



Niskotłowy cyfrowy spektrometr promieniowania gamma

Low-level, digital gamma-rays spectrometer

Krzysztof Gorzkiewicz, Jerzy Wojciech Mietelski, Renata Kierepko

Zakład Fizykochemii Jądrowej, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, ul. Radzikowskiego 152, Kraków, tel. +48 12 662 83 93, e-mail: krzysztof.gorzkiwicz@ifj.edu.pl

Wprowadzenie

Spektrometria promieniowania gamma jest jedną z najbardziej wszechstronnych, a co za tym idzie – najczęściej wykorzystywanych metod w spektrometrii promieniowania jądrowego. Znajduje zastosowanie w pomiarach izotopów gamma-promieniotwórczych obecnych zarówno w materiałach wysokoaktywnych, jak również w próbkach pochodzenia naturalnego zawierających jedynie śladowe stężenia aktywności izotopów promieniotwórczych [1, 2]. W tym drugim przypadku, niezbędnym jest osiągnięcie odpowiednio niskich limitów detekcji, umożliwiających wyznaczenie stężeń aktywności izotopów obecnych w badanych próbkach. Cel ten można osiągnąć poprzez zastosowanie wysokorozdzielczych detektorów germanowych, specjalnie

zaprojektowanych osłon pasywnych oraz aktywnych systemów antykoincydencyjnych [3]. Ponadto rozwój elektroniki i systemów cyfrowego przetwarzania sygnałów daje możliwość zastąpienia wielu elementów tworzących tor spektrometryczny (takich jak wzmacniacze, konwertery analogowo-cyfrowe, jednostki logiczne) wielofunkcyjnym, kompaktowym, cyfrowym analizatorem rejestrującym czas przyjscia, energię oraz kształt impulsów dla kilku detektorów jednocześnie [4].

W publikacji przedstawiono konstrukcję niskotłowego spektrometru promieniowania gamma z osłoną aktywną i cyfrową akwizycją danych. Spektrometr znajduje się od 2018 roku na wyposażeniu Zakładu Fizykochemii Jądrowej w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie.

34 →

Streszczenie

W artykule przedstawiono konstrukcję niskotłowego cyfrowego spektrometru promieniowania gamma wyposażonego w detektor germanowy BEGe (Broad Energy Germanium), wielowarstwową osłonę bierną oraz pięć detektorów scyntylacyjnych pełniących rolę dodatkowej, aktywnej osłony spektrometru. Akwizycja danych odbywa się za pomocą cyfrowego analizatora (digitizera) CAEN DT5725, natomiast ich analiza wykonywana jest przy użyciu autorskiego oprogramowania VETO. Przeprowadzone testy oraz wykonana optymalizacja parametrów pracy spektrometru, a przede wszystkim jego aktywnej osłony, pozwoliła na redukcję tła spektrometru o 63% w całym zakresie energetycznym oraz o 65% w pikie anihilacyjnym 511 keV. Dzięki temu, osiągnięto poprawę limitów detekcji dla wybranych izotopów promieniotwórczych – ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{40}K o prawie 40%.

Słowa kluczowe: niskotłowa cyfrowa spektrometria promieniowania gamma, detektor BEGe, scyntylatory plastikowe, system aktywnej osłony antymionowej

The article presents design of a low-level digital gamma-ray spectrometer equipped with a germanium BEGe detector (Broad Energy Germanium), a multi-layer passive shield and five scintillation detectors playing a role of the additional, active shield. Data acquisition is carried out using a digital analyzer (digitizer) CAEN DT5725, while its analysis is performed using purposely written software VETO. As a result of conducted tests and tuning of spectrometer operating parameters (and its active shield in particular) the mean background counts rate reduction of 63% in the whole spectrum and 65% in 511 keV annihilation peak were achieved. In consequence, the detection limits have been improved by almost 40% on average for selected radioactive isotopes – ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{40}K .

Key words: low-level digital gamma-ray spectrometry, BEGe detector, plastic scintillators, cosmic muons veto system

Abstract

otrzymano / received:

26.11.2019

poprawiono / corrected:

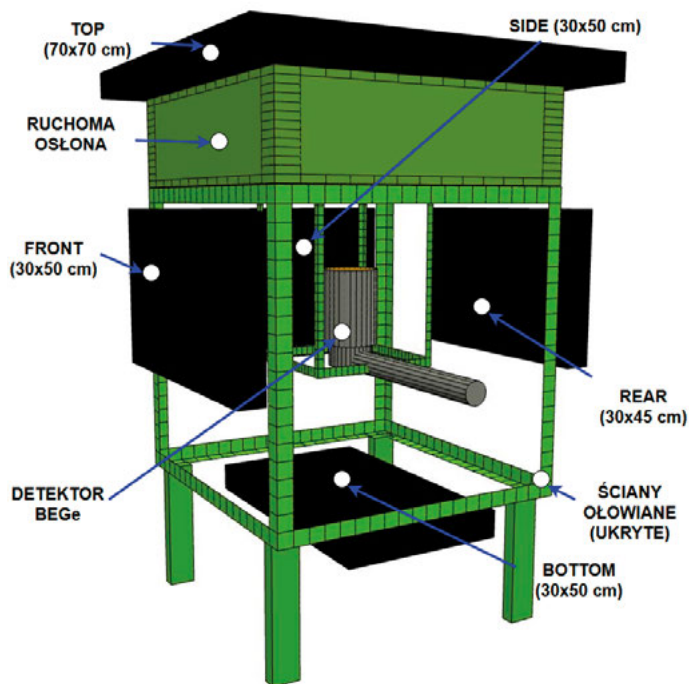
03.12.2019

zaakceptowano / accepted:

20.12.2019

Aparatura

Zasadniczym elementem tworzącym opisywany spektrometr jest detektor germanowy typu BEGe (Broad Energy Germanium) BE5030, wyprodukowany przez firmę CANBERRA (wydajność względna $\geq 48\%$, gwarantowana zdolność rozdzielcza 2,0 keV dla energii 1332 keV). Otoczony jest on wielowarstwową osłoną pasywną składającą się z bloków parafiny, warstw cegiel



Rys. 1 Schemat niskotłowego, cyfrowego spektrometru promieniowania gamma (znajdującego się w IFJ PAN) przedstawiający względne usytuowanie detektora BEGe i detektorów scyntylacyjnych. Dla przejrzystości rysunku nie uwzględniono części osłony pasywnej
 Źródło: Na podstawie: Gorzkiewicz, K., Mietelski, J.W., Kierepko, R. et al. *J Radioanal Nucl Chem* (2019) 322: 1311. <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06853-7>.



Fot. 1 Widok ogólny spektrometru promieniowania gamma w IFJ PAN
 Źródło: własne.

ołowianych (zarówno z wytopu współczesnego, jak i z wytopu sprzed ponad 2500 lat), kadmu, miedzi elektrolitycznej oraz organicznego szkła akrylowego [5]. W celu redukcji sygnałów generowanych przez izotopy pochodzące z rozpadu naturalnie występującego w środowisku radonu (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb), do komory wewnętrznej spektrometru wprowadzane są pary ciekłego azotu wypierające znajdujące się w niej powietrze.

Dodatkową osłoną aktywną spektrometru stanowi pięć prostopadłościennych, plastikowych detektorów scyntylacyjnych o grubości 5 cm (model EJ-200 firmy Scionix), rejestrujących miony – cząstki wtórne promieniowania kosmicznego. Detektory te pracują całkowicie niezależnie od detektora BEGe, a następnie w trybie off-line realizowana jest wybrana funkcja logiczna dla generowanych sygnałów, najczęściej tryb antykoincydencji. Wówczas, w przypadku jednoczesnej rejestracji impulsów przez detektor germanowy oraz którykolwiek ze scyntylatorów, sygnał z tego pierwszego jest odrzucany. System taki pozwala na redukcję tła spektrometru spowodowaną oddziaływaniem promieniowania kosmicznego z osłoną bierną spektrometru i samym detektorem germanowym [6, 3]. Względne usytuowanie wszystkich detektorów przedstawia rysunek 1. Dwa detektory – TOP i BOTTOM umiejscowione są horyzontalnie, natomiast pozostałe – FRONT, REAR i SIDE – wertykalnie. Fotografia 1 przedstawia ogólny widok spektrometru – widoczne są bloki parafiny (osłonięte blachą) oraz scyntylator TOP (czarny).

Akwizycja danych pomiarowych odbywa się za pomocą ośmiowieściowego, cyfrowego analizatora (digitizera) CAEN DT5725 rejestrującego dane z rozdzielczością czasową 4 ns. Pliki wynikowe zawierające informacje o energii i czasie rejestracji promieniowania, są generowane dla każdego detektora osobno (możliwa jest również rejestracja kształtu impulsów) [7]. Sygnały generowane przez przedwzmacniacze detektorów są przetwarzane przez analizator za pomocą algorytmów opartych o filtry cyfrowe: czasowy (*timing and trigger filter*) – wyznaczający czas rejestracji impulsu oraz trapezowy (*trapezoidal filter*), który z kolei determinuje wysokość impulsu, proporcjonalną do energii zdeponowanej w detektorze [7, 8, 9]. Cyfrowy system akwizycji danych, pomimo wielu zalet w porównaniu z analogowymi torami spektrometrycznymi, posiada również wady, takie jak duża ilość danych generowana podczas pomiarów (rzędu dziesiątek gigabajtów) oraz liczba parametrów (ponad 50), których wartości muszą zostać ustalone i zoptymalizowane przed rozpoczęciem pomiarów próbek o nieznannej aktywności.

Dane generowane podczas eksperymentów analizowane są off-line za pomocą autorskiego oprogramowania VETO wyposażonego w graficzny interfejs użytkownika. Program ten składa się z dwóch części – podstawowej (BASIC) i zaawansowanej (ADVANCED). Pierwsza z nich umożliwia szybkie i intuicyjne przygotowanie widm antykoincydencyjnych (tzw. veto) detektora germanowego, natomiast druga służy przeprowadzeniu bardziej zaawansowanych analiz polegających m.in. na wyznaczaniu opóźnień między detektorami, badaniu koincydencji między dowolnie wybranymi kanałami analizatora (dzięki zastosowaniu odpowiednich filtrów logicznych) oraz tworzeniu widm sekwencyjnych.

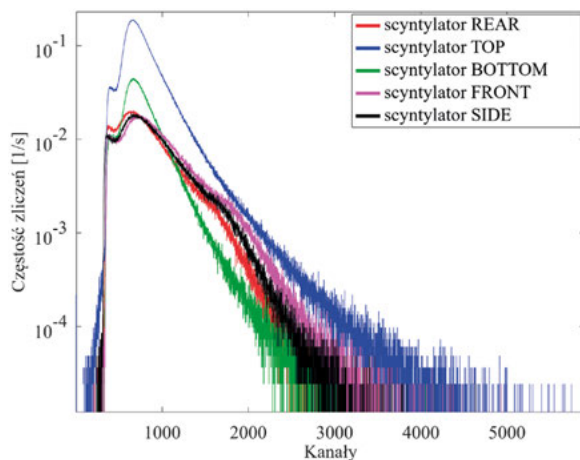


Wyniki

Widma detektorów scyntylacyjnych

Po przeprowadzeniu niezbędnych procesów konfiguracji i optymalizacji parametrów pracy spektrometru, przystąpiono do analiz widm generowanych przez detektory tworzące układ detekcyjny spektrometru.

Rysunek 2 przedstawia widma detektorów scyntylacyjnych. Dwie najwyższe krzywe odpowiadają scyntylatorom usytuowanym poziomo (TOP i BOTTOM), natomiast trzy niższe scyntylatorom pionowym (REAR, SIDE i FRONT). Różnica w liczbie cząstek rejestrowanych przez detektory usytuowane pionowo w porównaniu z tymi zlokalizowanymi poziomo wynika z faktu, iż rozkład kątowny intensywności promieniowania kosmicznego docierającego do powierzchni Ziemi jest proporcjonalny do $\cos^2\theta$, gdzie θ to kąt zenitalny [10]. Ponadto powierzchnia czynna detektorów, widziana z głównego kierunku padania mionów (pionowy), jest znacznie mniejsza dla detektorów pionowych. Niemniej jednak takie usytuowanie pozwala na depozycję przez cząstki większej energii w detektorze (przebywają w nim dłuższą drogę), co manifestowane jest obecnością niewielkiego pików dla wyższych energii [11].

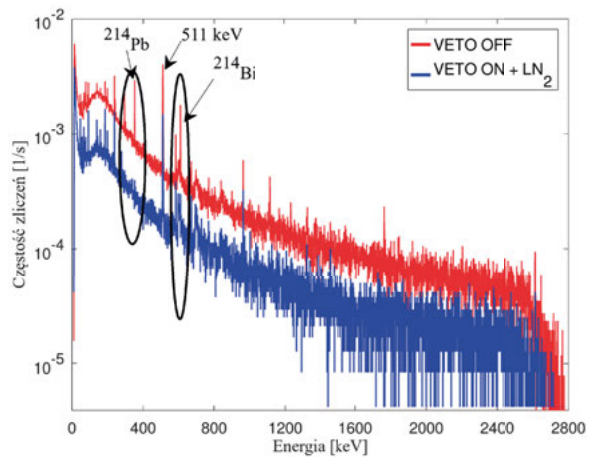


Rys. 2 Widma detektorów scyntylacyjnych wykorzystywanych jako osłona aktywna niskotłowego cyfrowego spektrometru promieniowania gamma. Dwie najwyższe krzywe odpowiadają scyntylatorom umiejscowionym horyzontalnie, natomiast pozostałe, niższe, scyntylatorom usytuowanym wertykalnie

Źródło: Na podstawie: Gorzkiewicz K., Mielęski J.W., Kierepko R. et al., *J Radioanal Nucl Chem* (2019) 322: 1311. <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06853-7>

Widmo detektora germanowego

Niskotłowy spektrometr promieniowania gamma w IFJ PAN przeznaczony jest do pomiarów śladowych ilości izotopów promieniotwórczych. Fakt ten sprawia, że redukcja tła jest najważniejszym celem podczas konfiguracji urządzenia, osiąganym poprzez zastosowanie wielowarstwowych osłon biernych oraz systemów antykoincydencyjnych. Rysunek 3 przedstawia widmo promieniowania γ przed (VETO OFF) i po (VETO ON + LN_2) zastosowaniu osłony aktywnej i doprowadzeniu do



Rys. 3 Widma detektora BEGe BE5030 przed i po zastosowaniu systemów redukcji tła spektrometru zainstalowanego w IFJ PAN. Uzyskano ponad 2,7-krotną redukcję liczby zliczeń tła w całym widmie, a linia 511 keV została zredukowana o 65%. Powierzchnie pików pochodzących z rozpadów izotopów pochodnych radonu zostały zmniejszone o ok. 90% (czarne elipsy)

Źródło: Na podstawie: Gorzkiewicz K., Mielęski J.W., Kierepko R. et al., *J Radioanal Nucl Chem* (2019) 322: 1311. <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06853-7>.

komory spektrometru par ciekłego azotu. Analizy wykazały ponad 2,7-krotną redukcję liczby zliczeń tła (z 1,32 do 0,49 zliczeń/s) w całym zakresie energetycznym, natomiast powierzchnia pików anihilacyjnego 511 keV została zmniejszona o 65%. Piki pochodzące od oddziaływań promieniowania kosmicznego

reklama

KOSS

Aparaty RTG
analogowe
cyfrowe

TELERADIOLOGIA
już od 9,00 zł za badanie

Radiografia cyfrowa
DR i CR

RENTGEN-SERWIS
Zygmunt Koss Rafał Koss
ul. Kasjopei 8 • 80-299 Gdańsk
tel. 58 511 09 03 • tel. kom. 603 270 482
e-mail: rentgenserwis@gmail.com
www.koss.net.pl



z materiałami występującymi w konstrukcji spektrometru (Ge, Pb, Cu) zredukowano od 22,8% do 47,3%. Ponadto uzyskano bardzo wydajną, bo ok. 90%, redukcję linii pochodzących z rozpadów izotopów pochodnych radonu – ^{214}Pb i ^{214}Bi (czarne elipsy). Ostatecznie, wyznaczone limity detekcji dla izotopów ^{210}Pb , ^{137}Cs i ^{40}K zostały poprawione średnio o 37,3%.

Pod względem redukcji liczby zliczeń tła detektora germanowego, najistotniejszą rolę pełnią scyntylatory TOP i BOTTOM, gdyż odpowiadają odpowiednio za 49,6% i 15,0% redukcji tła. Detektory usytuowane pionowo są ok. 10 razy mniej wydajne niż detektor TOP, co jest manifestacją rozkładu kąтового intensywności strumienia mionów promieniowania kosmicznego.

Wnioski

Opisany niskotłowy spektrometr promieniowania gamma przeznaczony jest przede wszystkim do badań śladowej radioaktywności. Jego konstrukcja oparta jest o detektor germanowy BEGe, wielowarstwową osłonę pasywną i aktywną osłonę antykoincydencyjną, składającą się z pięciu detektorów scyntylacyjnych. Akwizycja danych przeprowadzana jest za pomocą

digitizera CAEN DT5725, natomiast ich analiza wykonywana jest z użyciem autorskiego programu VETO.

Zastosowane techniki redukcji tła spektrometru, zarówno pasywne, jak i aktywne, pozwoliły zmniejszyć liczbę zliczeń tła o ponad 63% i poprawić limity detekcji dla izotopów ^{210}Pb , ^{137}Cs i ^{40}K średnio o prawie 40%.

Uniwersalność opisywanego urządzenia przejawia się tym, iż dzięki zbieraniu wszystkich danych pomiarowych i ich późniejszej analizie (off-line) możliwe jest wielokrotne wykorzystanie tych danych w eksperymentach dotyczących różnych zagadnień (poza pomiarami niskich aktywności promieniowania gamma), takich jak np. ciągłe, długookresowe monitorowanie fluktuacji strumienia mionów promieniowania kosmicznego.

Literatura

1. D.K. Haines, T.M. Semkow, A.J. Khan, T.J. Hoffman, S.T. Meyer, S.E. Beach: *Muon and neutron-induced background in gamma-ray spectrometry*, Nucl Instrum Methods, 652(1), 2011, 326-329.
2. G. Gilmore, J.D. Hemingway: *Practical gamma-ray spectrometry*, John Wiley&Sons, Chichester 1995.
3. S. Hurtado, M. García-León, R. García-Tenorio: *Optimized background reduction in low-level gamma-ray spectrometry at a surface laboratory*, Appl Radiat Isotopes, 64(9), 2006, 1006-1012.
4. UM5960 – CoMPASS User Manual (2019) CAEN, dostęp: 10.05.2019.
5. J.W. Mietelski, Z. Hajduk, L. Hajduk, J. Jurkowski: *Background effects observed with a low-level gamma-spectrometer with muon veto detector*, Conference & Symposium Papers 26/P, [in:] *International Conference on Isotopes in Environmental Studies*, Aquatic Forum 2004, Monaco, 25-29 Oct., 2004, IAEA-CN-118/159, 538-542.
6. G. Heusser: *Background in ionizing radiation detection illustrated by Ge-Spectrometry*, [in:] M. Garcia-Leon, R. Garcia-Tenorio (Eds.): *Proceedings of the 3rd International Summer School, Low-Level Measurements of Radioactivity in the Environment*, Huelva, World Scientific, Singapore, 69.
7. UM3148 - DT5730/DT5725 - User Manual (2016) CAEN, Access 25.05.2019
8. V.T. Jordanov, G.F. Knoll: *Digital synthesis of pulse shapes in real time for high resolution radiation spectroscopy*, Nucl Instrum Meth A, 345(2), 1994, 337-345.
9. Z. Guzik, T. Krakowski: *Algorithms for digital γ -ray spectroscopy*, Nukleonika, 58(2), 2013, 333-338.
10. C.Y.E. Ho, *Cosmic Ray Muon Detection using NaI Detectors and Plastic Scintillators*, <http://home.fnal.gov/~group/WORK/muonDetection.pdf>, dostęp: 20.03.2019.
11. A.H. Tkaczyk, H. Saare, C. Ipbüker, F. Schulte, P. Mastinu, J. Papeen, B. Pedersen, P. Schillebeeckx, G. Varasano: *Characterization of EJ-200 plastic scintillators as active background shield for cosmogenic radiation*, Nucl Instrum Meth A, 882, 2018, 96-104.

reklama

KONTROLA DAWEK

 <http://dawki.ifj.edu.pl>

copyright © LADIS

LABORATORIUM DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ I ŚRODOWISKOWEJ
ul. Radzikowskiego 152 tel.: 12 662 84 57
31-342 Kraków fax: 12 662 81 58
e-mail: ladis@ifj.edu.pl

