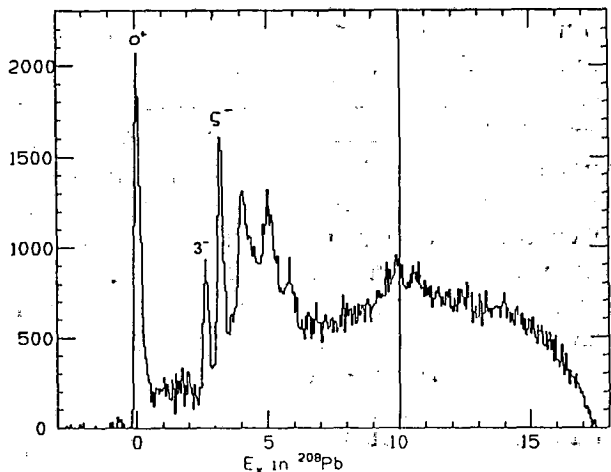


Figura 5: espectro de energía final del  $^{208}\text{Pb}$ .

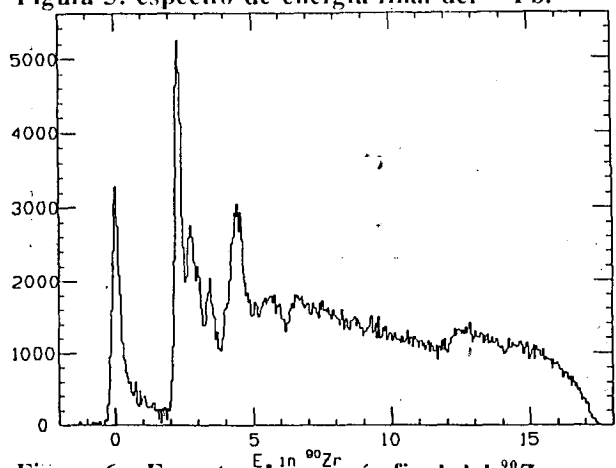


Figura 6: Espectro de energía final del  $^{90}\text{Zr}$ .

En la Figura 6 se muestra el espectro de energía final del  $^{90}\text{Zr}$ . Los estados entre 7.7 y 9.6 MeV del  $^{91}\text{Zr}$  decaen al estado fundamental del  $^{90}\text{Zr}$  (única vía energéticamente posible). Al aumentar la energía se observa el decaimiento a estados excitados del  $^{90}\text{Zr}$ . Pasados los 12 MeV, la vía de decaimiento al estado fundamental se "abre" nuevamente aunque con menor intensidad.

Entre 9.6 y 11.6 MeV de energía de excitación se observa el decaimiento al siguiente conjunto de estados del  $^{90}\text{Zr}$ : 2+ o 5+ a 2.2 MeV; 4- o 3- a 2.7 MeV; 4+ a 2.95 MeV, 6+ a 3.4 MeV.

Entre 11.6 y 13.5 MeV de energía de excitación en el  $^{91}\text{Zr}$ , decaen a: 2+ o 4+ a 4.3 MeV; 0+ o 3- a 4.4 MeV; 3- o 2+ o 5- o 6+ a 4.5 MeV.

El análisis de las distribuciones angulares está en curso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al cuerpo de ingenieros y técnicos del KVI por asegurar un buen funcionamiento del ciclotrón durante el experimento. Uno de nosotros (CPM) agradece el apoyo financiero de la Fundación Antorchas y del IPN-Orsay que permitió su participación en el experimento.

## REFERENCIAS

1. S. Galés, Ch. Stoyanov y A. I. Vdovin. Phys. Rep. 166, 125 (1988) y referencias incluidas.
2. C. P. Massolo, S. Fortier, S. Galés, F. Azaiez, E. Gerlic, J. Guillot, E. Hourani, H. Langevin-Joliot, J. M. Maison, J. P. Schapira y G. M. Crawley. Phys Rev C43, 1687 (1991).
3. J. Duffy, G.M. Crawley, J. van der Plicht, O. Sholten, J. Fink, R. S. Tickle, S. Galés y C. P. Massolo. Preprint NSCL-MSU 1991.
4. A. I. Vdovin and Ch. Stoyanov, preprint JINR, E4-85-352, Dubna, 1985.
5. A. I. Vdovin et al. preprint JINR, P4-86-196, Dubna, 1986.
6. C. P. Massolo, F. Azaiez, S. Galés, S. Fortier, E. Gerlic, J. Guillot, E. Hourani y J. M. Maison Phys. Rev. C35, 1314 (1986).