

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH HỌC BUỒNG CHÌ LÊN KẾT QUẢ ĐO PHỔ GAMMA TRÊN HỆ PHỔ KẾ PHÒNG THẤP DÙNG ĐẦU DÒ GERMANIUM SIÊU TINH KHIẾT

VÕ XUÂN AN

Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh;  
voxuanan@iuh.edu.vn

**Tóm tắt.** Trong phép đo phổ gamma bằng hệ phổ kế gamma phòng thấp sử dụng đầu dò germanium siêu tinh khiết (high purity germanium - HPGe), buồng chì dùng để che chắn phòng phóng xạ từ môi trường xung quanh thường được sử dụng. Tùy thuộc vào điều kiện của mỗi phòng thí nghiệm mà hình học buồng chì có thể khác nhau. Tia gamma phát ra từ nguồn tán xạ với môi trường xung quanh, cụ thể là buồng chì, trước khi đi vào đầu dò và đóng góp vào vùng tán xạ ngược của phổ gamma. Trên cơ sở đó, công trình này nghiên cứu đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma. Chương trình máy tính MCNP5 được sử dụng để mô phỏng phổ gamma của các đồng vị phóng xạ  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  và  $^{22}\text{Na}$  đo trên hệ phổ kế với buồng chì dạng trụ đáy tròn và dạng trụ đáy vuông. Hiệu lực của mô hình mô phỏng trên cơ sở chương trình MCNP5 được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả thực nghiệm và mô phỏng của phổ gamma  $^{137}\text{Cs}$  và  $^{60}\text{Co}$ . Kết quả cho thấy rằng tại vùng tán xạ ngược việc sử dụng buồng chì dạng trụ đáy tròn tia gamma tán xạ ngược đóng góp lớn hơn từ 3,68% đến 5,23% so với buồng chì dạng trụ đáy vuông.

**Từ khoá.** buồng chì, hình học buồng chì, tán xạ ngược, MCNP5

## STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE LEAD SHIELDING GEOMETRY ON THE GAMMA SPECTRA MEASURED BY THE LOW BACKGROUND SPECTROMETER SYSTEM USING THE HPGE DETECTOR

**Abstract.** In the measurement of gamma spectra by the low background gamma spectrometer system using the HPGe detector, lead shields have been often used for preventing from gamma rays in background radiation. Rely on the laboratory facilities, lead shielding geometry can be different. Gamma rays from the measured radioactive source interact with matter as the lead shield, then enter the HPGe detector and contribute the backscattering area of the gamma spectrum. Basing on that, this work presents estimating the influence of the lead shielding geometry on the gamma spectra. The MCNP5 code was used to simulate the gamma spectra of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{22}\text{Na}$  measured by the gamma spectrometer system with the lead shield having cylinder or square prism shape. The effectiveness of simulation modelling based on the MCNP5 code was validated by comparison of experimental and calculated gamma spectra. The results showed that using the lead shield shaped cylinder, backscattering gammas contribute from 3.68% to 5.23% more than using the lead shield shaped square prism.

**Keywords.** lead shield, lead shielding geometry, backscattering, MCNP5

### 1 MỞ ĐẦU

Đối với hệ phổ kế gamma phòng thấp sử dụng đầu dò germanium siêu tinh khiết, buồng chì che chắn phòng phóng xạ từ môi trường xung quanh đóng vai trò quan trọng. Đã có một số công trình nghiên cứu liên quan đến buồng chì, cụ thể như sau: Năm 2008, Trương Thị Hồng Loan và nhóm tác giả đã nghiên cứu phổ gamma tán xạ ngược của đầu dò HPGe bằng chương trình MCNP, kết quả nghiên cứu cho thấy khi năng lượng tia gamma càng cao thì cường độ tán xạ càng thấp [1]. Năm 2011, Trần Thiện Thanh và nhóm tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của phòng phóng xạ tự nhiên đối với hệ phổ kế gamma, kết quả nghiên cứu đã chỉ ra hoạt độ nhỏ nhất mà hệ phổ kế có thể phát hiện được [2]. Năm 2011, Đỗ Thị Thanh Vượng đã nghiên cứu giảm phòng buồng chì bằng chương trình MCNP5, kết quả cho thấy việc bổ sung các lớp lót đồng và thiếc với bề dày lần lượt là  $4,41 \pm 0,11$  mm và  $2,24 \pm 0,09$  mm làm giảm đến 95% cường độ các bức xạ tia X của chì khi chưa có các lớp lót này [3]. Năm 2015, Kinga Polaczek-Greluk và

#### 4 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH HỌC BUỒNG CHÌ LÊN KẾT QUẢ ĐO PHỔ GAMMA TRÊN HỆ PHỔ KẾ PHÔNG THẤP ĐẦU DÒ GERMANIUM SIÊU TINH KHIẾT

nhóm tác giả đã nghiên cứu hiệu suất che chắn phóng xạ tự nhiên của buồng chì [4]. Trên thực tế, buồng chì có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau, từ buồng chì có trọng lượng đủ nhẹ có thể cầm tay, cho đến buồng chì khá nặng ít khi dịch chuyển [5]. Việc biết rõ hiệu quả che chắn của buồng chì nhằm nâng cao độ tin cậy và khả năng phát hiện của hệ phổ kế là rất cần thiết. Mục tiêu của công trình này nghiên cứu đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma.

## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Buồng chì và gamma tán xạ ngược

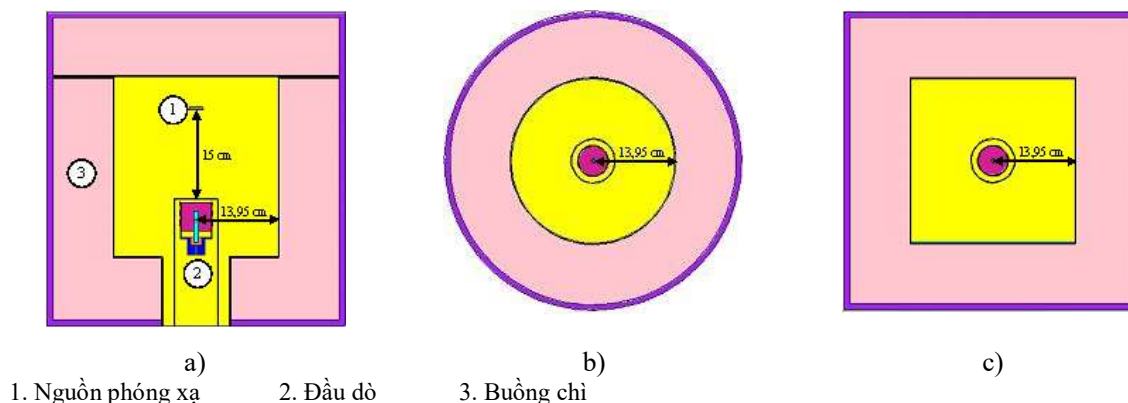
Bức xạ gamma phát ra từ nguồn trải qua một hoặc nhiều kiểu tương tác với môi trường vật chất, sau đó để lại năng lượng bên trong đầu dò và hình thành phổ gamma. Đặc trưng của một phổ gamma điển hình bao gồm: đỉnh năng lượng toàn phần, vùng tán xạ nhiều lần, mép Compton, vùng lung Compton, vùng tán xạ ngược và vùng tia X. Trong số đó, các tia gamma tán xạ ngược chủ yếu được hình thành sau khi tán xạ với vật chất môi trường xung quanh, cụ thể là buồng chì, với một góc lớn ( $\sim 120^\circ - 180^\circ$ ). Các tia gamma tán xạ ngược này đi vào đầu dò, để lại năng lượng và đóng góp vào vùng tán xạ ngược của phổ gamma. Đây là cơ sở để nghiên cứu đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma.

Trong công trình này đối tượng nghiên cứu là hệ phổ kế gamma phòng thấp sử dụng đầu dò germanium siêu tinh khiết GC2018 đặt tại Phòng thí nghiệm chuyên đề 1 thuộc Bộ môn Vật lý hạt nhân - Kỹ thuật hạt nhân, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh. Đây là hệ phổ kế với buồng chì là một hộp rỗng dạng trụ đáy tròn gồm lớp sắt ngoài cùng dày 9,5 mm, lớp chì dày 102,4 mm, lớp thiếc dày 1 mm và lớp đồng trong cùng dày 1,6 mm được bố trí đồng trục. Mặt trong lớp đồng cách trục đối xứng của buồng chì 139,5 mm.

### 2.2 Bố trí thí nghiệm

Trong thực nghiệm đo phổ gamma, các nguồn phóng xạ  $^{137}\text{Cs}$  và  $^{60}\text{Co}$  được sử dụng và đặt dọc theo trục đối xứng của buồng chì, cách mặt trên đầu dò 15 cm. Sở dĩ khoảng cách nguồn - đầu dò 15 cm được chọn là nhằm cân đối giữa việc tăng hiệu ứng trùng phùng do tăng tốc độ đếm ở khoảng cách gần và việc tăng hiệu ứng đóng góp phông nhiễu do giảm tốc độ đếm ở khoảng cách xa [6].

Trong tính toán mô phỏng bằng chương trình MCNP5, ngoài vạch năng lượng 0,662 MeV của  $^{137}\text{Cs}$ , 1,173 MeV và 1,332 MeV của  $^{60}\text{Co}$  còn sử dụng thêm vạch năng lượng 0,834 MeV của  $^{54}\text{Mn}$ , 0,511 MeV và 1,274 MeV của  $^{22}\text{Na}$ , cũng được đặt dọc theo trục đối xứng của buồng chì, cách mặt trên đầu dò 15 cm (hình 1a). Để nghiên cứu ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma, mô hình mô phỏng buồng chì dạng trụ đáy vuông được xây dựng với giả thiết là bề dày các lớp vật liệu và khoảng cách từ trục đối xứng đến mặt trong cùng của buồng chì bằng nhau một cách tương ứng so với buồng chì dạng trụ đáy tròn trên thực tế như trong hình 1b và 1c.



Hình 1. Mặt cắt dọc (a), mặt cắt ngang của buồng chì đối với buồng chì dạng trụ đáy tròn (b) và dạng trụ đáy vuông (c) được mô hình hoá bằng chương trình MCNP5.

### 2.3 Mô phỏng Monte Carlo

Chương trình tính toán Monte Carlo MCNP5 được sử dụng để mô phỏng phổ gamma cho tất cả các trường hợp bố trí thực nghiệm nêu trên. Nhờ có tally F8 nên chương trình MCNP5 được sử dụng để mô hình hoá các đặc trưng của đầu dò và cho phép truy xuất phổ phân bố độ cao xung theo năng lượng. Tỷ suất tia gamma với năng lượng cụ thể hấp thụ bên trong thể tích hoạt động của đầu dò cho biết hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần tuyệt đối tại năng lượng đó. Kết quả chính xác trong việc tính toán hiệu suất của đầu dò mô phỏng có thể đạt được nếu như mô hình thí nghiệm thực tế được chuẩn bị chính xác. Trong công trình này, các mô hình mô phỏng được chuẩn bị giống như các trường hợp bố trí thực nghiệm nhằm mục đích kiểm chứng sự phù hợp giữa kết quả tính toán MCNP5 và thực nghiệm đo phổ gamma và đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma.

## 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Kiểm chứng thực nghiệm chương trình mô phỏng MCNP5

Kết quả so sánh hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần giữa thực nghiệm và mô phỏng MCNP5 đối với khoảng cách nguồn - đầu dò 15 cm được trình bày trong bảng 1. Cột cuối cùng của bảng 1 cho thấy rằng độ sai biệt hiệu suất bằng 2,56%, 4,17% và 3,13% lần lượt đối với các vạch năng lượng 0,662 MeV của  $^{137}\text{Cs}$ , 1,173 MeV và 1,332 MeV của  $^{60}\text{Co}$ . Điều này chứng tỏ chương trình mô phỏng MCNP5 là công cụ đáng tin cậy và thích hợp để nghiên cứu đánh giá mức độ ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma [7].

*Bảng 1.* So sánh hiệu suất tính toán và thực nghiệm tại các vạch năng lượng 0,662 MeV của  $^{137}\text{Cs}$ , 1,173 MeV và 1,332 MeV của  $^{60}\text{Co}$  khi khoảng cách nguồn - đầu dò 15 cm.

Năng lượng (MeV)	Hiệu suất		Độ sai biệt (%)
	Thực nghiệm	Tính toán	
0,662	0,00117	0,00114	2,56
1,173	0,00072	0,00075	4,17
1,332	0,00064	0,00062	3,13

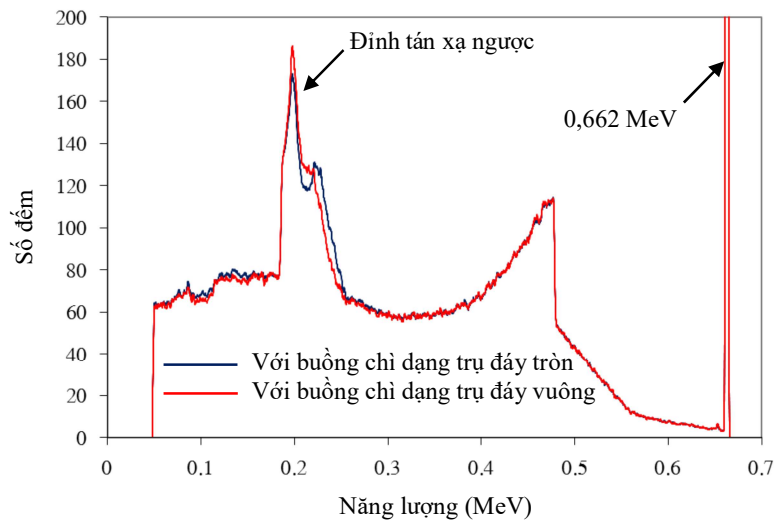
### 3.2 Ảnh hưởng của hình học buồng chì lên kết quả đo phổ gamma

Phổ gamma của 4 nguồn phóng xạ  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  và  $^{22}\text{Na}$  đối với 2 trường hợp buồng chì dạng trụ đáy tròn (đường màu xanh) và dạng trụ đáy vuông (đường màu đỏ) được trình bày trong hình 2a, 2b, 2c và 2d. Kết quả cho thấy rằng tại vùng tán xạ ngược việc sử dụng buồng chì dạng trụ đáy tròn có khuynh hướng đóng góp lớn hơn từ 3,68% đến 5,23% so với buồng chì dạng trụ đáy vuông (xem cột cuối cùng của bảng 2). Điều này có thể giải thích là khi tia gamma phát ra từ nguồn va chạm tại mọi vị trí của thành buồng chì dạng trụ đáy tròn đều phản xạ trở lại phía trục đối xứng của buồng chì. Trong khi đó đối với buồng chì dạng trụ đáy vuông, hầu hết các tia gamma phản xạ từ thành buồng chì đều có xu hướng lệch xa trục đối xứng của buồng chì, ngoại trừ tại các vị trí nằm trên các giao tuyến giữa mặt phẳng trung trục và mặt phẳng thành buồng chì tương ứng; do đó, thành phần gamma tán xạ ngược cũng giảm theo trước khi đi vào đầu dò. Tuy nhiên, trong thực nghiệm, mức độ ảnh hưởng chỉ từ 3,68% đến 5,23% là không đáng kể, có thể bỏ qua cho nên người làm thực nghiệm vật lý hạt nhân có thể lựa chọn buồng chì dạng trụ đáy tròn hoặc dạng trụ đáy vuông tùy thuộc vào điều kiện thực tế của phòng thí nghiệm.

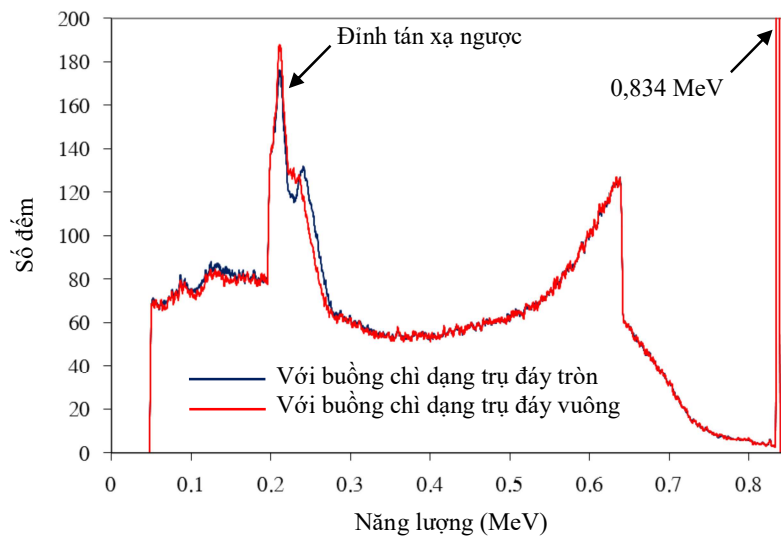
*Bảng 2.* So sánh kết quả mô phỏng phổ gamma tại vùng tán xạ ngược của  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$  và  $^{22}\text{Na}$ .

Nguồn phóng xạ	Vùng tán xạ ngược (số đếm)		Độ sai biệt (%)
	Với buồng chì dạng trụ đáy tròn	Với buồng chì dạng trụ đáy vuông	
$^{137}\text{Cs}$	14304 ± 120	15052 ± 123	5,23
$^{54}\text{Mn}$	19826 ± 141	20779 ± 144	4,81
$^{60}\text{Co}$	18529 ± 136	19001 ± 138	3,88
$^{22}\text{Na}$	13984 ± 118	14009 ± 118	3,68

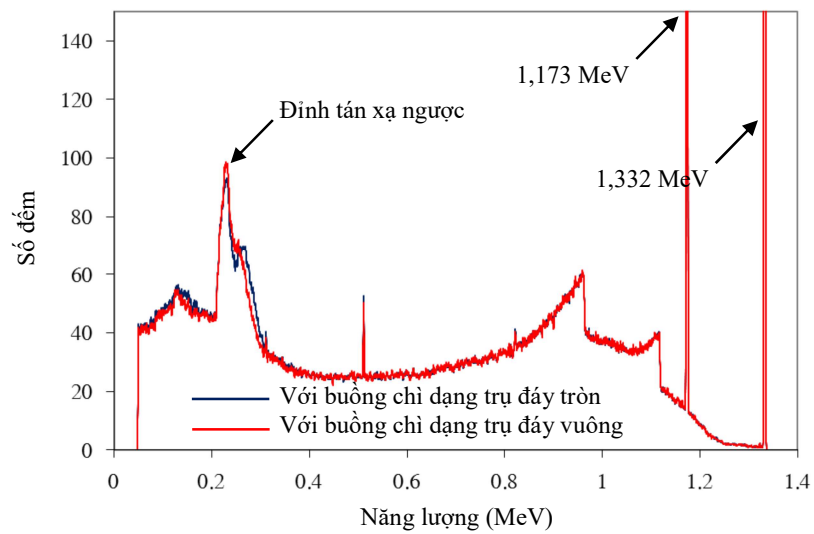
6 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH HỌC BUỒNG CHỈ LÊN KẾT QUẢ ĐO PHỔ GAMMA TRÊN HỆ PHỔ KÊ PHÒNG THẤP DÙNG ĐẦU DÒ GERMANIUM SIÊU TINH KHIẾT



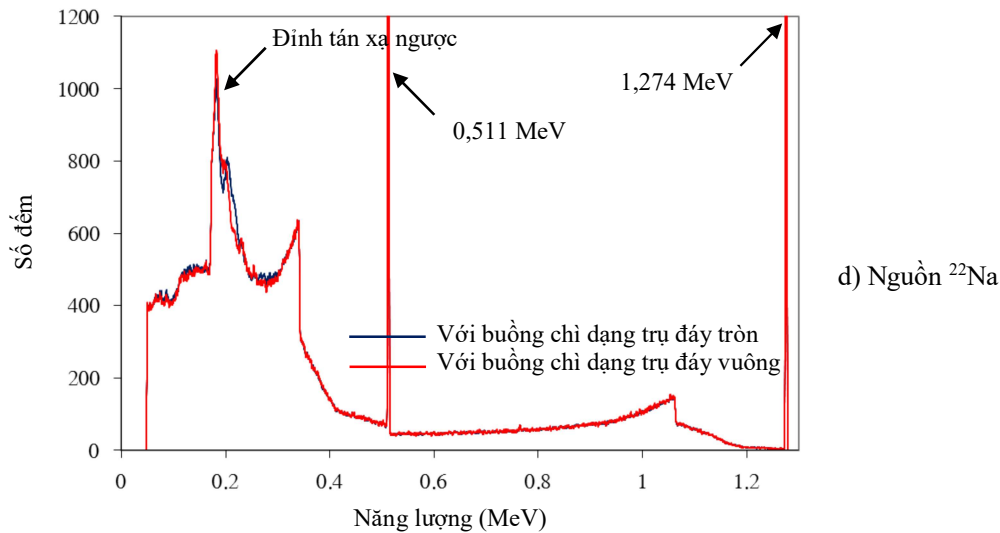
a) Nguồn  $^{137}\text{Cs}$



b) Nguồn  $^{54}\text{Mn}$



c) Nguồn  $^{60}\text{Co}$



Hình 2. So sánh kết quả đo phổ gamma trên hệ phổ kế với buồng chỉ dạng trụ đáy tròn (đường màu xanh) và dạng trụ đáy vuông (đường màu đỏ) của  $^{137}\text{Cs}$  (a),  $^{54}\text{Mn}$  (b),  $^{60}\text{Co}$  (c) và  $^{22}\text{Na}$  (d).

Bảng 3. So sánh kết quả mô phỏng phổ gamma tại các đỉnh năng lượng toàn phần 0,662 MeV của  $^{137}\text{Cs}$ , 0,834 MeV của  $^{54}\text{Mn}$ , 1,173 MeV và 1,332 MeV của  $^{60}\text{Co}$  và 0,511 MeV và 1,274 MeV của  $^{22}\text{Na}$ .

Năng lượng (MeV)	Đỉnh năng lượng toàn phần (số đếm)		Độ sai biệt (%)
	Với buồng chỉ dạng trụ đáy tròn	Với buồng chỉ dạng trụ đáy vuông	
0,662	50103 ± 224	50132 ± 224	0,06
0,834	55454 ± 235	55440 ± 235	0,03
1,173	18529 ± 136	18558 ± 136	0,16
1,332	16362 ± 128	16317 ± 128	0,28
0,511	252042 ± 502	253742 ± 504	0,67
1,274	63658 ± 252	63999 ± 253	0,54

Ngoài ra, bảng 3 cho thấy độ sai biệt tại các đỉnh năng lượng toàn phần 0,662 MeV của  $^{137}\text{Cs}$ , 1,173 MeV và 1,332 MeV của  $^{60}\text{Co}$ , 0,834 MeV của  $^{54}\text{Mn}$ , 0,511 MeV và 1,274 MeV của  $^{22}\text{Na}$  chỉ từ 0,03% đến 0,67%, nằm trong khoảng thăng giáng thống kê của phép đo. Điều này chứng tỏ hình học buồng chỉ không ảnh hưởng đến kết quả đỉnh năng lượng toàn phần, một đặc trưng quan trọng của phổ gamma.

#### 4 KẾT LUẬN

Chương trình mô phỏng MCNP5 sử dụng phương pháp Monte Carlo là một công cụ hữu hiệu trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của hình học buồng chỉ lên kết quả đo phổ gamma, đặc biệt đối với hình học đo phức tạp và nhiều thành phần vật liệu khác nhau của hệ phổ kế. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy rằng hình học buồng chỉ ảnh hưởng không đáng kể tại vùng tán xạ ngược và không ảnh hưởng đến đỉnh năng lượng toàn phần, một đặc trưng quan trọng của phổ gamma. Do đó trong thực nghiệm đo phổ gamma trên hệ phổ kế dùng đầu dò germanium siêu tinh khiết, có thể lựa chọn hình học buồng chỉ dạng trụ đáy tròn hoặc dạng trụ đáy vuông tùy thuộc vào điều kiện thực tế của phòng thí nghiệm mà không ảnh hưởng hoặc ảnh hưởng không đáng kể đến kết quả đo phổ gamma.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trương Thị Hồng Loan, Phạm Thị Quý Trúc, Đặng Nguyên Phương, Trần Thiện Thanh, Trần Ái Khanh, Trần Đăng Hoàng (2008), Nghiên cứu phổ gamma tán xạ ngược của đầu dò HPGe Bằng chương trình MCNP, *Tạp chí Phát triển khoa học và công nghệ ĐHQG-HCM*, Tập 11, Số 6.
- [2] Tran Thien Thanh, Chau Van Tao, Hoang Duc Tam, Vo Thi Hoang Yen (2011), Study on the effect of natural background for gamma spectrometer system, *Journal of science and development VNU-HCM*, Vol. 14, No. 5.
- [3] Đỗ Thị Thanh Vượng (2011), Nghiên cứu giảm nhiễu buồng chỉ của hệ phổ kế gamma dùng detector HPGe GEM 15P4, *Luận văn Thạc sĩ*, Chuyên ngành: Vật lý nguyên tử, hạt nhân và năng lượng cao.
- [4] Kinga Polaczek-Grelak, Jan Kisiel, Agata Walencik-Lata, Jerzy W. Mietelski, Paweł Janowski, Małgorzata Haran'czyk, Jan Jurkowski, Agnieszka Zalewska, Jan Kobzin' ski, Paweł Markowski, Andrzej Sadowski (2016), Lead shielding efficiency from the gamma background measurements in the salt cavern of the Polkowice–Sieroszowice copper mine, *J Radioanal Nucl Chem*, 308:773–780.
- [5] Canberra Industries, Inc. (1995), Ultra Low Background Detector Systems, Canberra Industries, Inc., Connecticut.
- [6] Robert J. Gehrke (1990), Test to measure the performance of a germanium gamma- ray spectrometer and its analysis software, *Radioactivity Radiochemistry*, Vol. 1, No. 2.
- [7] X-5 Monte Carlo Team (2003), MCNP - A General Purpose Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume I: Overview and Theory, *Los Alamos National Laboratory*, LA-UR-03-1987.

*Ngày nhận bài: 24/10/2017*

*Ngày chấp nhận đăng: 03/11/2017*