

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ VẬT LÝ ĐẾN HIỆU SUẤT GHI CỦA DETECTOR BÁN DẪN SIÊU TINH KHIẾT BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP4C2

Ngô Quang Huy⁽¹⁾, Đỗ Quang Bình⁽²⁾, Võ xuân Ân⁽¹⁾

(1) Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh

(2) Trung tâm Hạt nhân Tp. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Trong thời gian gần đây việc mô hình hóa hệ phổ kế gamma dùng detector bán dẫn siêu tinh khiết HPGe bằng phương pháp Monte Carlo cho kết quả khá phù hợp với thực nghiệm khi hiệu chỉnh tối ưu các thông số detector. Công trình này phân tích ảnh hưởng của các thông số detector lên hiệu suất của nó đối với detector HPGe GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân TP Hồ Chí Minh. Tám thông số detector đã được khảo sát trên cơ sở các giá trị và dung sai của chúng do nhà sản xuất cung cấp. Tính toán theo chương trình MCNP4C2 cho thấy rằng, trong 8 thông số đó chỉ có bề dày lớp germanium bất hoạt có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất detector. Như vậy bề dày lớp germanium bất hoạt được coi là thông số quan trọng nhất khi hiệu chỉnh các thông số detector để làm phù hợp giữa tính toán Monte Carlo với thực nghiệm.

1. MỞ ĐẦU

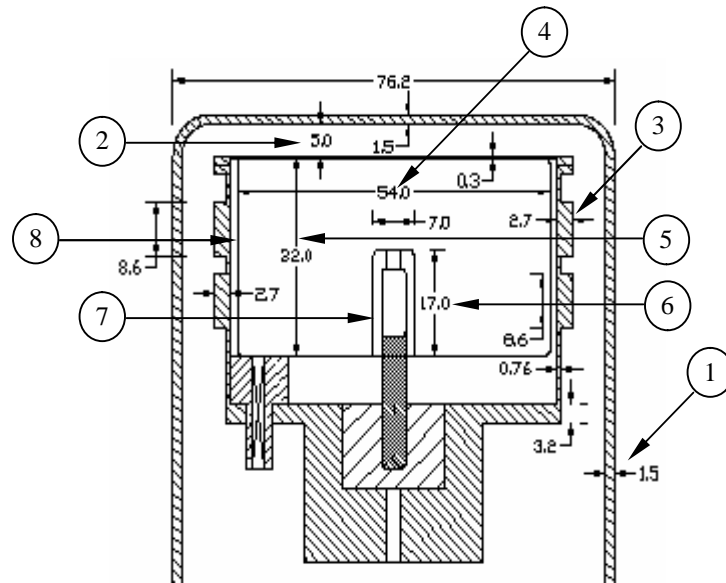
Phương pháp Monte Carlo được ứng dụng rộng rãi trong việc mô hình hóa các thiết bị và mô phỏng các quá trình phức tạp trong vật lý hạt nhân vì trong đó có thể tính đầy đủ các hiệu ứng vật lý. Tuy nhiên để kết quả tính toán phù hợp với thực nghiệm cần phải có bộ số liệu đầu vào chính xác. Đối với bài toán mô hình hóa phổ kế gamma dùng detector bán dẫn siêu tinh khiết HPGe, các thông số hình học và vật liệu của detector được cung cấp bởi nhà sản xuất. Với các bộ số liệu đó, kết quả tính toán vẫn chưa phù hợp hoàn toàn với thực nghiệm [1-8], do đó trong các công trình nêu trên đã hiệu chỉnh lại các thông số này, hoặc bằng cách đo lại hoặc biến thiên chúng sao cho kết quả tính toán phù hợp với thực nghiệm. Đối với detector dạng đồng trục, 8 thông số thường được sử dụng gồm bề dày vỏ nhôm của detector, khoảng cách giữa vỏ detector và mặt trên của tinh thể germanium, bề dày vỏ hộp chứa tinh thể germanium, đường kính và chiều cao tinh thể germanium, độ sâu hốc tinh thể germanium, bề dày lớp boron được cấy ion ở mặt hốc tinh thể germanium và bề dày lớp lithium khuếch tán ở mặt ngoài tinh thể germanium (lớp germanium bất hoạt). Trong số 8 thông số này thì 6 thông số đầu hầu như không thay đổi còn bề dày lớp boron và lớp germanium bất hoạt thường tăng rất mạnh trong quá trình hoạt động của detector, đặc biệt khi detector không được làm lạnh bởi nitrogen lỏng trong thời gian dài [8, 9].

Như vậy khi hiệu chỉnh các thông số detector cần xem xét các đặc điểm của chúng. Trong công trình [10], chúng tôi bước đầu mô hình hóa hệ phổ kế gamma dùng detector HPGe GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân TP Hồ Chí Minh. Một trong các đại lượng được nghiên cứu là hiệu suất ghi của detector. Nó khá nhạy với sự thay đổi các thông số detector nên thường được dùng để hiệu chỉnh các thông số này. Do 6 thông số đầu không thay đổi trong quá trình làm việc của detector nên có thể biến thiên giá trị của chúng trong phạm vi dung sai để khảo sát sự ảnh hưởng đến hiệu suất detector. Đối với hai thông số còn lại là bề dày lớp boron và lớp germanium bất hoạt, do chúng tăng trong thời gian hoạt động của detector nên có thể khảo sát sự biến thiên của chúng trong miền rộng hơn, cho đến 5 lần giá trị danh định.

Công trình này dành cho việc khảo sát sự ảnh hưởng của các thông số detector HPGe GC1518 đến hiệu suất ghi của nó, trên cơ sở đó xác định được vai trò của mỗi thông số. Việc tính toán được thực hiện bằng chương trình Monte Carlo MCNP4C2 [11].

2. HỆ PHỔ KẾ GAMMA

Hệ phổ kế gamma tại Trung tâm Hạt nhân TP Hồ Chí Minh gồm detector HPGe GC1518, nguồn nuôi cao thế, tiền khuếch đại, khuếch đại và khối phân tích biên độ đa kênh. Detector được đặt trong buồng chì có dạng hình viên trụ với bán kính ngoài 25 cm, cao 50 cm, bán kính trong 15 cm, cao 30 cm. Bên trong buồng chì có lót thiếc, đồng và paraffin [10]. Detector HPGe GC1518 có dạng hình trụ đồng trục với đường kính ngoài 76,2 mm được minh họa trên hình 1. Các thông số của detector được dẫn ra trên hình 1 và trình bày trên bảng 1. Giá trị các thông số cùng với dung sai của chúng do nhà sản xuất cung cấp.



Hình 1. Cấu trúc detector HPGe GC1518, kích thước tính bằng mm.

Bảng 1. Các thông số của detector cùng với dung sai do nhà sản xuất cung cấp.

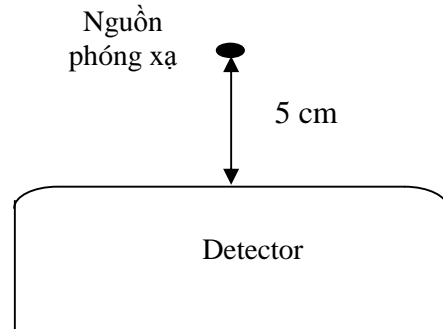
Vị trí trên hình 1	Thông số	Giá trị danh định \pm dung sai (mm)
1	Bề dày vỏ nhôm của detector	$1,50 \pm 0,08$
2	Khoảng cách giữa vỏ detector và mặt trên của tinh thể germanium	$5,0 \pm 0,5$
3	Bề dày vỏ hộp chứa tinh thể germanium	$1,8 \pm 0,1$
4	Đường kính tinh thể germanium	$54,0 \pm 0,5$
5	Chiều cao tinh thể germanium	$32,0 \pm 0,5$
6	Độ sâu hốc tinh thể germanium	$17,0 \pm 0,5$
7	Bề dày lớp boron	$(0,30 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$
8	Bề dày lớp germanium bất hoạt	$0,35 \pm 0,04$

3. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ BIẾN THIÊN CÁC THÔNG SỐ DETECTOR LÊN HIỆU SUẤT DETECTOR

Tám thông số detector được chia thành hai nhóm. Nhóm thứ nhất gồm 6 thông số 1-6 còn nhóm thứ hai gồm hai thông số 7-8. Sáu thông số 1-6 hầu như không thay đổi trong quá trình làm việc của detector. Giá trị danh định của chúng được nêu trong bảng 1 cùng với dung sai, là các giá trị thiết kế hoặc đo bằng thước đo chiều dài. Do đó phạm vi biến thiên của các thông số này được xác định bởi dung sai của chúng. Hai thông số 7-8 được đo bằng phương pháp suy giảm chùm tia gamma 59,5 keV của nguồn ^{241}Am với sai số tương đối cỡ 10%. Miền biến thiên của các

thông số này không bị hạn chế trong phạm vi sai số mà có thể lấy khoảng 5 lần giá trị danh định của chúng [2, 3, 4, 8]. Đó là do bề dày các lớp này có thể tăng đáng kể trong quá trình hoạt động của detector.

Hiệu suất detector được tính theo chương trình MCNP4C2 với cấu hình nêu trên hình 2, gồm detector HPGe GC1518 và nguồn phóng xạ chuẩn dạng điểm đặt cách detector 5 cm theo trục detector. Các nguồn phóng xạ được chọn sao cho các tia gamma do chúng phát ra nằm trong một dải rộng từ 59,5 keV đến 1332 keV, đó là ^{241}Am (59,5 keV), ^{109}Cd (88 keV), ^{57}Co (122 keV), ^{113}Sn (392 keV), ^{22}Na (511 keV và 1274 keV), ^{137}Cs (662 keV), ^{54}Mn (834 keV), ^{60}Co (1173 keV và 1332 keV). Bộ số liệu đầu vào để tính toán gồm các thông số của detector và buồng chì được lấy từ công trình [10].



Hình 2. Cấu hình tính toán detector- nguồn phóng xạ.

Hiệu suất của detector được tính cho từng nguồn phóng xạ, tức là cho 1 hay 2 quang đỉnh, tùy thuộc vào loại nguồn. Đó là tỉ số giữa diện tích của quang đỉnh và số các tia gamma phát ra từ nguồn phóng xạ. Đối với 6 thông số 1-6, chúng là các vật liệu tán xạ và hấp thụ bức xạ thuần túy nên hiệu suất detector sẽ giảm khi kích thước của chúng tăng và ngược lại. Việc tính hiệu suất được thực hiện đối với giá trị danh định và một vài giá trị cho đến các mép miền dung sai. Từ đó có thể nhận được độ thay đổi tương đối của hiệu suất khi thông số nhận các giá trị ở mép trái và mép phải miền dung sai so với giá trị danh định. Đối với hai thông số còn lại là lớp boron và lớp germanium bất hoạt, sự tăng bề dày của chúng dẫn tới hai hiệu ứng làm giảm hiệu suất detector. Đó là hiệu ứng tán xạ, hấp thụ tia gamma và hiệu ứng giảm thể tích vùng nhạy của tinh thể germanium [4].

Để làm ví dụ, bảng 2 trình bày kết quả tính đối với khoảng cách giữa vỏ detector và mặt trên của tinh thể germanium. Theo bảng 1, thông số này có giá trị $5,0 \pm 0,5$ mm, do đó hiệu suất detector được tính cho giá trị danh định 5,0 mm và hai giá trị ở hai mép miền dung sai là 4,5 mm và 5,5 mm. Hiệu suất được tính cho 12 quang đỉnh từ 59,5 keV đến 1332 keV. Cột thứ 5 của bảng 2 là độ thay đổi tương đối của hiệu suất giữa các kích thước 4,5 mm và 5,0 mm. Đại lượng tương tự như vậy ở cột thứ 6 đối với các kích thước 5,5 mm và 5,0 mm. Cột cuối cùng là giá trị trung bình của độ thay đổi tương đối của hiệu suất detector đối với từng quang đỉnh. Từ đó ta nhận được độ thay đổi trung bình của 12 quang đỉnh là 0,014, tức là 1,4% ở hàng cuối cùng của bảng 2. Kết quả tính toán tương tự như vậy đối với các thông số 1-6 được dẫn ra trên bảng 3. Hai hàng cuối cùng của bảng 3 nêu kết quả tính đối với bề dày lớp boron với giá trị danh định $0,3 \cdot 10^{-3}$ mm trong dải kích thước $(0,3 - 1,8) \cdot 10^{-3}$ mm và bề dày lớp germanium bất hoạt với giá trị danh định 0,35 mm trong dải kích thước 0,35 – 1,50 mm.

Bảng 2. Kết quả tính toán sự thay đổi tương đối của hiệu suất detector đối với khoảng cách giữa vỏ detector và mặt trên của tinh thể germanium.

E_{γ} (keV)	Các giá trị của thông số			Độ thay đổi tương đối của hiệu suất detector		
E_{γ} (keV)	4.5 mm	5 mm	5.5 mm	Mép trái	Mép phải	Trung bình
59,5	0.0039	0.0038	0.0038	0.0166	0.0148	0.0157
88	0.0179	0.0176	0.0173	0.0156	0.0142	0.0149
122	0.0306	0.0302	0.0298	0.0150	0.0136	0.0143
136 ?	0.0296	0.0292	0.0288	0.0149	0.0135	0.0142
255 ?	0.0181	0.0179	0.0176	0.0150	0.0136	0.0143
392	0.0112	0.0111	0.0109	0.0144	0.0131	0.0138
511	0.0087	0.0086	0.0084	0.0144	0.0131	0.0137
662	0.0066	0.0066	0.0065	0.0142	0.0130	0.0136
834	0.0051	0.0051	0.0050	0.0142	0.0128	0.0135
1173	0.0038	0.0038	0.0037	0.0141	0.0125	0.0133
1274	0.0035	0.0035	0.0035	0.0143	0.0129	0.0136
1332	0.0034	0.0033	0.0033	0.0142	0.0130	0.0136
					Trung bình	0.0140

Bảng 3. Độ thay đổi tương đối của hiệu suất detector khi các thông số detector nhận các giá trị trong miền dung sai (đối với 6 thông số đầu) và trong dải đến khoảng 5 lần thông số danh định (đối với bề dày lớp boron và bề dày lớp germanium bất hoạt).

Số thứ tự	Thông số	Kích thước danh định (mm)	Dải kích thước (mm)	Độ thay đổi tương đối của hiệu suất (%)
1	Bề dày vỏ nhôm của detector	1,50	1,42 - 1,58	0,40
2	Khoảng cách giữa vỏ detector và mặt trên của tinh thể germanium	5,0	4,5 - 5,5	1,40
3	Bề dày vỏ hộp chứa tinh thể germanium	1,8	1,7 - 1,9	0,02
4	Đường kính tinh thể germanium	54,0	53,5 - 54,5	0,06
5	Chiều cao tinh thể germanium	32,0	31,5 - 32,5	1,92
6	Độ sâu hốc tinh thể germanium	17,0	16,5 - 17,5	0,75
7	Bề dày lớp boron	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$(0,3 - 1,5) \cdot 10^{-3}$	0,002
8	Bề dày lớp germanium bất hoạt (lớp lithium)	0,35	0,35 - 1,50	18,7

Từ bảng 3 thấy rằng khi các thông số 1-6 biến thiên trong miền dung sai của chúng thì hiệu suất detector chỉ thay đổi từ 0,02% đến 1,92% so với các hiệu suất ở giá trị danh định. Đối với bề dày lớp boron, khi thay đổi giá trị đến 5 lần thì hiệu suất cũng chỉ thay đổi một lượng rất bé khoảng 0,002%. Đó là do bản thân lớp boron rất mỏng, hiệu ứng tán xạ và hấp thụ tia gamma cũng như hiệu ứng thể tích của nó bé có thể bỏ qua. Còn đối với lớp germanium bất hoạt, hiệu suất thay đổi khá lớn, khoảng 18,7% so với hiệu suất ở giá trị danh định khi bề dày tăng lên khoảng 5 lần. Sự thay đổi đáng kể này có thể giải thích xuất phát từ lý do là bản thân bề dày của nó khá lớn, do đó hiệu ứng tán xạ, hấp thụ và hiệu ứng thể tích đóng vai trò quan trọng. Như vậy sự biến thiên của 7 thông số đầu không có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất detector, trong lúc đó sự tăng bề dày lớp germanium bất hoạt làm thay đổi đáng kể hiệu suất và vì vậy trong các công trình [2, 4, 6, 12] chỉ tiến hành hiệu chỉnh đối với bề dày lớp germanium bất hoạt mà bỏ qua các thông số khác.

4. KẾT LUẬN

Công trình này nghiên cứu ảnh hưởng của 8 thông số detector lên hiệu suất của nó đối với detector GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân TP Hồ Chí Minh. Trong số 8 thông số được xem xét thì 6 thông số không thay đổi trong thời gian hoạt động của detector còn 2 thông số tăng theo thời gian làm việc của nó. Kết quả tính toán theo chương trình MCNP4C2 cho thấy, sự biến thiên của 6 thông số đầu trong miền dung sai của chúng dẫn đến sự thay đổi tương đối của hiệu suất detector không vượt quá 2%. Ảnh hưởng của lớp boron lên hiệu suất detector rất bé, chỉ vào khoảng 0,002% khi tăng bề dày của nó lên 5 lần. Bề dày lớp germanium bất hoạt có ảnh hưởng thực sự lên hiệu suất detector, nó làm thay đổi giá trị hiệu suất đến khoảng 18,7% khi bề dày của nó tăng từ 0,35 mm đến 1,50 mm. Như vậy, lớp germanium bất hoạt là thông số thay đổi nhiều nhất trong quá trình làm việc của detector và cũng chính nó là thông số quan trọng nhất khi hiệu chỉnh để làm phù hợp các kết quả tính toán với thực nghiệm.

Công trình này được thực hiện trong khuôn khổ các Đề tài nghiên cứu cơ bản trong khoa học tự nhiên các năm 2006-2008 của Bộ Khoa học và Công nghệ (Mã số 409406).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Garcia-Talavera, H. Nader, M.J. Daza, B. Quintana. *Towards a proper modeling of detector and source characteristics in Monte Carlo simulations*. Applied Radiation and Isotopes, 52, 777-783, (2000).
- [2]. I.O.B. Ewa, D. Bodizs, Sz. Czifrus, Zs. Molnar. *Monte Carlo determination of full energy peak efficiency for an HPGe detector*. Applied Radiation and Isotopes, 55, 103-108, (2001).
- [3]. J.C. Hardy, V.E. Jacob, M. Sanchez-Vega, R.T. Effinger, P. Lipnik, V.E. Mayes, D.K. Willis, R.G. Helmer. *Precise efficiency calibration of an HPGe detector: source measurements and Monte Carlo calculations with sub-percent precision*. Applied Radiation and Isotopes, 56, 65-69, (2002).
- [4]. J. Rodenas, A. Pascual, I. Zarza, V. Serradell, J. Ortiz, L. Ballesteros. *Analysis of the influence of germanium dead layer on detector calibration simulation for environmental radioactive samples using the Monte Carlo method*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 496, 390-399, (2003).
- [5]. M. Jurado Vargas, N. Cornejo Diaz and D. Perez Sanchez. *Efficiency transfer in the calibration of a coaxial p-type HPGe detector using the Monte Carlo method*. Applied Radiation and Isotopes, 58, 707-712, (2003).
- [6]. R.G. Helmer, N. Nica, J.C. Hardy, V.E. Iacob. *Precise efficiency calibration of an HPGe detector up to 3.5 MeV with measurements and Monte-Carlo calculations*. Applied Radiation and Isotopes, 60, 173-177, (2004).
- [7]. S. Hurtado, M. Garcia-Leon, R. Garcia-Tenorio. *GEANT4 code for simulation of a germanium gamma-ray detector and its application to efficiency calibration*. Nuclear Instruments and Methods in Nuclear Research. A 518, 764-774, (2004).
- [8]. J.M. Laborie, G. Le Petit, D. Abt, M. Girard. *Monte Carlo calculation of the efficiency calibration curve and coincidence-summing corrections in low-level gamma-ray spectrometry using well-type HPGe detectors*. Applied Radiation and Isotopes, 53, 57-62, (2000).
- [9]. Glenn F. Knoll. *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons, Second edition, (1989).
- [10]. Ngô Quang Huy, Đỗ Quang Bình, Võ Xuân Ân. *Bước đầu mô hình hóa hệ phổ kế gamma dùng detector bán dẫn siêu tinh khiết sử dụng chương trình MCNP*. Tạp chí

Phát triển khoa học công nghệ, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, Tập 8, Số 8, Trang 17-25, (2005).

- [11]. J.F. Briesmeister. *MCNP-A general Monte-Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C*. Los Alamos, LA-13709-M, (2000).
- [12]. Ngô Quang Huy, Đỗ Quang Bình, Võ Xuân Ân. *Nghiên cứu sự tăng bề dày lớp germanium bất hoạt trong detector bán dẫn siêu tinh khiết bằng chương trình MCNP*. Tạp chí Phát triển khoa học công nghệ, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, Tập 8, Số 12, Trang 35-43, (2005).