



Simulación del Arreglo Multidetector GammaspHERE con Geant4

Fernando Cristancho ^{a,b}, Martha Ferrer ^{a,c}

^aDepartamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

^bCentro Internacional de Física, Bogotá, Colombia

^cEscuela de Física, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

Recibido 23 de Oct. 2007; Aceptado 6 de Mar. 2009; Publicado en línea 30 de Abr. 2009

Resumen

Una simulación del arreglo de 110 detectores de Ge y 770 de BGO conocido como GAMMASPHERE es presentado. Una geometría esquemática y procesos físicos pertinentes a la espectroscopía nuclear son simulados para analizar procedimientos especialmente designados para el estudio del continuo nuclear.

Palabras Clave: espectroscopía gamma, continuo nuclear, alto espín, Geant4.

Abstract

The 110-Ge and 770-BGO detectors array GAMMASPHERE is simulated. A schematic geometry and the physical processes related to nuclear spectroscopy are included in order to analyze procedures especially designed to investigate the nuclear continuum.

Keywords: gamma spectroscopy, nuclear continuum, high spin, Geant4.

©2009. Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

El continuo nuclear ofrece uno de los más promisorios escenarios en los cuales nueva física puede ser investigada. A partir del análisis de propiedades tales como densidad de niveles o probabilidades de transición gamma, se pueden obtener conclusiones respecto a caos cuántico o respecto a la termodinámica de sistemas mesoscópicos. Sin embargo, el estudio experimental de esta región nuclear está plagada de dificultades que tienen que ver tanto con las actuales limitaciones técnicas como con la naturaleza misma del sistema a estudiar. Una de esas dificultades es la imposibilidad de identificar la región de energía de excitación y espín de las transiciones originadas en el continuo. El presente trabajo estudia, por medio de simulación numérica, la aplicación de un método experimental que intenta superar esta dificultad usando los detectores de BGO de alta eficiencia del arreglo GAMMASPHERE. La

Sec.2 expone una mezcla de fundamentos teóricos y experimentales, la Sec.3 la metodología en la captura de datos, la Sec.4 da cuenta de los análisis, los resultados y sus conclusiones.

2. Decaimiento de núcleos altamente excitados

El camino experimental más efectivo para la producción de núcleos a alta energía y alto espín es la reacción de fusión-evaporación, en la cual un núcleo proyectil choca con un núcleo blanco (Fig.1(a)) y por fisión forman el así llamado *núcleo compuesto* (Fig.1(b)) a muy alta energía de excitación y con un alto momento angular. En el proceso que nos interesa, el núcleo compuesto decae preferencialmente emitiendo partículas (Fig.1(c)) hasta alcanzar una región en la cual la energía de excitación es menor que la energía de ligadura de las partículas, conocida como *estados de entrada*. El decaimiento sucede entonces por emisión de

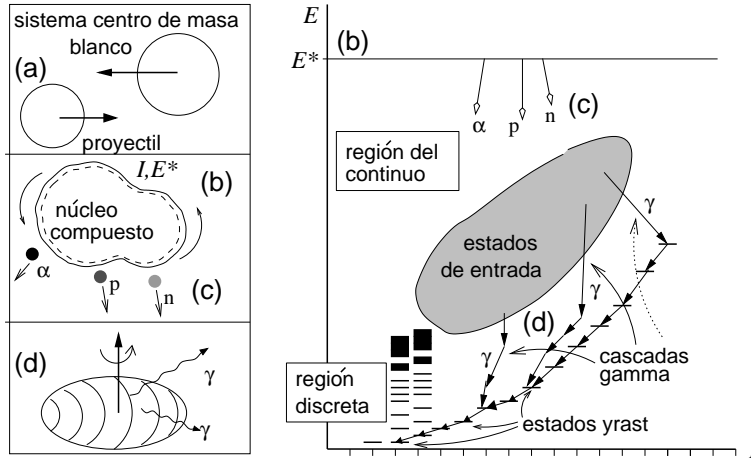


Figura 1. Reacción de fusión- evaporación: (a) En el centro de masa los núcleos blanco y proyectil colisionan. (b) La energía cinética y parte de la masa es convertida en energía de excitación y cinética de rotación del núcleo compuesto. (c) Emisión preferencial de partículas. (d) Emisión preferencial de rayos gamma mientras el núcleo residual rota.

rayos gamma(Fig.1(d)). La energía de excitación y el espín son suficientemente altos para que sea necesaria la emisión de cascadas (secuencias de rayos gamma) de alta multiplicidad M (= número de rayos en la cascada) para alcanzar el estado base. Un sistema multidetector como GAMMASPHERE[1], con 110 detectores de Ge y 770 de BGO, cubriendo cerca de 4π del ángulo sólido alrededor del emisor, permite recolectar casi todos los rayos gamma de cada cascada individual.

En otro lugar[2] hemos mostrado que si el punto (I, E) de una colección de cascadas es determinado dentro de márgenes no muy amplios de incertidumbre experimental, entonces es posible estudiar propiedades físicas del continuo nuclear. El presente trabajo apunta a la evaluación de la incertidumbre en la determinación de (I, E) usando los detectores de BGO del arreglo GAMMASPHERE[1].

3. Sistema de detección: técnica Hk

Si el sistema de detección fuera perfecto, es decir con eficiencia 100% y una alta granularidad, o sea un gran número de detectores, en tal caso el número de detectores, k , que una cascada activa, coincide con la multiplicidad de la cascada, y la suma de la energía depositada en cada detector, h_i coincide con la energía a la cual se originó la cascada,

$$k = M; \quad \sum_{i=1}^k h_i = H = E = \sum_{i=1}^k E_{\gamma_i}. \quad (1)$$

En un sistema real, varios efectos impiden el cumplimiento de las igualdades(1): (i)algunos rayos escapan del detector; (ii)el rayo deja parte de su

energía y escapa; (iii)dispersión detector-detector; (iv)apilamiento, (v)otro tipo de partículas son interpretadas como rayos γ . Los cinco anteriores puntos resumen la *función respuesta* $(M, E) \rightarrow (k, H)$, y muestran que ésta, además de ser específica de la geometría y materiales de cada arreglo, depende de manera altamente compleja de la interacción γ -materia. Lo importante es que existen métodos experimentales para determinarla[3], de tal manera que es posible obtener valores (M, E) de datos experimentales (k, H) . Resumiéndamente:

$$(M, E) \xrightleftharpoons[\text{deconvolución}]{\text{función respuesta}} (k, H). \quad (2)$$

El mencionado método experimental[3], así como métodos estrictamente basados en análisis probabilístico[4] son bastante elaborados y complejos, razón por la cual, en el intento de determinar la probabilidad de obtener una pareja (k, H) para una cascada (M, E) para el arreglo GAMMASPHERE, hemos usado el paquete de simulación Monte Carlo GEANT4[5], el cual nos permite mantener la vista sobre las diferentes partes del método experimental y del análisis de datos.

Análisis y conclusiones

El decaimiento gamma desde los estados de entrada puede ser separado en dos etapas (Ver Fig.1): (i)emisión inicial de unos pocos rayos gamma de alta energía (transiciones estadísticas); (ii)los núcleos deformados colectivamente decaen a continuación por transiciones cuadrupolares con cambio de espín $\Delta I = -2$ a lo largo

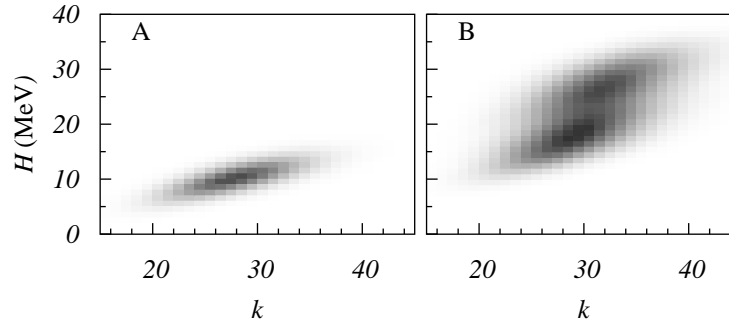


Figura 2. Número de cascadas que activan k detectores y depositan una energía H en el arreglo para cascadas tipo A: $(M, E) = (30, 24,0 \text{ MeV})$ y tipo B: $(M, E) = (30, 42,4 \text{ MeV})$. Puntos más oscuros representan número de cascadas más grandes.

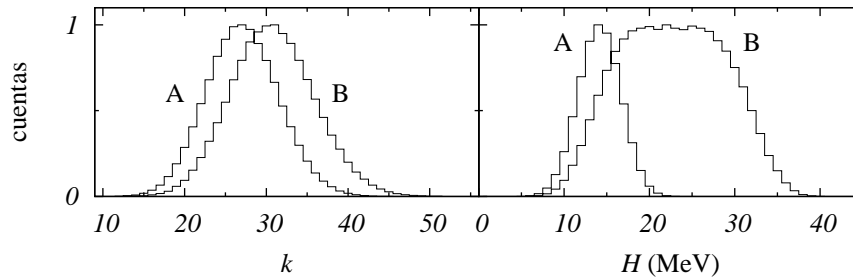


Figura 3. Proyecciones de las matrices representadas en la Fig.2 sobre los ejes k y H . La inclusión de 3 rayos estadísticos (histogramas B) produce un pequeño pero notorio corrimiento de la distribución en k respecto a solamente transiciones colectivas (histograma A). La distribución en H cambia drásticamente al convertirse de una angosta gaussiana en el caso A, en una ancha distribución superposición de dos gaussianas.

o paralelamente a la línea yrast (transiciones colectivas) emitiendo rayos γ cuya energía puede ser aproximada por la fórmula rotacional

$$E_{\gamma}(I) = \frac{\hbar^2}{2\mathcal{J}}(4I - 2), \quad (3)$$

con \mathcal{J} el momento de inercia del núcleo, para el cual tomamos valores típicos de la región de tierras raras. Usando estos dos elementos del decaimiento gamma, a continuación presentamos resultados de la detección de cascadas de dos tipos:

- A. Cascadas compuestas por $M = 30$ rayos gamma con energías dadas por la ec.(3), es decir cascadas hipotéticas desde el estado de espín $I = 60\hbar$ hasta el estado base. Para tales cascadas el punto estado de entrada es $(M, E) = (30, 24 \text{ MeV})$.
- B. Cascadas compuestas por las del caso anterior más 3 rayos gamma de $\{3, 5, 10\}$ MeV, los cuales simulan la parte estadística del decaimiento.

El efecto de la función respuesta $(M, E) \rightarrow (k, H)$ está mostrado en la Fig.2. Los 30 rayos gamma colectivos (caso A) son convertidos en una distribución elipsoidal con máximo en $(k, H) = (28, 10 \text{ MeV})$. La inclusión de 3 rayos estadísticos (caso B: $(M, E) = (33, 42,4 \text{ MeV})$) produce una distribución con dos máximos en el plano (k, H) , cuyos orígenes no son difíciles de proponer: El elipsoide a energía más baja

con máximo en $(k, H) = (29, 19 \text{ MeV})$ está formado por la superposición de la elipse del caso A y las contribuciones aleatorias de los 3 rayos γ estadísticos. La elipse de menor intensidad con máximo en $(k, H) = (31, 27 \text{ MeV})$ es formada por la del caso A y la detección simultánea de los tres rayos estadísticos pues podemos observar que el máximo se corre en $\Delta k \approx 3$, $\Delta H \approx 18 = 3 + 5 + 10 \text{ MeV}$ respecto al máximo en A. Las proyecciones en k y en H de la Fig.3 ratifican estas apreciaciones cuantitativas.

Las observaciones previas son importantes puesto que simulaciones de cascadas monoenergéticas[6], las cuales producen distribuciones elipsoidales con un sólo máximo pueden esconder los efectos más complejos de la superposición de decaimiento estadístico y colectivo llevando así a conclusiones erradas sobre el mecanismo de desexcitación. Simulaciones no esquemáticas, teniendo en cuenta los múltiples caminos de decaimiento gamma deberían producir distribuciones (k, H) realistas. Tal trabajo está en marcha.

Referencias

- [1] <http://www.phy.anl.gov/gammasphere/>
- [2] F. Cristancho, Heavy Ion Physics, **2**, 299 (1995).
- [3] M. Jäskeläinen *et al.*, Nucl. Inst. Meth., **204**, 385 (1983).
- [4] D. Sarantites *et al.*, Nucl. Inst. Meth., **171**, 503 (1980).

- [5] <http://geant4.web.cern.ch/geant4/> (1996).
- [6] M. Devlin *et al.*, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A, **383**, 506