NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC ỐNG CHUẨN TRỰC SỬ DỤNG TRONG PHÉP ĐO PHỔ GAMMA BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP4C2

VÕ XUÂN ÂN*

Khoa Công nghệ Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

**Tác giả liên hệ: voxuanan@iuh.edu.vn*

DOIs: https://www.doi.org/10.46242/jstiuh.v81i3.6010

Tóm tắt. Trong nhiều năm qua, ống chuẩn trực bằng chì đã được áp dụng rộng rãi để tạo ra chùm tia gamma hẹp trong các phép đo phổ gamma. Thay đổi kích thước ống chuẩn trực là công việc mất nhiều thời gian và chi phí, khó có thể thực hiện trong thực tế thí nghiệm để xác định kích thước phù hợp. Ngày nay đã có nhiều công cụ mô phỏng Monte Carlo hữu ích và đáng tin cậy, trong đó có chương trình máy tính mô phỏng MCNP4C2, cho phép thiết kế thí nghiệm với các thông số vật lý được thay đổi linh hoạt, kết quả tính toán phù hợp tốt với thực nghiệm, đặc biệt là tiết kiệm thời gian và chi phí. Trong công trình này, chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 đã được sử dụng để xây dựng mô hình mô phỏng để nghiên cứu xác định kích thước hình học của ống chuẩn trực bằng chì. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, đối với ống chuẩn trực hình trụ tròn, bán kính ngoài được lấy bằng bán kính tinh thể đầu dò và chiều dài được lấy bằng khoảng cách nguồn - đầu dò là lựa chọn phù hợp.

Từ khoá. ống chuẩn trực, phổ kế gamma, đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết HPGe.

1 MỞ ĐẦU

Trong lĩnh vực vật lý hạt nhân thực nghiệm, ống chuẩn trực bằng chì được sử dụng để tạo ra chùm gamma hẹp. Chúng có mặt trong bố trí thực nghiệm tính toán bề dày bão hoà của kim loại bằng phương pháp tán xạ gamma [1], trong kỹ thuật quét gamma cắt lớp để phân tích thùng chất thải hạt nhân [2, 3], trong nghiên cứu sự suy giảm gamma trong vật liệu [4], trong kỹ thuật chụp gamma cắt lớp bằng phương pháp gamma phát xạ [5], ... Tuy nhiên, trong các nghiên cứu nói trên ống chuẩn trực được chế tạo theo kinh nghiệm và tuỳ thuộc vào thí nghiệm cụ thể. Cho đến nay kích thước hình học của ống chuẩn trực bằng chì chưa được nghiên cứu chi tiết. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất nghiên cứu xác định kích thước hình học của ống chuẩn trực bằng chì bằng chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2. Thiết kế thí nghiệm dựa trên hệ phổ kế gamma dùng đầu dò bán dẫn HPGe GC1518 đặt tại Trung tâm Hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh với cấu hình gồm nguồn phóng xạ ^{137}Cs, ống chuẩn trực và đầu dò được bố trí đồng trục theo thứ tự đó.

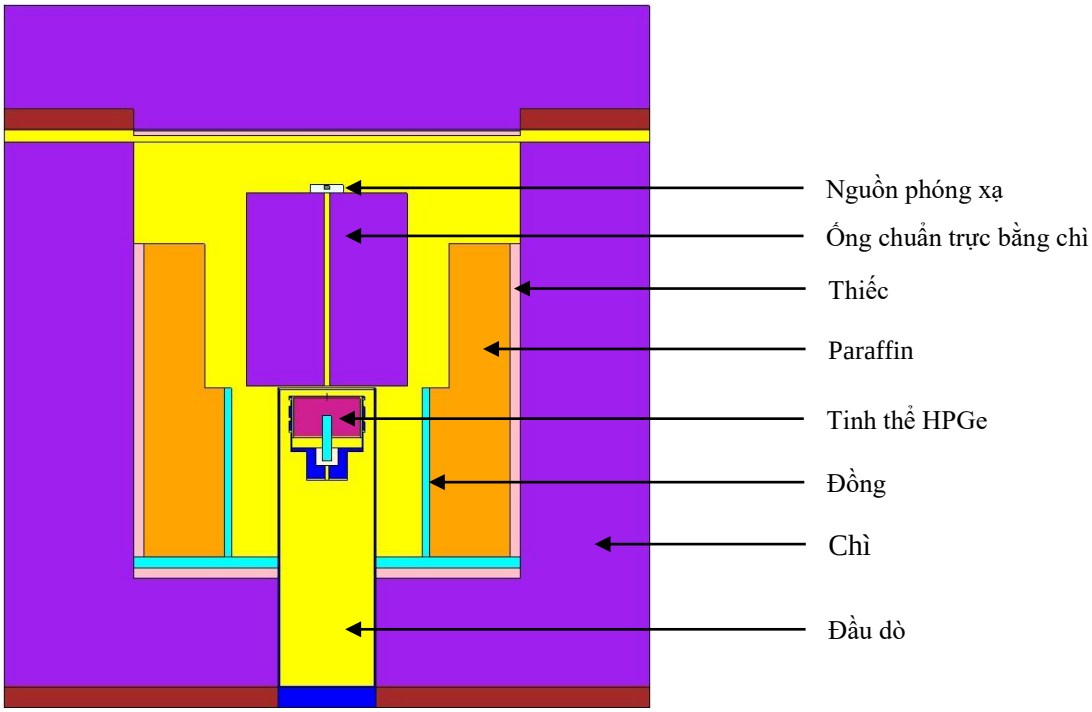
2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Hệ phổ kế gamma

Hệ phổ kế gamma dùng đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết HPGe kiểu GC1518 của hãng Mirion Technologies Inc., Hoa kỳ đặt tại Trung tâm Hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh hiện vẫn còn đang hoạt động ổn định sau gần 30 năm qua kể từ khi đưa vào sử dụng năm 1996. Cấu trúc tổng quát buồng đo của hệ phổ kế gamma gồm buồng chì che chắn phông môi trường, nguồn phát tia gamma, ống chuẩn trực, đầu dò.

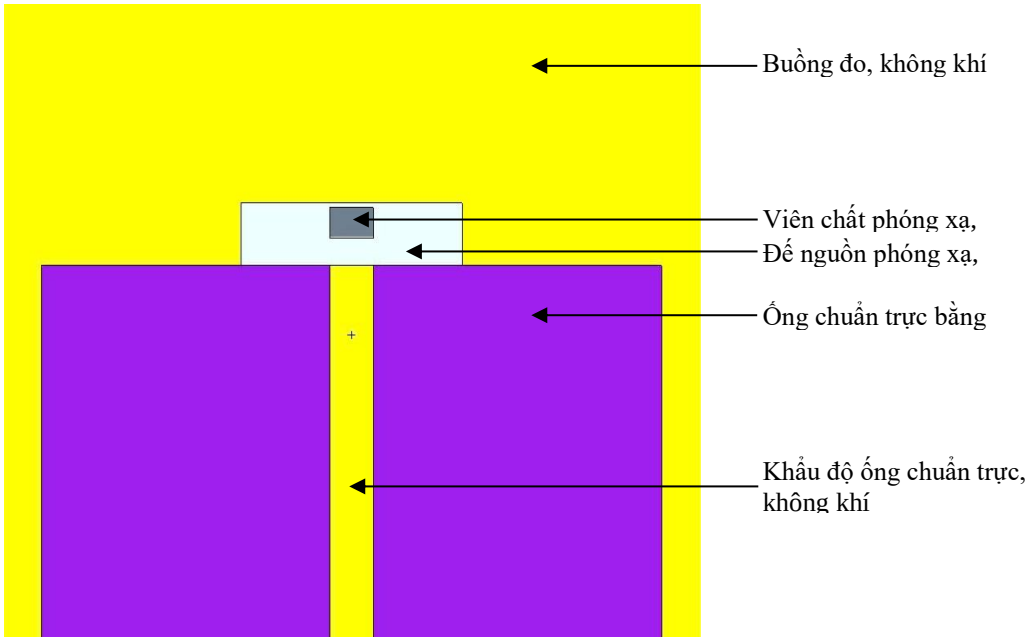
Buồng chì là loại tự chế tạo gồm các lớp chì, thiếc, paraffin và đồng tính từ ngoài vào. Không gian bên trong buồng chì, dọc theo trục đối xứng, từ trên xuống, gồm nguồn phóng xạ dạng điểm ^{137}Cs, ống chuẩn trực bằng chì áp sát nguồn phóng xạ và đầu dò được bố trí như hình 1 [6].

© 2026 Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh



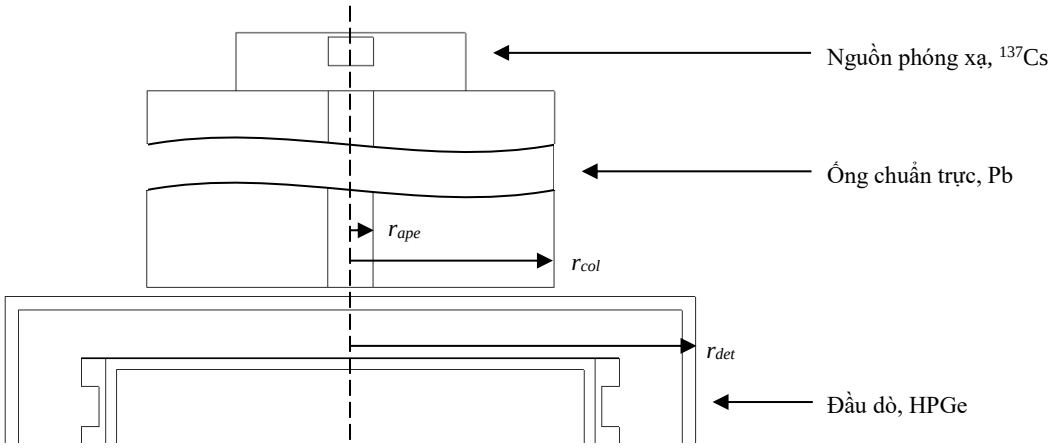
Hình 1. Mặt cắt đứng của buồng đo phổ gamma với nguồn phóng xạ và ống chuẩn trực điển hình vẽ bằng chương trình MCNP4C2. Trường hợp nguồn đặt cách đầu dò 15 cm, ống chuẩn trực bằng chì bán kính khẩu độ 0,25 cm và bán kính ngoài 5,35 cm.

Nguồn phóng xạ ^{137}Cs dạng đĩa tròn làm bằng nhựa epoxy với đường kính 25,4 mm và chiều cao 6,35 mm, ở giữa có viên chất phóng xạ dạng trụ tròn với đường kính 5 mm và chiều cao 3,18 mm được bố trí đồng trục như trong hình 2 [7].



Hình 2. Mặt cắt đứng của nguồn phóng xạ vẽ bằng chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2. Cấu trúc và kích thước hình học do hãng Eckert & Ziegler,

Ống chuẩn trực dạng hình trụ tròn có bán kính khẩu độ 0,25 cm bằng với bán kính viên chất phóng xạ. Bán kính ngoài và chiều dài thông thường được lựa chọn theo kinh nghiệm sao cho che chắn toàn bộ tia gamma phát ra từ nguồn. Chì là nguyên tố nặng, hấp thụ mạnh tia gamma, phổ biến trong tự nhiên, dễ tìm nên được sử dụng làm ống chuẩn trực. Thực vậy, với mật độ mặt tấm chì bằng 10 g/cm^2 sẽ làm giảm bớt một nửa cường độ chùm gamma có năng lượng 1000 keV hoặc mật độ mặt tấm chì bằng 100 g/cm^2 tương đương kích thước dài 8,8 cm thì cường độ chùm gamma có năng lượng 1000 keV giảm đi 1000 lần [8].



Hình 3. Ống chuẩn trực cùng với nguồn phóng xạ và đầu dò được bố trí đồng trục với nhau. Trong đó: r_{ape}, r_{col} và r_{det} lần lượt là bán kính khẩu độ, bán kính ống chuẩn trực và bán kính đầu dò.

2.2 Chương trình mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2

MCNP4C2 là một trong những chương trình máy tính ứng dụng phương pháp Monte Carlo để mô phỏng quá trình vận chuyển của neutron, photon và electron hoặc kết hợp neutron/photon/electron trong môi trường vật chất, kể cả tính toán trị riêng trong những hệ thống tới hạn [9]. Đối với việc mô phỏng phổ gamma, các kết quả nghiên cứu trong những năm gần đây của nhiều tác giả cho thấy có sự phù hợp tốt giữa tính toán MCNP4C2 với thực nghiệm [10, 11, 12].

Để thu thập phổ gamma mô phỏng, cấu trúc tổng quát buồng đo của hệ phổ kế gamma gồm buồng chì che chắn phông môi trường, nguồn phát tia gamma, đầu dò được mô tả trong một input chuẩn của chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2 được trình bày ở phần phụ lục. Số liệu đầu vào về thành phần vật liệu và cấu trúc hình học của buồng đo đã được trình bày chi tiết trong công trình [6].

Trong mô hình mô phỏng MCNP4C2, ống chuẩn trực bằng chì được thiết kế dạng hình trụ tròn có bán kính trong (bán kính khẩu độ ống chuẩn trực) r_{ape} = 0,25 cm bằng với bán kính viên chất phóng xạ và giữ không thay đổi. Trong khi đó, bán kính ngoài (bán kính ống chuẩn trực) thay đổi từ r_{col} = 0,35 cm đến 9,35 cm và chiều dài thay đổi từ l = 0,1 cm đến 14,9 cm theo từng bước 1 mm. Do đó, đối với sự thay đổi bán kính ngoài có 91 trường hợp và chiều dài có 149 trường hợp. Số trường hợp tính toán mô phỏng MCNP4C2 là 13559. Việc tính toán mô phỏng MCNP4C2 được thực hiện bằng máy vi tính Dell Inc. OptiPlex 3020, Intel(R) Core(TM) i7-4758T 2,2GHz, thời gian trung bình cho mỗi trường hợp tính toán mô phỏng MCNP4C2 khoảng 1,25 phút.

Tại vị trí nguồn phóng xạ, tia gamma phát đẳng hướng, đối xứng cầu trong không gian 4π, phần lớn các tia gamma bị chặn bởi bề dày lớp chì của ống chuẩn trực, chỉ có những tia gamma cùng phương với ống chuẩn trực hoặc những tia gamma tán xạ với thành ống bên trong ống chuẩn trực hoặc tán xạ với vật liệu cấu thành buồng chì, đi vào đầu dò và bị hấp thụ một phần hoặc hấp thụ toàn bộ năng lượng của nó. Trong mỗi trường hợp, số lịch sử tia gamma phát ra từ nguồn phóng xạ được lựa chọn là 3200000 với sai số thống kê nhỏ hơn 0,06%.

Để tính toán số đếm đầu dò ghi nhận khi tia gamma xuyên qua khẩu độ ống chuẩn trực, trong thiết kế thí nghiệm, mô hình mô phỏng được xây dựng đối với hai trường hợp sau đây:

(i) Không gian khẩu độ ống chuẩn trực là không khí giống như thực tế,

(ii) Không gian khẩu độ ống chuẩn trực lấp đầy chì (Pb).

Số đếm toàn phần đầu dò ghi nhận đối với trường hợp (i) được xác định bởi:

$N_{tot}^{air} = N_{ape}^{air} + N_{out}^{air} + N_{sca}^{air}$, $r_{col} < r_{det}$ (1)

$N_{tot}^{air} = N_{ape}^{air} + N_{sca}^{air}$, $r_{col} \geq r_{det}$ (2)

Trong đó: N_{tot}^{air}, N_{ape}^{air}, N_{out}^{air}, N_{sca}^{air} lần lượt là số đếm toàn phần, số đếm khi tia gamma xuyên qua khẩu độ ống chuẩn trực, số đếm khi tia gamma đi bên ngoài ống chuẩn trực và số đếm khi tia gamma tán xạ lên thành vật liệu buồng đo trước khi đến đầu dò đối với trường hợp không gian khẩu độ ống chuẩn trực là không khí. r_{col} và r_{det} lần lượt là bán kính ống chuẩn trực và bán kính đầu dò.

Số đếm toàn phần đầu dò ghi nhận đối với trường hợp (ii) được xác định bởi:

$N_{tot}^{Pb} = N_{out}^{Pb} + N_{sca}^{Pb}$, $r_{col} < r_{det}$ (3)

$N_{tot}^{Pb} = N_{sca}^{Pb}$, $r_{col} \geq r_{det}$ (4)

Trong đó: N_{tot}^{Pb}, N_{out}^{Pb} và N_{sca}^{Pb} lần lượt là số đếm toàn phần, số đếm khi tia gamma đi bên ngoài ống chuẩn trực và số đếm khi tia gamma tán xạ lên thành vật liệu buồng đo trước khi đến đầu dò đối với trường hợp không gian khẩu độ ống chuẩn trực lấp đầy chì (Pb).

Trong tính toán mô phỏng MCNP4C2, đối với cả hai trường hợp (i) và (ii), hầu hết các thông số đầu vào đều giống nhau, chỉ khác nhau một thông số duy nhất là vật liệu trong không gian khẩu độ ống chuẩn trực, do đó:

$N_{out}^{Pb} = N_{out}^{air}$ (5)

và

$N_{sca}^{Pb} = N_{sca}^{air}$ (6)

Nên khi $r_{col} < r_{det}$ hoặc $r_{col} \geq r_{det}$, số đếm khi tia gamma xuyên qua khẩu độ ống chuẩn trực được xác định bởi:

$N_{ape}^{air} = N_{tot}^{air} - N_{tot}^{Pb}$ (7)

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

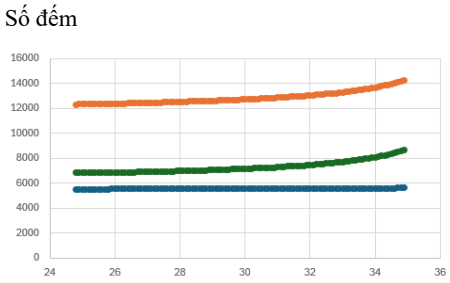
Để xác định sự phụ thuộc của số đếm tia gamma từ nguồn qua khẩu độ ống chuẩn trực đi vào đầu dò theo chiều cao ống chuẩn trực, có 10 giá trị bán kính ngoài ống chuẩn trực từ 0,35 cm đến 9,35 cm được lựa chọn khảo sát, hai giá trị liền kề khác nhau 1 cm thay cho 93 trường hợp đã tính toán mà không ảnh hưởng đến bản chất của vấn đề và được trình bày trong bảng 1 và các hình 4a đến 4j.

Bảng 1. Số đếm tia gamma từ nguồn xuyên qua khẩu độ ống chuẩn trực đến đầu dò, N_{ape}^{air} , và trung bình số đếm trong phạm vi từ 3,35 cm đến 9,35 cm.

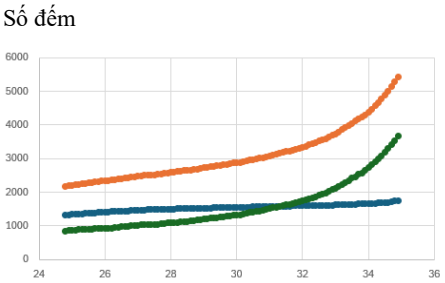
Chiều dài ống chuẩn trực, *h* (cm)	Bán kính ống chuẩn trực, r_o (cm)										*)	Độ lệch chuẩn tương đối
	0,35	1,35	2,35	3,35	4,35	5,35	6,35	7,35	8,35	9,35		
15	7295	1560	1146	1053	1005	967	946	936	933	926	967 ± 47	4,85%
14	7346	1633	1219	1128	1079	1039	1016	1005	1002	995	1038 ± 49	4,74%
13	7404	1716	1302	1214	1166	1124	1099	1086	1083	1076	1121 ± 51	4,59%
12	7472	1812	1398	1312	1266	1223	1197	1181	1177	1170	1218 ± 53	4,35%
11	7550	1925	1509	1425	1382	1340	1313	1295	1289	1282	1332 ± 54	4,02%
10	7642	2059	1644	1561	1520	1479	1453	1434	1427	1416	1470 ± 54	3,65%
9	7752	2223	1813	1727	1688	1648	1623	1604	1596	1583	1638 ± 53	3,22%
8	7886	2429	2025	1932	1900	1858	1834	1813	1807	1791	1848 ± 52	2,81%
7	8058	2704	2308	2206	2174	2137	2113	2093	2086	2069	2125 ± 50	2,34%
6	8280	3071	2679	2574	2543	2510	2480	2465	2458	2439	2495 ± 49	1,96%

*) Trung bình số đếm trong phạm vi từ 3,35 cm đến 9,35 cm

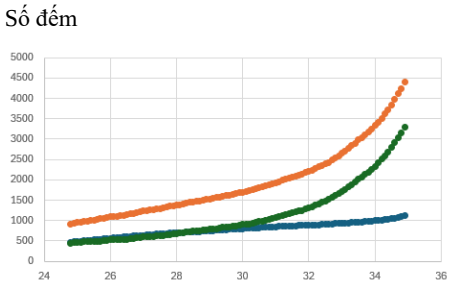
Số đếm sai khác không đáng kể khi bán kính ống chuẩn trực lớn hơn 2,35 cm do độ lệch chuẩn tương đối của số đếm trong phạm vi bán kính ống chuẩn trực từ 3,35 cm đến 9,35 cm nhỏ hơn 5% được trình bày ở cột cuối cùng của bảng 1. Điều này có thể giải thích được rằng, trường hợp bán kính ống chuẩn trực lớn hơn bán kính tinh thể đầu dò (r_{det} = 2,7 cm), chỉ có tia gamma xuất phát từ nguồn phóng xạ đi qua khẩu độ ống chuẩn trực, còn lại sẽ bị che chắn hoàn toàn. Do đó, trong thực tế chế tạo ống chuẩn trực, bán kính ngoài ống chuẩn trực được lấy bằng bán kính tinh thể đầu dò là lựa chọn phù hợp.



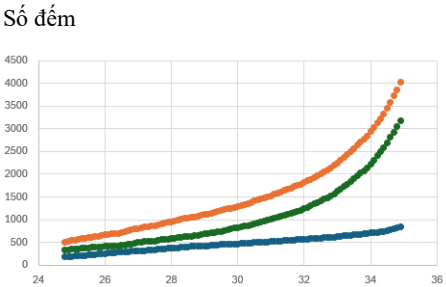
a) r_{col} = 0,35 cm



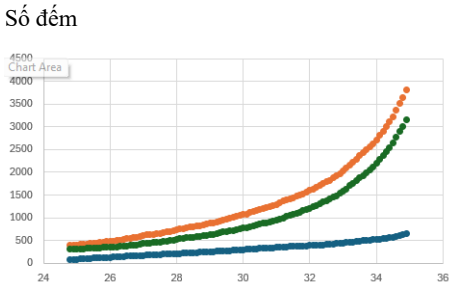
b) r_{col} = 1,35 cm



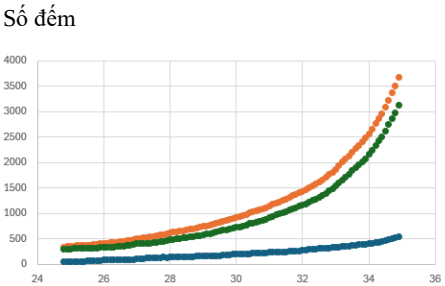
c) r_{col} = 2,35 cm



d) r_{col} = 3,35 cm



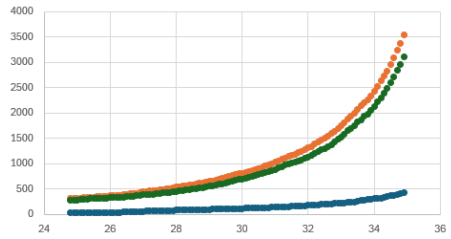
e) r_{col} = 4,35 cm



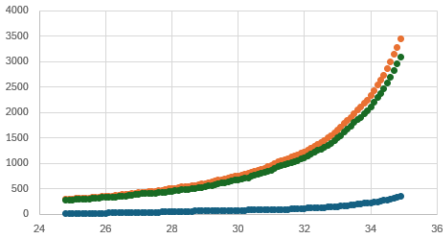
f) r_{col} = 5,35 cm

Số đếm

Số đếm



z (cm), chiều dài = 39,8 - z (cm)

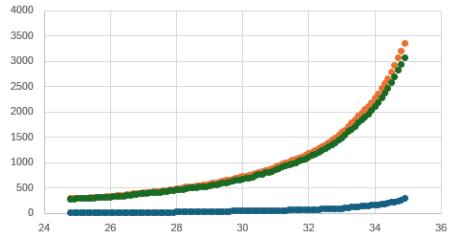


z (cm), chiều dài = 39,8 - z (cm)

g) r_{col} = 6,35 cm

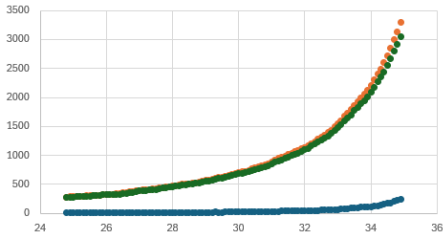
h) r_{col} = 7,35 cm

Số đếm



z (cm), chiều dài = 39,8 - z (cm)

Số đếm



z (cm), chiều dài = 39,8 - z (cm)

i) r_{col} = 8,35 cm

j) r_{col} = 9,35 cm

Hình 4. Sự phụ thuộc của số đếm tia gamma đi qua khẩu độ ống chuẩn trực vào chiều dài và bán kính ngoài ống chuẩn trực.

- Số đếm đầu dò ghi nhận khẩu độ ống chuẩn trực là không khí (air), N_{tot}^{air}
- Số đếm đầu dò ghi nhận khẩu độ ống chuẩn trực lấp đầy chì (Pb), N_{tot}^{Pb}
- $N_{ape}^{air} = N_{tot}^{air} - N_{tot}^{Pb}$, số đếm khi tia gamma xuyên qua khẩu độ ống chuẩn trực

Bảng 2. Trung bình số đếm và độ lệch chuẩn tương đối theo chiều dài ống chuẩn trực lần lượt từ 14 cm đến 15 cm và từ 5 cm đến 6 cm của phạm vi bán kính ống chuẩn trực từ 3,35 cm đến 9,35 cm.

		Chiều dài ống chuẩn trực, h			
		Từ 14 cm đến 15 cm		Từ 5 cm đến 6 cm	
		Trung bình số đếm	Độ lệch chuẩn tương đối	Trung bình số đếm	Độ lệch chuẩn tương đối
Bán kính ống chuẩn trực, r_{col} (cm)	0,35	6835 ± 10	0,14%	8307 ± 201	2,42%
	1,35	889 ± 25	2,85%	3116 ± 343	11,01%
	2,35	477 ± 17	3,61%	2724 ± 344	12,62%
	3,35	369 ± 23	6,23%	2619 ± 342	13,06%
	4,35	326 ± 11	3,51%	2588 ± 347	13,40%
	5,35	309 ± 7	2,12%	2555 ± 346	13,53%
	6,35	300 ± 14	4,64%	2525 ± 349	13,82%
	7,35	298 ± 12	3,86%	2510 ± 349	13,89%
	8,35	298 ± 10	3,33%	2503 ± 345	13,79%
	9,35	293 ± 10	3,51%	2484 ± 345	13,87%

Cột 4 và cột 6 bảng 2 trình bày độ lệch chuẩn tương đối khi chiều dài ống chuẩn trực lần lượt từ 14 cm đến 15 cm và từ 5 cm đến 6 cm. Kết quả cho thấy rằng, độ lệch chuẩn tương đối của số đếm trong phạm vi bán kính ống chuẩn trực từ 3,35 cm đến 9,35 cm nhỏ hơn 7% đối với trường hợp chiều dài ống chuẩn trực từ 14 cm đến 15 cm và lớn hơn 13% đối với trường hợp chiều dài ống chuẩn trực từ 5 cm đến 6 cm. Điều này có thể giải thích được rằng, khi chiều dài ống chuẩn trực nhỏ, tia gamma từ nguồn tán xạ với thành buồng đo và dễ dàng đi vào đầu dò, gây ra độ bất định số đếm đầu dò ghi nhận lớn do cấu trúc phức tạp của thành buồng đo. Ngược lại, khi chiều dài ống chuẩn trực lớn, hầu hết tia gamma tán xạ với thành buồng đo bị ống chuẩn trực che chắn nên không bị ảnh hưởng bởi cấu trúc phức tạp của thành buồng đo và do đó có độ bất định số đếm đầu dò ghi nhận nhỏ hơn. Do đó, trong thực tế chế tạo ống chuẩn trực, chiều dài ống chuẩn trực được lấy bằng khoảng cách giữa nguồn và đầu dò là lựa chọn phù hợp. Theo đó, nguồn áp sát vào mặt đáy ống chuẩn trực và mặt đáy còn lại áp sát vào mặt đầu dò.

4 KẾT LUẬN

Trên cơ sở chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2, thiết kế thí nghiệm xác định kích thước hình học của ống chuẩn trực bằng chì đã được xây dựng. Chiều dài và bán kính ngoài ống chuẩn trực được thay đổi theo từng bước 1 mm. Theo đó, có 13559 trường hợp cần phải tính toán mô phỏng MCNP4C2, thời gian tính toán cho mỗi trường hợp mất khoảng 1,25 phút. Kết quả tính toán cho thấy rằng đối với ống chuẩn trực hình trụ tròn, bán kính ngoài được lấy bằng bán kính tinh thể đầu dò và chiều dài được lấy bằng khoảng cách nguồn - đầu dò là lựa chọn phù hợp. Việc ứng dụng chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2, một phương pháp thực nghiệm toán học ưu việt và đáng tin cậy cho phép thay thế các thực nghiệm vật lý, trong đó bố trí thí nghiệm đòi hỏi nhiều thời gian và chi phí, thậm chí khó có thể thực hiện được.

PHỤ LỤC

Một input chuẩn của chương trình máy tính mô phỏng Monte Carlo MCNP4C2

```
Problem - Study on determining the geometric dimensions of collimators used in gamma spectrometer measurement
using the MCNP4C2 code
c Cell cards
1    6 -8.94 (-1 -23 21):(-1 -21 90) imp:p,e=1 $ loi Cu dan tin hieu
2    1 -5.35 (-55 -64 22)#1#34 imp:p=1 imp:e=0 $ cell detector
3    3 -0.00129 (1 -2 -22 21)#1#(-96 -22 21) imp:p,e=1
4    2 -2.6989 (2 -87 -83 82):(2 -3 -84 83):(2 -87 -85 84) &
:(2 -3 -86 85):(2 -87 -24 86):(2 -3 -82 21):((92 -3 -21 20)#(-95 -21 20)) &
:(92 -93 -20 89):(91 -93 -89 88) imp:p,e=1
5    3 -0.00129 (-4 -25 57):(87 -4 -57 86):(3 -4 -86 85):(87 -4 -85 84) &
:(3 -4 -84 83):(87 -4 -83 82):(3 -4 -82 20):(-4 -20 16)#(-93 -20 88) &
#(-95 -20 90) imp:p,e=1
6    2 -2.6989 (-5 -26 25):(4 -5 -25 16):(-5 -16 15) imp:p,e=1
11   3 -0.00129((-13 -31 30):(-11 -30 26):(5 -9 -26 19)) &
#45#46#52#53 imp:p,e=1 $ - cs40e
12   6 -8.94 9 -10 -26 19 imp:p,e=1
13   7 -0.88 (11 -12 -30 26):(10 -12 -26 19) imp:p,e=1
14   8 -7.28 12 -13 -30 19 imp:p,e=1
15   9 -11.34 (13 -14 -31 17):(5 -14 -17 16) imp:p,e=1
16   3 -0.00129 (-13 -32 31):(13 -14 -34 31) imp:p,e=1
17   8 -7.28 -13 -33 32 imp:p,e=1
18   6 -8.94 -13 -34 33 imp:p,e=1
19   10 -7.86 13 -14 -35 34 imp:p,e=1
20   9 -11.34 (-14 -36 35):(-13 -35 34) imp:p,e=1
21   10 -7.86 5 -14 -16 15 imp:p,e=1
22   8 -7.28 5 -13 -18 17 imp:p,e=1
23   6 -8.94 5 -13 -19 18 imp:p,e=1
24   0 14:36:-15 imp:p,e=0
34   15 -2.31 (1 -54 -23 22):(-54 -56 23) imp:p,e=1 $ dien cuc cay ion B
35   17 -5.05 (-55 -24 64):(55 -2 -24 22) imp:p,e=1 $ dien cuc khuech tan Li - t
36   18 -1.435 -87 -81 24 imp:p,e=1 $ cua so IR mylar - cs40e
```

```
45   11 -0.0899 -76 -75 74 imp:p,e=1 $ nguon Cs - cs40e
46   13 -1.15 (-77 -80 78)#45 imp:p,e=1 $ holder epoxy - cs40e
47   20 -1.11 -87 -57 81 imp:p,e=1 $ cua so IR kapton - cs40e
48   21 -2.2 (1 -92 -21 90):(-92 -90 89) imp:p,e=1 $ teflon
49   3 -0.00129 -91 -89 88 imp:p,e=1 $ ranh khong khi cua coc Al
50   3 -0.00129 -94 -22 90 imp:p,e=1 $ ranh khong khi cua vo boc PE
51   4 -0.92 (94 -96 -22 21):(94 -95 -21 20):(94 -95 -20 90) imp:p,e=1 $ vo boc
52   3 -0.00129 -76 -78 98 imp:p,e=1 $ ong chuan truc loi kk
53   9 -11.34 76 -97 -78 98 imp:p,e=1 $ ong chuan truc Pb

c Surface cards
1    cz 0.35
2    cz 2.7 $ cs36a
3    cz 2.776
4    cz 3.66
5    cz 3.81
9    cz 7.35
10   cz 7.95
11   cz 9.45
12   cz 14.2
13   cz 15.0
14   cz 25.0
15   pz 0.0
16   pz 1.6
17   pz 10.0
18   pz 10.8
19   pz 11.6
20   pz 19.742
21   pz 20.062
22   pz 20.815
23   pz 22.515
24   pz 24.015
25   pz 24.55
26   pz 24.7
30   pz 35.8
31   pz 43.6
32   pz 44.1
33   pz 44.5
34   pz 44.6
35   pz 46.2
36   pz 54.2
55 cz 2.584 $ dien cuc khuech tan Li - cs36a
56 pz 22.5153 $ dien cuc loi B - i42
57 pz 24.026 $ cua so IR - cs36a
64 pz 23.899 $ dien cuc cua so Li - cs36a
74 pz 39.977 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
75 pz 40.295 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
76 cz 0.25 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
77 cz 1.27 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
78 pz 39.7 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
80 pz 40.34 $ hinh hoc nguon Cs (2) - cs40e
81 pz 24.016 $ split mylar and kapton - cs40e
82 pz 21.255 $ split the detector holder
83 pz 22.115 $ split the detector holder
84 pz 22.415 $ split the detector holder
85 pz 23.275 $ split the detector holder
86 pz 23.715 $ split the detector holder
87 cz 2.97 $ split the detector holder
88 pz 17.536 $ split the detector holder
```

```
89 pz 18.696 $ split the detector holder
90 pz 19.042 $ split the detector holder
91 cz 0.13 $ split the detector holder
92 cz 0.88 $ split the detector holder
93 cz 1.546 $ split the detector holder
94 c/z 0 -2.2 0.1 $ day dan in/out
95 c/z 0 -2.2 0.2 $ day dan in/out
96 c/z 0 -2.2 0.49 $ day dan in/out
97 cz    9.351110
98 pz   25.701111

c Data cards
mode p
m1   32000 -1.0 cond=1 $ Ge
m2   13000 -1.0 cond=1 $ Al
m3   7000 -0.755 8000 -0.232 18000 -0.013 $ Atmosphere
m4   1000 -0.14372 6000 -0.85628 $ PE
m6   29000 -1.0 cond=1 $ Cu
m7   1000 -0.1549 6000 -0.8451 $ Paraffin C9H20
m8   50000 -1.0 cond=1 $ Sn
m9   82000  -1.0 cond=1 $ Pb
m10  26000 -1.0 cond=1 $ Fe
m11  1000 -1.0 $ Cs
m13  1000 -0.06 6000 -0.721 8000 -0.219 $ Epoxy - cs40e
m15  5000 -1.0 cond=1 $ B
m17  32000 -0.9999 3000 -0.0001 cond=1 $ Ge Li - th22a24
m18 1000 -0.053 6000 -0.526 8000 -0.421 $ Mylar C10H12O6 - cs40e
m20 1000 -0.028 6000 -0.720 7000 -0.077 8000 -0.175 $ Kapton C22H10N2O4 - cs40e
m21 6000 -0.24 9000 -0.76 $ Teflon (C2H4)n
sdef cel=45 pos=0 0 0 axs=0 0 1 ext=d1 rad=d2 erg=0.66166 par=2 wgt=10
ft8 geb 0.00071 0.00075 0.46493
si1 h 39.977 40.295
sp1 d -21 0
si2 h 0.0 0.25
sp2 -21 1
f8:p 2
e8 0 .0001 .005471 8190i 1.942341 $ cs40e
phys:p $ produce bremsstrahlung radiations - cs40e
phys:e
cut:p 2j 0 0 $ because of taking a tally of pulse height distributions
cut:e
nps 3200000
ctme 120
```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J.C.M. Victor, L. Eric, R. Bart, D. Tom and C. Ivo, “Bayesian optimization of a collimated HPGe detector model for Segmented Gamma Scanning,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A* (2024), 169687.
[2] B. Das, R. Palit, N.R.K. Chowdhury, S. Saha, M.S.R. Laskar, F.S. Babra, P. Dey, S.K. Jadhav, A. Kundu, V. Ma lik, B.S. Naidu, A. Sindhu, A.T. Vazhappilly, S.S. Ghugre, R. Raut, S. Bhattacharyya, G. Mukherjee, S. Mukhopadh yay and R.P. Singh, “A novel active collimator for compton-suppressed clover HPGe detector and its role in a hybrid gamma detector array,” *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A* (2024), 169030.
[3] J.M.C. Nilsson, R.R. Finck and C.L. Raaf, “A rotating-slit-collimator-based gamma radiation mapper,” *Journal of Environmental Radioactivity* (2017), 225-232.
[4] K. Gong, J. Wu, F. Ji, M. Ni and Z. Zhou, “Calibration and performance evaluation of an N-type HPGe detector for a collimated and focused PGNAA system by experimental and Monte Carlo methods,” *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A* (2024), 169525.

[5] X. Mu, R. Shi, G. Luo and X. Tuo, "A collimator design method for the tomographic gamma scanning system with a fan-shaped NaI(Tl) detector array," *Applied Radiation and Isotopes* (2022), 110123.
[6] N.Q. Huy, D.Q. Binh, V.X. An, "Study on the increase of inactive germanium layer in a high purity germanium detector after a long time operation applying MCNP code," *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A* (2007), 384-388.
[7] An Eckert & Ziegler, Co. , "Reference & Calibration Sources," *An Eckert & Ziegler, Co.* (2023), 33-42.
[8] Mirion Technologies Inc., "Germanium Detectors - User's Manual," *www.mirion.com/discover/knowledge-hub/articles/education/germanium-detector-types* (2025), 10-20.
[9] J.F. Briesmeister, "MCNP - A general Monte Carlo N - Particle transport code, Version 4C2," *Tech. Rep., Los Alamos National Laboratory* (2000), LA-13709-M.
[10] M. Thiesse, P. Scovell and L. Thompson, "Background shielding by dense samples in low-level gamma spectrometry," *Applied Radiation and Isotopes* (2022), 110384.
[11] G. Singh, B.S. Sandhu and B. Singh, "Experimental evaluation of saturation thickness for 662 keV gamma rays in iron at different scattering angle," *Nuclear and Particle Physics Proceedings* (2023), 34-36.
[12] K.M. Katubi, R.A. Alsulami, M.M. Albarqi, Z.A. Alrowaili, I. Kebaili, V.P. Singh and M.S. Al-Buriahi, "Radiation Shielding efficiency of lead-tungsten-boron glasses with Sb, Al, and Bi against gamma, neutron and charge particles," *Applied Radiation and Isotopes* (2024), 111139.

STUDY ON DETERMINING THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF COLLIMATORS USED IN GAMMA SPECTROMETER MEASUREMENT USING THE MCNP4C2 CODE

VO XUAN AN
Faculty of Electronics Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City
Corresponding author: voxuanan@iuh.edu.vn

Abstract. For many years, lead collimators have been widely used to generate narrow gamma beams in gamma spectroscopy measurements. Changing the size of the collimator is a time-consuming and costly task, which is difficult to perform in practical experiments to determine the appropriate size. Nowadays, there are many useful and reliable Monte Carlo simulation tools, including the MCNP4C2 simulation code, which allows designing experiments with flexible physical parameters, the calculation results are in good agreement with the experiment, especially saving time and cost. In this work, the Monte Carlo simulation code MCNP4C2 was used to build a simulation model to study the determination of the geometric size of the lead collimator. The results show that, for a circular collimator, the outer radius taken as the detector crystal radius and the length taken as the source-detector distance are suitable choices.
Keywords. collimator, gamma spectrometer, HPGe detector.

Ngày gửi bài:16/5/2025
Ngày chấp nhận đăng:17/7/2025