

Detector BELEN para la medida de neutrones retardados por desintegración β

A. Riego, G. Cortes, R. Caballero-Folch, F. Calviño, C. Pretel, L. Batet, A. Torner
Universitat Politècnica de Catalunya, Institut de Tècniques Energètiques
Av. Diagonal, 647 ETSEIB pabellón C 08028 Barcelona
Tel: 934017456
Email: guillem.cortes@upc.edu

Resumen – El experimento DESPEC (DEcay SPECTroscopy) tiene entre sus objetivos el estudio de la emisión de neutrones retardados por desintegración beta. Se ha diseñado, construido y puesto a prueba un prototipo de un detector de neutrones de geometría 4π de alta eficiencia para el experimento DESPEC, empleando 48 contadores proporcionales de ^3He a 8 atm y 10 atm. Para realizar dicho estudio se han utilizado técnicas de Monte Carlo, empleando el código de simulación MCNPX 2.5c. Las simulaciones realizadas han aportado información sobre las dimensiones óptimas de dicho detector y otras características importantes para su construcción.

1. INTRODUCCIÓN

El experimento DESPEC para FAIR (Facility for Antiproton Ion Research) permitirá obtener medidas de espectroscopia de alta resolución y alta eficiencia con haces de iones radiactivos. El objetivo del experimento consiste en obtener datos para mejorar el conocimiento de ciertas propiedades de núcleos radiactivos lejos de la estabilidad en relación con la estructura nuclear, la astrofísica, y reacciones nucleares para la tecnología nuclear. El experimento DESPEC es modular e integra diversos dispositivos y detectores para estudiar diversos aspectos en relación con la espectroscopia de desintegración. Los haces de iones radiactivos se implantan en un detector de silicio (Double Sided Silicon Stripped Detector- DSSSD) llamado AIDA (Advanced Implantation Detector Array) donde se mide la desintegración beta. Alrededor de dicho detector se sitúan otros dispositivos para realizar medidas complementarias, como detectores de neutrones o detectores de radiación gamma. El dispositivo descrito en este trabajo consiste en un detector de neutrones de geometría 4π llamado detector BELEN (Beta deLayed Neutron detector) que se encarga de medir la probabilidad de la emisión retardada de neutrones por emisión beta. La emisión retardada de neutrones se produce cuando un núcleo precursor radiactivo emisor beta se desintegra y el núcleo descendiente resultante emite un neutrón.

El estudio de la probabilidad de emisión retardada de neutrones, P_n , es de interés en el estudio de la estructura nuclear, astrofísica nuclear y aplicaciones de tecnología nuclear. El interés tecnológico de este tipo de estudios está relacionado con la generación de energía nuclear. En la fisión nuclear, la emisión de neutrones retardada por emisión beta juega un papel importante en el control de las reacciones de fisión. La investigación de dichos núcleos es fundamental para un diseño de reactores nucleares más seguros y eficientes. A pesar del gran interés por estos datos, y la gran cantidad de datos disponibles, la calidad y precisión de esta información no es suficiente para las aplicaciones actuales. Esto implica la necesidad de realizar nuevas medidas más precisas. El detector BELEN contribuirá a alcanzar dichos objetivos integrado en FAIR.



2. DETECTOR DE NEUTRONES

El detector propuesto para el experimento DESPEC está constituido por un bloque de polietileno de 90x90x80 cm³ y tres anillos concéntricos (1-interior, 2-central y 3-exterior) en los que se insertan 48 detectores de neutrones de ³He de 60 cm de longitud a una presión de 10 atm (10 detectores) y 8 atm (38 detectores). El bloque dispone de un orificio central de 16 cm de diámetro que atraviesa todo el bloque entre las dos caras de 90x90 cm². Dicho orificio se utiliza para implantar los haces de iones radiactivos en el detector de silicio ubicado en el centro del bloque de polietileno. En la figura 1 se puede observar una fotografía del detector durante el proceso de calibración y en la figura 2 la configuración del detector.

El orificio central permite la entrada del haz de iones de los isótopos a analizar, que al impactar en el blanco ubicado en el centro del detector, se implantarán en un blanco especialmente diseñado. Una vez implantados en el blanco, el dispositivo será capaz de detectar los neutrones retardados emitidos por las desintegraciones beta de dichos isótopos.

Cada anillo de contadores proporcionales tiene las siguientes características:

- Anillo 1: Dispone de 10 detectores de neutrones de ³He (la presión del gas es de 10 atm), distribuidos uniformemente en toda la circunferencia concéntrica con el eje que pasa por el centro del bloque, con un radio de 22 cm.
- Anillo 2: Dispone de 12 detectores de neutrones de ³He (la presión del gas es de 8 atm), distribuidos uniformemente en toda la circunferencia concéntrica con el eje que pasa por el centro del bloque, con un radio de 34 cm.
- Anillo 3: Dispone de 26 detectores de neutrones de ³He (la presión del gas es de 8 atm), distribuidos uniformemente en toda la circunferencia concéntrica con el eje que pasa por el centro del bloque, con un radio de 42 cm. Se trata del anillo más externo.



Figura 1. *Detector BELEN durante la calibración en el PTB (“The National Metrology Institute of Germany”). Se puede observar la matriz de polietileno y el cableado de los detectores de neutrones*

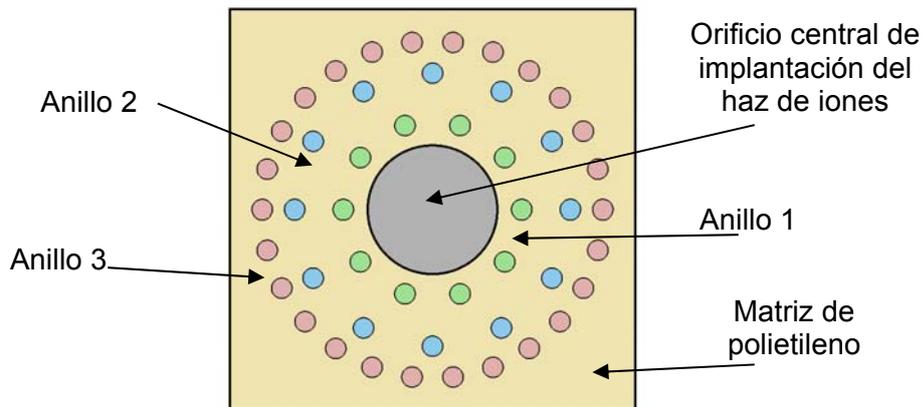


Figura 2. Esquema de la vista frontal del detector BELEN

3. MÉTODO

Para llevar a cabo la caracterización del detector de neutrones se ha realizado un estudio mediante simulación Monte Carlo del transporte de los neutrones en todos los elementos que forman el detector. Las simulaciones Monte Carlo se han realizado empleando el código MCNPX 2.5.0c, que se encuentra instalado en un clúster de PCs de la Sección de Ingeniería Nuclear de la UPC.

Para realizar las simulaciones se ha reproducido la geometría del detector introduciendo algunas simplificaciones. En primer lugar, los detectores de ^3He se han simplificado representando únicamente el volumen de detección como cilindros de 60 cm de longitud y 2,5 cm de diámetro interno, con paredes de acero inoxidable de 0,05 cm de espesor, llenos de ^3He con una densidad correspondiente a la presión de 8 atm y 10 atm.

El detector de neutrones dispone en la parte central de un blanco sobre el que al impactar el haz de isótopos radiactivos y ser implantados, cuando sufran una desintegración beta emitirán los neutrones retardados que deseamos detectar. Esto significa que, en lo que respecta a la simulación, disponemos en el centro del bloque de polietileno de una fuente puntual de neutrones con energías que van desde 10^{-4} MeV hasta 2 MeV. Las magnitudes estudiadas con las simulaciones MC son la eficiencia de detección de neutrones para cada anillo y la eficiencia de detección para todo el dispositivo.

4. RESULTADOS

3.1. Eficiencia del detector

En la figura 3 se ha representado la eficiencia total del detector y la eficiencia total de cada anillo. Esta eficiencia cuantifica la relación entre los neutrones absorbidos dividido entre el número de neutrones emitidos por la fuente. La eficiencia total de los anillos 2 y 3 tiene un máximo entre 0,1 MeV y 2 MeV, en cambio la eficiencia total del anillo 1 tiene un máximo para energías del orden de 0,1 eV. De esta forma la eficiencia total del detector será más o menos constante entre un rango de energías entre 0,1 MeV y 2 MeV con un valor que varía entre 43 % y 46 %.

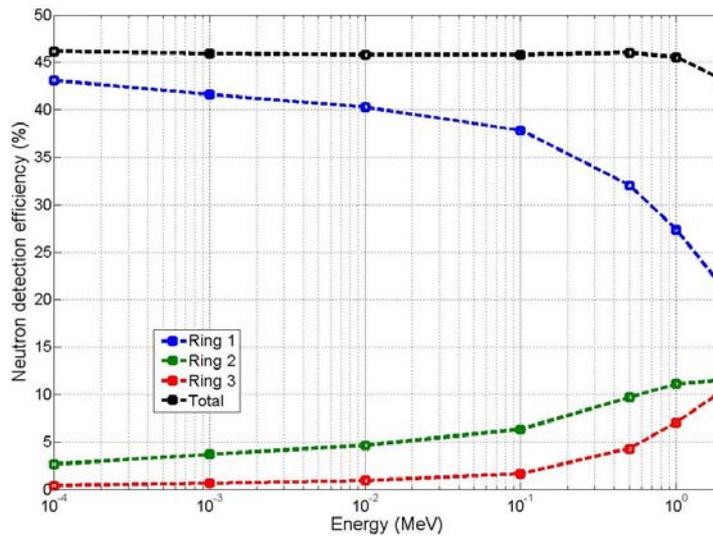


Figura 3. Eficiencia de detección total para cada anillo de contadores (Ring 1, 2 y 3) y eficiencia total del detector

4. CONCLUSIONES

Se ha determinado, mediante simulación Monte Carlo, la eficiencia de detección de un detector de neutrones con geometría 4π para el proyecto DESPEC. La eficiencia obtenida para un rango de energías de los neutrones entre 0,1 eV y 2 MeV varía entre un 43% y un 46%. Cabe destacar la planaridad de la eficiencia para dicho rango de energías.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la financiación del proyecto del Plan Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad, FPA2011-28770-C03-03.