

XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG HIỆU SUẤT DETECTOR HPGE BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP4C2

Thái Khắc Định^{*}, Nguyễn Thị Thúy Hằng[†]

1. Mở đầu

Các cơ sở máy móc, thiết bị trong các phòng thí nghiệm luôn được trang bị đầy đủ và không ngừng cải tiến nhằm tạo nhiều điều kiện thuận lợi hơn cho người làm khoa học. Tuy nhiên, trong thực tế không phải lúc nào chúng ta cũng có đủ các điều kiện cần thiết để thực hiện các thí nghiệm như mong muốn. Khi đó máy tính đóng vai trò là một công cụ thực sự hữu ích. Sự xuất hiện của máy tính không chỉ dùng trong việc nghiên cứu, phân tích, đo đạc các kết quả thực nghiệm, mà nó còn được sử dụng như một công cụ để mô phỏng thí nghiệm, cung cấp cho chúng ta những kết quả mà các thí nghiệm thuần túy thường gặp phải nhiều khó khăn và hạn chế trong quá trình thực hiện. Phương pháp mô phỏng nói chung và phương pháp Monte Carlo ứng dụng chương trình MCNP là những công cụ rất hữu dụng, giúp chúng ta có thể giải quyết những vấn đề hóc búa nảy sinh trong thí nghiệm, do những lí do khác nhau, mà ta không thể thực hiện được trong thực tế.

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2, để mô phỏng hệ phổ kế gamma HPGe (High Pure Germanium) GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân Tp. Hồ Chí Minh; với mục đích thiết lập, đánh giá đường cong hiệu suất theo năng lượng của detector HPGe để ứng dụng vào công việc phân tích và đo đạc sau này.

2. Thục nghiệm đo hiệu suất của Detector

2.1. Cấu trúc hệ phổ kế gamma

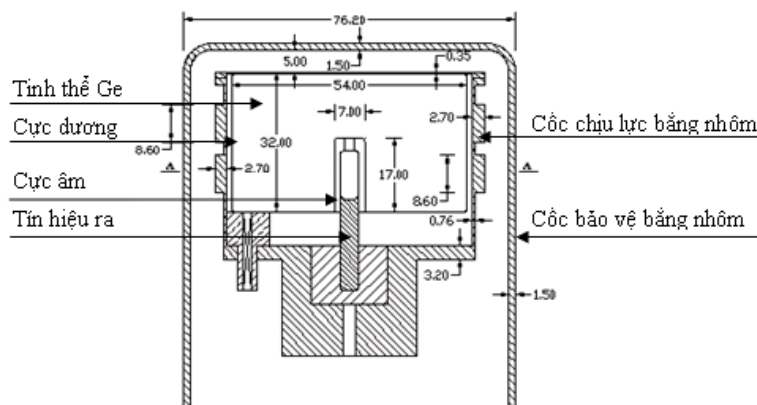
Trong phạm vi báo cáo của đề tài, chúng tôi sử dụng chương trình MCNP4C2 để mô phỏng hệ phổ kế gamma dùng detector bán dẫn siêu tinh khiết GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân

^{*} TS, Khoa Vật lý - ĐH Sư phạm Tp.HCM

[†] CN, ĐH Sư phạm Tp.HCM

TP. Hồ Chí Minh. Các thành phần chính của hệ phổ kế bao gồm: buồng chì, detector và nguồn phóng xạ.

Detector là một ống hình trụ bán kính 3,81cm và có chiều cao nằm bên trong buồng chì là 8,4cm. Các thông số hình học và vật liệu của detector do nhà sản xuất cung cấp bao gồm: thể tích nhạy của detector có dạng hình trụ làm bằng vật liệu germanium siêu tinh khiết (mức độ tạp chất thuần vào khoảng 10^{10} nguyên tử/cm³), đường kính ngoài 54mm, chiều cao 32mm. Bên trong thể tích nhạy, có một hốc khoan hình trụ với đường kính 7mm và cao 17mm. Toàn bộ thể tích nhạy và cốc chịu lực, được đặt trong cốc bảo vệ bằng nhôm đường kính 76,2mm và có độ dày 1,5mm để đảm bảo tránh được sự hấp thụ các photon có năng lượng thấp. Khoảng cách từ bề mặt thể tích nhạy đến bề mặt trong của cốc bảo vệ là 5mm để tránh sự va chạm vào bề mặt thể tích nhạy khi lắp ráp detector.



Hình 2.1: Mặt cắt dọc của detector HPGe, kích thước được tính bằng mm.

Các thông số kỹ thuật của detector HPGe GC1518:

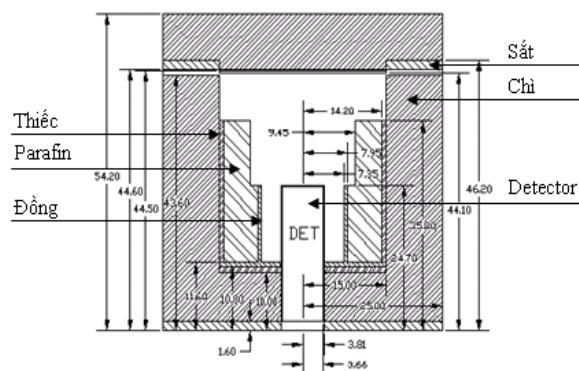
+ Hiệu suất ghi danh định: 15% so với detector nhập nháy NaI có kích thước 3inch × 3inch, tại vạch năng lượng 1332 keV của đồng vị ⁶⁰Co.

+ Độ phân giải năng lượng: 1,8 keV tại vạch năng lượng 1332 keV của đồng vị ⁶⁰Co.

+ Tỷ số đỉnh / Compton là 45:1.

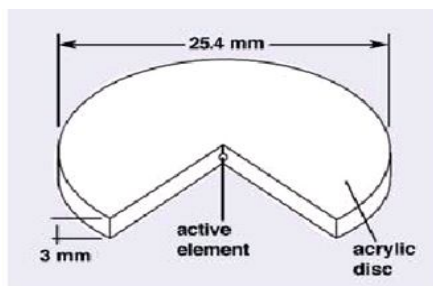
Buồng chì có dạng hình trụ vành khuyên đường kính trong 30cm, đường kính ngoài 50cm tương ứng với chiều cao trong, chiều cao ngoài lần lượt là 30cm và 50cm. Buồng chì được cấu tạo bởi 17 tấm chì, mỗi tấm dày cỡ 3cm

đặt chồng khít lên nhau và tựa vào nhau không cần khung sắt chịu lực. Các mặt trên và dưới của mỗi tấm được gia công thành 2 bậc và hai tấm liền nhau được đặt khít lên nhau để tránh các bức xạ phông vào buồng chì theo phương nằm ngang. Mặt trên của đáy buồng chì có lót các lớp đồng và thiếc từ dưới lên với cùng bề dày 0,8cm. Mặt trong thành buồng chì được bố trí gồm một lớp thiếc dày 0,8cm; một lớp parafin dày 6,25cm (nửa dưới) và 4,75cm (nửa trên) và một lớp đồng dày 0,6cm kể từ bên ngoài vào.



Hình 2.2: Mặt cắt dọc của buồng chì, kích thước được tính bằng cm.

Các đồng vị phóng xạ của hãng North American Scientific đặt tại Viện nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt bao gồm: ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{22}Na và ^{241}Am được sử dụng trong bài báo này để xây dựng đường cong hiệu suất của detector HPGe GC1518. Tất cả các nguồn phóng xạ này được gọi là những nguồn chuẩn có dạng giọt cầu, đường kính 1mm, được sản xuất dưới dạng muối kim loại các chất phóng xạ, đặt trong một giá đỡ làm bằng nhựa polyacrylic có đường kính 25,4mm với chiều cao tương ứng là 3mm. Cấu trúc của các nguồn được minh họa trong hình 2.3.



Hình 2.3: Cấu trúc các nguồn ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{22}Na và ^{241}Am của hãng North American Scientific, Inc.

2.2. Hiệu suất của Detector trong thực nghiệm

2.2.1. Công thức tính

Hiệu suất theo thực nghiệm của detector, được xác định chủ yếu dựa vào các thông số ban đầu của nguồn phóng xạ và phần diện tích dưới đỉnh thu được và được tính bằng công thức:

$$\varepsilon(E) = \frac{S}{tyUA_0U_f e^{-\frac{t_w - \ln 2}{T_{1/2}}}}$$

Trong đó:

$\varepsilon(E)$: hiệu suất detector tính tại vạch năng lượng E,

S: diện tích đỉnh năng lượng khảo sát,

y: hiệu suất phát gamma với năng lượng E,

t: thời gian đo,

A_0 : hoạt độ nguồn lúc sản xuất,

U_f : hệ số chuyển đổi từ đơn vị đo hoạt độ phóng xạ khác sang đơn vị Bq,

t_w : thời gian từ lúc xuất xưởng đến lúc đo,

$T_{1/2}$: chu kỳ bán rã của nguồn phóng xạ.

Do đó đối với nguồn chuẩn và điều kiện đo xác định thì hiệu suất detector $\varepsilon(E)$ chỉ phụ thuộc và tỉ lệ với diện tích quang đỉnh S, khi đó:

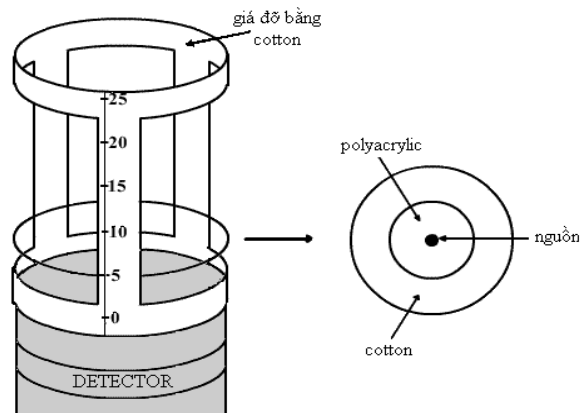
$$\varepsilon(E) = kS$$

Trong đó, k là hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào các thông số kĩ thuật của nguồn chuẩn và điều kiện đo.

2.2.2. Chuẩn bị thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm đo phổ trên hệ phổ kế gamma với detector HPGe GC 1518 tại Trung tâm Hạt nhân. Các nguồn phóng xạ ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , và ^{22}Na , được xem như những nguồn điểm, đặt trên đường trục của detector tại 3 vị trí khác nhau, cách bề mặt detector ở các khoảng cách lần lượt là 5cm, 10cm và 15cm. Nguồn được đặt trên một giá đỡ hình trụ không đáy tựa

lên bề mặt detector Hình 2.4 mô tả cách thức thực nghiệm đo phổ gamma đối với mỗi nguồn phóng xạ ứng với các khoảng cách nguồn – detector khác nhau, đặt trong buồng chì lần lượt là 5cm, 10cm và 15 cm.



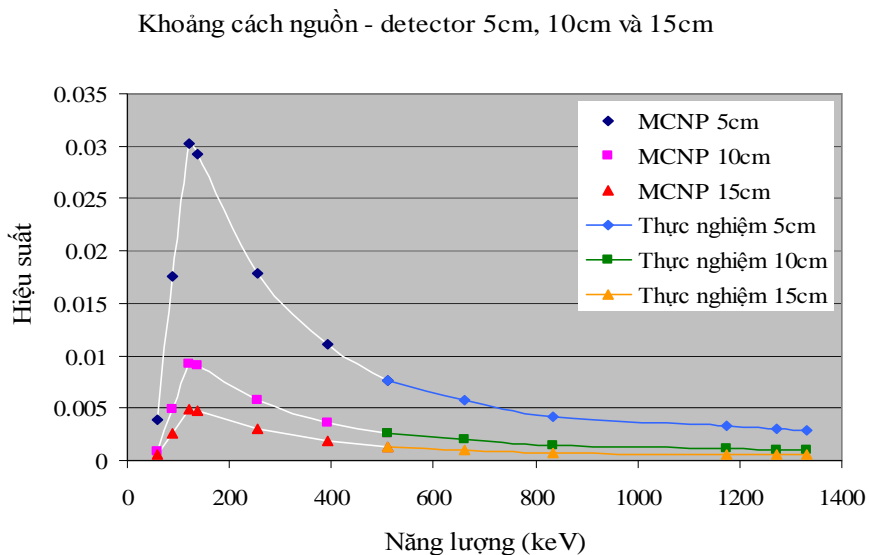
Hình 2.4: Nguồn phóng xạ đặt cách bề mặt detector 5cm.

2.1.3. Xây dựng đường cong hiệu suất thực nghiệm

Kết quả hiệu suất thực nghiệm, đối với các khoảng cách khác nhau từ nguồn đến detector được trình bày trong Bảng 2.1 và Hình 2.5 tương ứng, trong đó, tại vạch năng lượng 59 keV quan tâm của đồng vị ^{241}Am , hiệu suất thực nghiệm không được detector ghi nhận.

Bảng 2.1: Dữ liệu thực nghiệm về hiệu suất ghi ứng với các khoảng cách khác nhau đối với các nguồn ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , và ^{22}Na .

Nguồn	Năng lượng (keV)	D = 5cm	D = 10cm	D = 15cm
^{241}Am	59	–	–	–
^{22}Na	511	0,00760	0,00264	0,00132
^{137}Cs	662	0,00580	0,00203	0,00101
^{54}Mn	834	0,00414	0,00147	0,00074
^{60}Co	1173	0,00325	0,00117	0,00058
^{22}Na	1274	0,00298	0,00106	0,00054
^{60}Co	1332	0,00287	0,00102	0,00051



Hình 2.5: Đường cong hiệu suất thực nghiệm ở các khoảng cách 5cm, 10cm và 15cm.

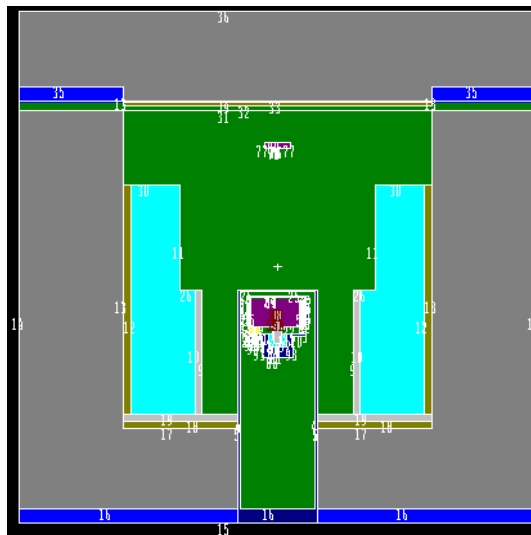
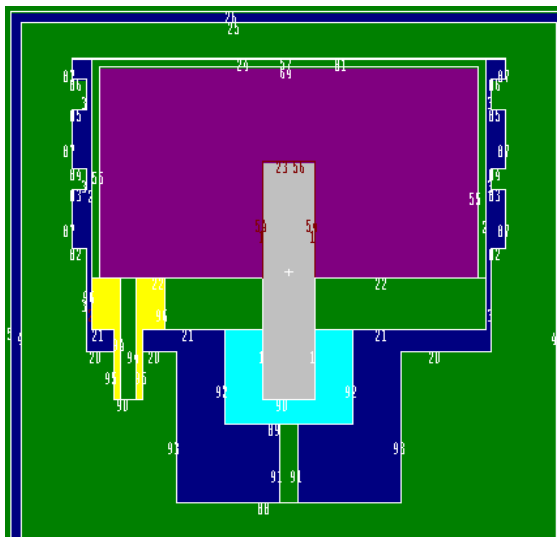
Từ kết quả trên, ta nhận thấy đường cong hiệu suất thực nghiệm theo năng lượng của detector đã bị thay đổi, khi tiến hành dịch chuyển vị trí của nguồn ứng với các khoảng cách so với detector lần lượt 5cm, 10cm và 15cm. Cụ thể, ứng với mỗi vạch năng lượng nhất định thì hiệu suất ghi nhận càng lớn, khi khoảng cách này càng gần, nghĩa là đường cong hiệu suất detector phụ thuộc vào việc thay đổi khoảng cách nguồn – detector. Nhưng không thể xây dựng đường cong hiệu suất detector theo năng lượng một cách hoàn chỉnh trong thực nghiệm, vì thực tế số nguồn chuẩn ứng với vùng năng lượng thấp còn bị giới hạn.

3. Tính toán hiệu suất trong mô phỏng phổ gamma bằng chương trình MCNP4C2

3.1. Mô phỏng hệ phổ kế gamma

Để xây dựng đường cong hiệu suất detector theo năng lượng một cách chính xác và đầy đủ, đặc biệt đối với những nguồn phát tia gamma trong vùng năng lượng thấp, việc sử dụng chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 được xem là một trong những phương pháp hữu ích trong quá trình đi đến thiết lập đường cong hiệu suất tính toán hoàn chỉnh bằng cách bổ sung một số nguồn

phát xạ gamma có năng lượng E thấp hơn một số nguồn trong thực nghiệm, cụ thể $E \leq 500$ keV. Trong chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2, hệ phổ kế gamma sử dụng detector germanium siêu tinh khiết được mô hình hóa thông qua việc mô tả input. Cấu trúc hình học cũng như thành phần vật liệu của detector và buồng chì trong mô phỏng bằng chương trình MCNP4C2 được trình bày trong Hình 3.1 và 3.2 tương ứng.



Hình 3.1: Cấu hình của detector HPGe.

Hình 3.2: Cấu hình buồng chì

Các nguồn được chọn mô phỏng bằng MCNP4C2 được trình bày trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1: Các nguồn phóng xạ được chọn mô phỏng trong MCNP4C2

Nguồn	Năng lượng (keV)	Xác suất phát photon
²⁴¹ Am	59	35,9
¹⁰⁹ Cd	88	3,61
⁵⁷ Co	122	85,6
⁵⁷ Co	136	10,68
¹¹³ Sn	255	1,82
¹¹³ Sn	392	64,02
²² Na	511	179,79
¹³⁷ Cs	662	85,21
⁵⁴ Mn	834	99,98
⁶⁰ Co	1173	99,86
²² Na	1274	99,94
⁶⁰ Co	1332	99,98

3.2. Xây dựng đường cong hiệu suất bằng chương trình MCNP4C2

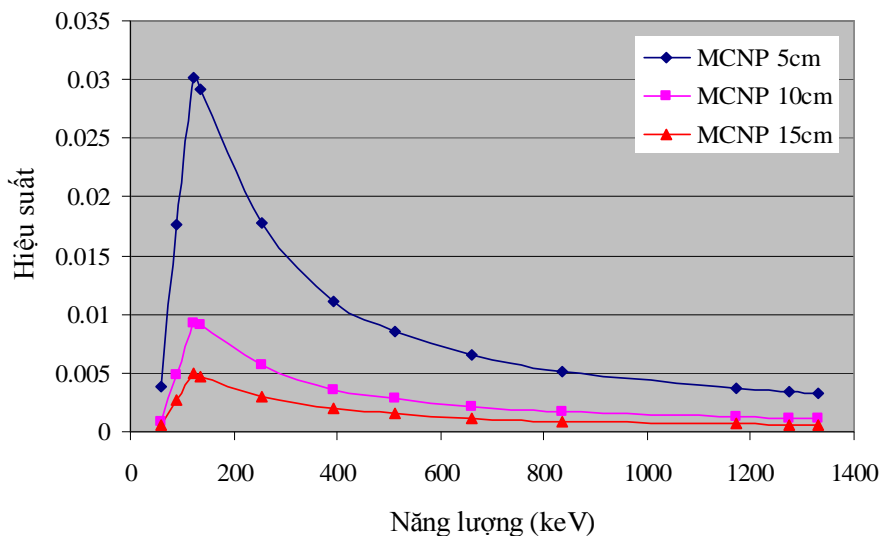
Việc xây dựng đường cong hiệu suất tính toán bằng chương trình mô phỏng Mone Carlo MCNP4C2, được tiến hành lần lượt tại 12 vạch năng lượng gồm 59 keV (^{241}Am), 88 keV (^{109}Cd), 122 keV (^{57}Co), 136 keV (^{57}Co), 255 keV (^{113}Sn), 392 keV (^{113}Sn), 511 keV (^{22}Na), 662 keV (^{137}Cs), 834 keV (^{54}Mn), 1173 keV (^{60}Co), 1274 keV (^{22}Na) và 1332 keV (^{60}Co); đối với 3 vị trí đặt nguồn cách detector lần lượt 5cm, 10cm và 15cm; có nghĩa là cần phải mô tả input của chương trình cho 36 trường hợp khác nhau. Kết quả chạy chương trình mô phỏng phải đảm bảo số đếm đóng góp trong mỗi quang đỉnh lớn hơn 10000, nghĩa là sai số phép đo hiệu suất tính toán không lớn hơn 1% cho tất cả các trường hợp.

Kết quả hiệu suất tính toán theo năng lượng của detector bằng chương trình MCNP4C2 đối với sự thay đổi vị trí nguồn được trình bày trong Bảng 3.2 và Hình 3.3 tương ứng.

Bảng 3.2: Hiệu suất mô phỏng đối với các nguồn năng lượng.

Nguồn	Năng lượng (keV)	D = 5cm	D = 10cm	D = 15cm
^{241}Am	59	0,00383	0,00082	0,00054
^{109}Cd	88	0,00176	0,00485	0,00265
^{57}Co	122	0,03022	0,00923	0,00491
^{57}Co	136	0,02917	0,00904	0,00476
^{113}Sn	255	0,01784	0,00571	0,00306
^{113}Sn	392	0,01103	0,00362	0,00193
^{22}Na	511	0,00857	0,00283	0,00151
^{137}Cs	662	0,00650	0,00215	0,00114
^{54}Mn	834	0,00510	0,00168	0,00090
^{60}Co	1173	0,00372	0,00123	0,00066
^{22}Na	1274	0,00347	0,00115	0,00061
^{60}Co	1332	0,00330	0,00109	0,00058

Khoảng cách nguồn - detector 5 cm, 10 cm và 15 cm



Hình 3.3: Đường cong hiệu suất tính toán bằng chương trình MCNP4C2 ở các khoảng cách 5cm, 10cm và 15cm.

Bảng 3.2 và Hình 3.3 cho thấy dạng đường cong hiệu suất detector theo năng lượng thay đổi khá rõ khi khoảng cách từ nguồn đến detector thay đổi. Trong đó, ứng với mỗi mức năng lượng cụ thể, hiệu suất ghi càng lớn khi khoảng cách từ nguồn đến detector càng gần, chẳng hạn, xét tại vạch năng lượng 136 keV, ở khoảng cách 15cm hiệu suất detector có giá trị 0,00476; trong khi đó tại các khoảng cách 10cm và 5cm thì kết quả hiệu suất tính toán này lần lượt là 0,00904 và 0,02917.

Ngoài ra, với đường cong hiệu suất được xây dựng từ kết quả tính toán trong MCNP4C2 có thể nhận thấy giá trị hiệu suất detector luôn đạt cực đại tại vạch 122 keV với khoảng cách nguồn – detector thay đổi, nghĩa là đối với vùng năng lượng thấp hơn 122 keV thì hiệu suất detector có xu hướng tăng dần theo năng lượng, ngược lại hiệu suất sẽ giảm dần trong vùng năng lượng lớn hơn 122 keV đối với các nguồn phóng xạ:

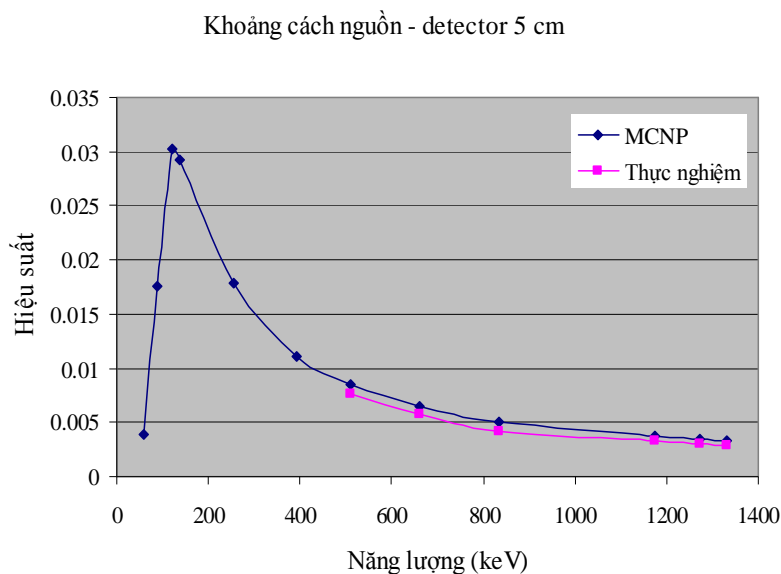
+ Tại các vạch ứng với vùng năng lượng thấp của bức xạ gamma ($E < 122$ keV): trước khi các photon phát ra từ nguồn, đến tương tác trong vùng thể tích

nhạy của detector, chúng phải trải qua quá trình trao đổi và mất mát năng lượng với các vật liệu bên ngoài detector, chẳng hạn như lớp nhôm bảo vệ, không khí, bề dày lớp chết..., vì các photon này mang năng lượng thấp, do đó phần lớn năng lượng của chúng đã bị các vật liệu trên giữ lại và năng lượng hao phí này không được detector ghi nhận, đây là lý do tại sao hiệu suất detector trong trường hợp này thường nhỏ và tăng dần khi năng lượng của photon tăng.

+ Tại các vạch ứng với vùng năng lượng cao của bức xạ gamma ($E > 122$ keV): trong trường hợp này, các photon phát ra từ nguồn mang năng lượng lớn, trong khi thể tích nhạy của detector có giá trị giới hạn, vì thế photon nào mang năng lượng càng lớn thì càng có nhiều khả năng thoát ra khỏi vùng làm việc của detector hơn, kết quả hiệu suất ghi giảm.

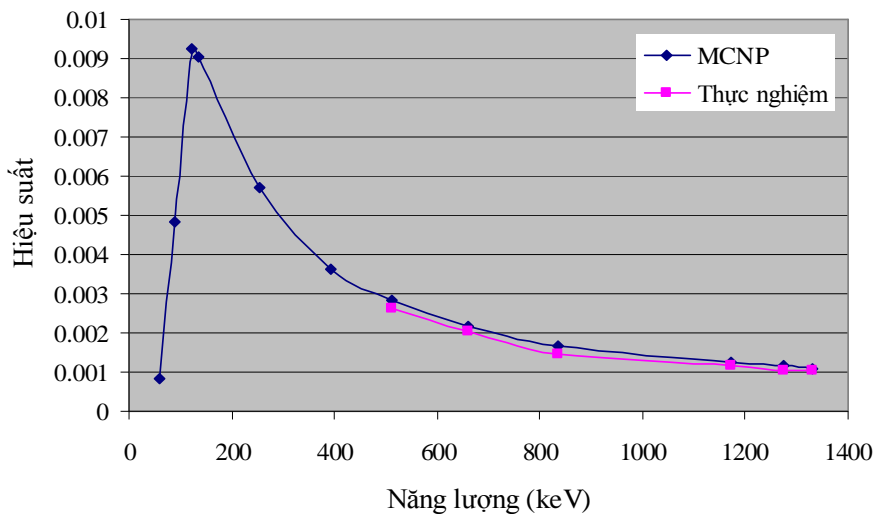
4. Kết quả và thảo luận

Số liệu hiệu suất thực nghiệm và kết quả tính toán hiệu suất bằng chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 đối với detector HPGe được trình bày trong Hình 4.1 đối với trường hợp khoảng cách nguồn – detector 5cm, hình 4.2 đối với trường hợp 10cm và đối với trường hợp 15cm là Hình 4.3 tương ứng.



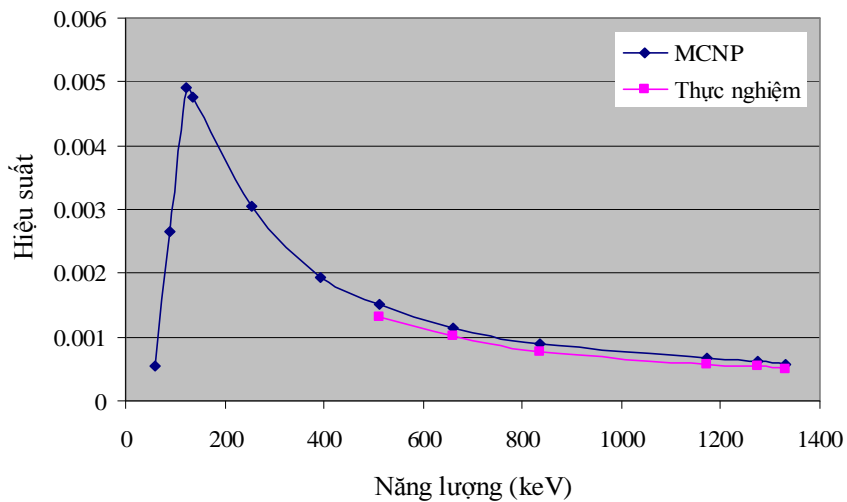
Hình 4.1: So sánh đường cong hiệu suất theo năng lượng ở khoảng cách 5cm trong thực nghiệm và mô phỏng MCNP

Khoảng cách nguồn - detector 10 cm



Hình 4.2: So sánh đường cong hiệu suất theo năng lượng ở khoảng cách 10cm trong thực nghiệm và mô phỏng MCNP

Khoảng cách nguồn - detector 15 cm



Hình 4.3: So sánh đường cong hiệu suất theo năng lượng ở khoảng cách 15cm trong thực nghiệm và mô phỏng MCNP

Việc mô phỏng đường cong hiệu suất detector theo năng lượng của nguồn điểm bằng chương trình mô phỏng MCNP4C2 tương đối phù hợp với kết quả thực nghiệm, dựa trên việc so sánh đường cong hiệu suất tính toán với đường cong hiệu suất trong thực nghiệm bằng các Hình 4.1, 4.2 và 4.3 tương ứng tại các khoảng cách giữa nguồn và detector lần lượt là 5cm, 10cm và 15cm. Đồng thời trong quá trình mô phỏng, việc xây dựng đường cong hiệu suất detector đã hoàn chỉnh hơn với sự đóng góp của các nguồn phát gamma có năng lượng thấp.

Đường cong hiệu suất theo năng lượng trong mô phỏng MCNP4C2 luôn nằm về phía trên so với thực nghiệm, cụ thể khi so sánh kết quả đo đạc thực nghiệm với việc tính toán hiệu suất trong mô phỏng MCNP4C2, ta thấy rằng kết quả tính toán trong mô phỏng dựa trên bộ số liệu được cung cấp bởi hãng Canberra Industries, Inc. luôn lớn hơn, với mức sai biệt trung bình là 15,67% tại vị trí 5cm; 7,95% tại vị trí 10cm và tại vị trí 15cm là 14,9%; nghĩa là kết quả hiệu suất được mô phỏng dựa trên các số liệu của nhà sản xuất luôn cao hơn so với thực nghiệm.

Sự phù hợp với kết quả thực nghiệm cho thấy đường cong hiệu suất mô phỏng, mà chúng tôi xây dựng dựa trên MCNP4C2 là đủ tin cậy để nghiên cứu bằng mô phỏng những vấn đề liên quan đến hệ phổ kế này.

Như vậy phương pháp mô phỏng đường cong hiệu suất với chương trình MCNP4C2, có thể hỗ trợ cho người làm thực nghiệm xây dựng đường cong hiệu suất theo năng lượng đủ chính xác cho hệ đo khi ta không có nhiều nguồn chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Kenneth Shultis and Richard E. Faw (2006), *An MCNP Primer*, Kansas State University, Manhattan.
- [2] J. F. Briesmeister (2000), *MCNP – A General Purpose Monte Carlo N – Particle Transport Code*, Version 4C2, Los Alamos, LA..
- [3] G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, third edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- [4] Canberra (2000), *Catalogue – Germanium detector*, Canberra Industries Inc.
- [5] Nguyễn Đình Gấm (2002-2003), giáo trình *Thiết bị ghi bức xạ hạt nhân*, Trường ĐHKHTN TPHCM.
- [6] Võ Văn Hoàng (2004), giáo trình *Mô phỏng trong vật lý*, Trường ĐHKHTN, NXB ĐHQG TPHCM.
- [7] Trần Phong Dũng - Châu Văn Tạo - Nguyễn Hải Dương (2005), *Phương pháp ghi bức xạ ion hóa*, Trường ĐHKHTN, NXB ĐHQG TPHCM.
- [8] Lê Văn Ngọc (2006), *Bài giảng tại lớp tập huấn MCNP*, Trường ĐHKHTN.

Tóm tắt

Bài báo đề cập đến việc sử dụng chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 để mô phỏng hệ phổ kế gamma HPGe (High Pure Germanium) GC1518 của hãng Canberra Industries, Inc. đặt tại Trung tâm Hạt nhân Tp. Hồ Chí Minh với mục đích thiết lập, đánh giá đường cong hiệu suất theo năng lượng của detector HPGe để ứng dụng vào công việc phân tích và đo đạc sau này. Chúng tôi đã xây dựng đường cong hiệu suất tính toán bằng chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 được tiến hành lần lượt tại 12 vạch năng lượng gồm 59 keV (Am^{241}), 88 keV (Cd^{109}), 122 keV (Co^{57}), 136 keV (Co^{57}), 255 keV (Sn^{113}), 392 keV (Sn^{113}), 511 keV (Na^{22}), 662 keV (Cs^{137}), 834 keV (Mn^{54}), 1173 keV (Co^{60}), 1274 keV (Na^{22}) và 1332 keV (Co^{60}); đối với 3 vị trí đặt nguồn cách detector lần lượt 5cm, 10cm và 15cm. Đường cong hiệu suất mô phỏng sau đó được so sánh với đường cong thực nghiệm được xây dựng tại các vạch 59 keV (Am^{241}), 511 keV (Na^{22}), 662 keV (Cs^{137}), 834 keV (Mn^{54}), 1173 keV (Co^{60}), 1274 keV (Na^{22}) và 1332 keV (Co^{60}). Kết quả cho thấy có sự phù hợp khá tốt giữa đường cong hiệu suất xây dựng từ chương trình mô phỏng và từ thực nghiệm.

Abstract**Building the efficiency curve of HPGe detector by simulation method using MCNP4C2 program**

The article is about Monte Carlo MCNP4C2 program is used to simulate gamma-ray spectrometry GC1518 with HPGe (High Pure Germanium) detector of Canberra Industries, Inc. at Centre for Nuclear Techniques in HCM city. The aim of this research is establishing and assessing the energy-dependent efficiency curve of HPGe detector in order to serve analyses and measurements later. With Monte Carlo MCNP4C2, the simulated efficiency curve was one after the other conducted at 12 peaks of energy including 59 keV (Am^{241}), 88 keV (Cd^{109}), 122 keV (Co^{57}), 136 keV (Co^{57}), 255 keV (^{113}Sn), 392 keV (Sn^{113}), 511 keV (Na^{22}), 662 keV (Cs^{137}), 834 keV (Mn^{54}), 1173 keV (Co^{60}), 1274 keV (Na^{22}) and 1332 keV (Co^{60}) for the three locations of source that were placed at 5cm, 10cm and 15cm far from detector. After that, these simulated efficiency curves were compared with the experimental efficiency curve at peaks 59 keV (Am^{241}), 511 keV (Na^{22}), 662 keV (Cs^{137}), 834 keV (Mn^{54}), 1173 keV (Co^{60}), 1274 keV (Na^{22}) and 1332 keV (Co^{60}). The findings show that there is a pretty good agreement between the efficiency curves built by simulated program and the ones from experimenting.