

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TÁN XẠ NHIỀU LẦN TỪ VẬT LIỆU XUNG QUANH ĐẦU DÒ LÊN PHỔ NĂNG LƯỢNG GAMMA CỦA ĐẦU DÒ HPGe BẰNG CHƯƠNG TRÌNH MCNP

Mai Văn Nhơn, Trương Thị Hồng Loan, Trần Ái Khanh, Trần Thiện Thanh  
Đặng Nguyên Phương

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 29 tháng 03 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 25 tháng 02 năm 2008)

**TÓM TẮT:** Trong bài báo này chương trình MCNP4C2 của Phòng thí nghiệm Los Alamos, Mỹ được dùng để mô phỏng phổ năng lượng gamma của Co-60 với đầu dò HPGe và so sánh với phổ thực nghiệm, khảo sát sự hấp thụ tia X đặc trưng của lớp thiếc và đồng lót ở mặt trong buồng chì, khảo sát ảnh hưởng của buồng chì lên nền tán xạ của phổ, khảo sát sự thay đổi dạng phổ khi để nguồn gần và xa đầu dò, khảo sát ảnh hưởng của để lót nguồn lên phổ đặc trưng. Kết quả so sánh phổ mô phỏng cho thấy ở vùng trên 250 keV phổ mô phỏng khá phù hợp với phổ thực nghiệm, nhưng ở vùng năng lượng dưới 250 keV thì có sự khác biệt nền tán xạ cỡ 12,7%. Sự hiện diện của buồng chì và để tán xạ chỉ ảnh hưởng đến vùng tán xạ ngược và tia X đặc trưng nhưng không ảnh hưởng đến số đếm trên diện tích đỉnh năng lượng toàn phần. Các kết quả có được làm nền tảng cho việc nghiên cứu phổ gamma của hệ phổ kế HPGe đang có để nâng cao độ chính xác trong phân tích định lượng nguyên tố trong mẫu môi trường.

**Từ khóa:** Phổ gamma, Tán xạ nhiều lần, HPGe, MCNP, Đỉnh năng lượng toàn phần

### 1. GIỚI THIỆU

Khi tương tác với môi trường vật chất của đầu dò, một phần năng lượng của photon ban đầu chuyển thành động năng của các electron trong quá trình quang điện, Compton và tạo cặp. Phần năng lượng còn lại chuyển cho các photon thứ cấp. Trừ trường hợp electron mất do tương tác xảy ra ở gần bề mặt tinh thể, trong những trường hợp còn lại động năng electron chuyển hoàn toàn thành xung điện. Động năng càng lớn khả năng tương tác càng cao thì độ cao xung càng lớn. Xung điện này được ghi nhận ở lối ra bởi hệ điện tử tiếp sau. Đo và khảo sát tín hiệu xung ra từ đầu dò theo lối vi phân ta có thể thu được những thông tin về bức xạ đã ghi nhận dưới dạng phổ năng lượng và còn được gọi là hàm đáp ứng của đầu dò.

Dạng hàm đáp ứng của đầu dò mang những nét đặc trưng của mỗi quá trình tương tác xảy ra trong đầu dò. Nó bao gồm đỉnh năng lượng toàn phần, vùng lưng Compton, đỉnh thoát đơn (SE) có năng lượng  $h\nu - 0,511$  MeV, đỉnh thoát đôi (DE) có năng lượng  $h\nu - 1,022$  MeV, đỉnh tán xạ nền, tia X đặc trưng của vật liệu xung quanh đầu dò, bức xạ huỷ 0,511MeV, đỉnh tán xạ ngược (BS) và cuối cùng là đỉnh tổng [1]. Trong công trình [4] và [5] chúng tôi đã sử dụng chương trình MCNP phiên bản 4C2 để nghiên cứu hiệu suất ghi của hệ phổ kế, đánh giá hiệu ứng trùng phùng tổng trong khi đo phổ gamma của các nguồn đa năng. Trong công trình này chúng tôi tiếp tục áp dụng chương trình MCNP để nghiên cứu về các đặc trưng của phổ gamma, đặc biệt là vùng tán xạ nhiều lần mà nó tùy thuộc nhiều vào cấu hình của hệ đo và là đặc trưng cụ thể của mỗi hệ phổ kế được sử dụng. Cụ thể bao gồm các vấn đề sau: (1) Mô phỏng phổ năng lượng gamma của Co-60 với đầu dò HPGe và so sánh với phổ thực nghiệm tương ứng (2) Khảo sát ảnh hưởng tán xạ của buồng chì lên phổ cũng như lên hiệu suất ghi của đầu dò bằng cách khảo sát phổ tán xạ khi có buồng chì và không có buồng chì, cũng như khi có lớp thiếc và đồng (lót bên trong buồng chì dùng để hấp thụ các tia X đặc trưng có thể có do

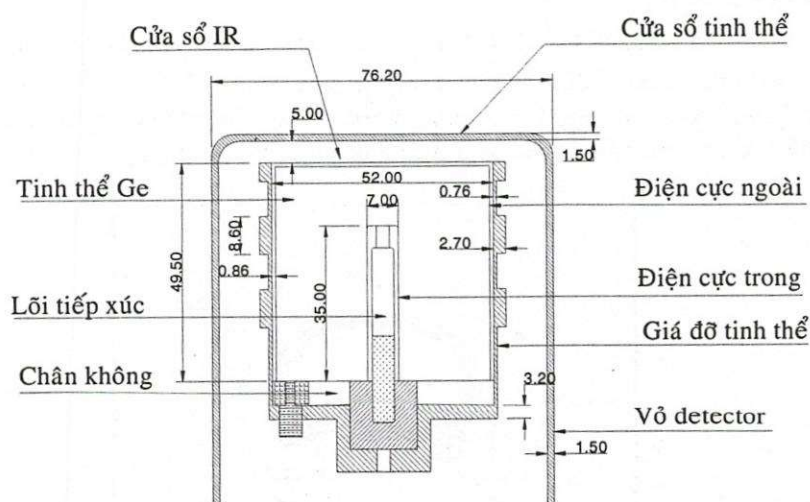
tán xạ nhiều lần trong chì của tia gamma) và khi không có lớp thiếc và đồng (3) Khảo sát ảnh hưởng của tán xạ ngược từ đế nguồn lên phổ năng lượng gamma của Co-60, cụ thể là lên diện tích đỉnh tán xạ ngược. Các vật liệu đế giả định là nhôm, thiếc, đồng, chì được khảo sát và so sánh để đánh giá ảnh hưởng của nó lên dạng phổ, đặc biệt ở miền năng lượng thấp.

Để khảo sát phổ thực nghiệm và mô phỏng chúng tôi dùng nguồn chuẩn giả điểm Co-60 [6]. Để chuẩn năng lượng và khảo sát FWHM theo năng lượng chúng tôi sử dụng nguồn Ra-226. Các số liệu của hệ phổ kế được cung cấp bởi nhà sản xuất Canberra [7].

## 2. CẤU TRÚC CỦA HỆ NGUỒN - ĐẦU DÒ HPGe – BUỒNG CHÌ

### 2.1. Mô tả đầu dò HPGe [7]

Đầu dò HPGe ở Bộ môn Vật lý Hạt nhân, có ký hiệu GC2018, là loại đầu dò đồng trục có dạng như Hình 1. bao gồm khối Ge hình trụ chữ U có đường kính ngoài 52mm, chiều cao 49,5mm. Bên trong tinh thể có một hốc hình trụ đường kính 7mm, độ sâu của hốc là 35mm. Mặt ngoài tinh thể là lớp tiếp xúc loại n (lớp Lithium) nối với điện cực dương. Mặt trong hốc tinh thể là lớp tiếp xúc loại p (lớp Boron) nối với điện cực âm. Đầu dò được đựng trong một hộp kín bằng nhôm với bề dày 1,5mm.

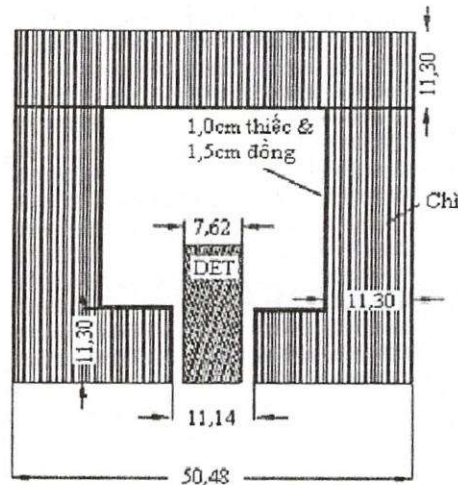


Hình 1. Cấu trúc đầu dò HPGe (kích thước theo mm)

### 2.2. Sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò và buồng chì [7]

Hình 2. là sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò và buồng chì. Các kích thước được cho như trên hình vẽ. Tương tác của tia gamma với chì tạo ra các tia X có năng lượng trong khoảng 75 – 85 keV. Các tia X này của chì có thể được ghi nhận bởi đầu dò và làm cho phổ gamma bị nhiễu. Để hạn chế điều này người ta đã lót bên trong buồng chì các lớp đồng và thiếc có bề dày tương ứng là 1,5mm và 1mm.

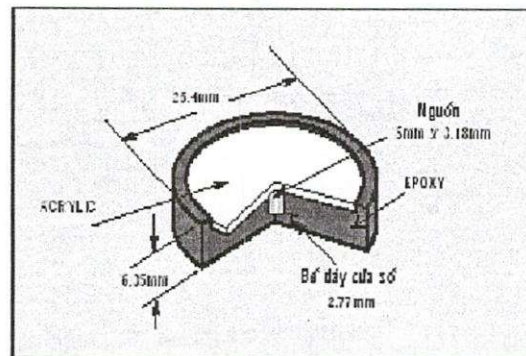




Hình 2: Sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò-buồng chì (kích thước tính theo cm)

### 2.3.Mô tả nguồn Co-60 [6]

Nguồn có hoạt độ 37,89kBq (1,024  $\mu$  Ci) , sản xuất ngày 15-01-2005 với chu kỳ bán hủy (5,272  $\pm$  0,001) năm, có 2 đỉnh năng lượng gamma là 1.173,273keV và 1.332,501keV. Nguồn có dạng trụ nhỏ, với đường kính 5mm, chiều cao 3,18mm, được tráng trên đế Epoxy, bề mặt bao phủ bởi lớp Acrylic. Toàn bộ có đường kính 25,4mm, chiều cao 6,35 mm (xem hình 3).



Hình 3.Cấu hình nguồn chuẩn giả điểm Co-60

### 3. MÔ HÌNH HÓA HỆ PHỔ KẾ GAMMA DÙNG MCNP [2]

Để mô hình hoá hệ phổ kế gamma bằng MCNP, cần mô tả tệp đầu vào (input file) ở đó hệ cần mô phỏng được chia thành các ô đồng chất giới hạn bởi các mặt được định nghĩa trước. Mỗi ô thể hiện một thành phần của hệ đầu dò.

Ở trong công trình này hệ đầu dò - buồng chì – nguồn được chia thành 28 ô và được lấp đầy bằng các vật liệu tương ứng. Tương ứng với 28 ô ở trên cần 59 mặt khác nhau để liên kết tạo thành 28 ô với độ quan trọng của 27 ô đầu bằng 1 và ô 28 bằng 0 nghĩa là trong quá trình mô phỏng nếu có hạt nào ra ngoài buồng chì thì chúng ta không theo dõi hạt này nữa.

Sau đó mô phỏng N hạt phát ra từ nguồn. Chúng được ngẫu nhiên hoá bằng phương pháp Monte – Carlo theo đúng như bản chất thống kê xảy ra trong quá trình tương tác với hệ đầu dò. Tức là có hạt bay vào và có hạt thì không. Những hạt sau khi bay vào đầu dò tiếp tục lịch sử

của chúng, chúng có thể tham gia vào các tương tác khác nhau bên trong đầu dò hoặc thoát khỏi đầu dò mà không chịu tương tác nào. Tất cả các sự kiện này đều được ghi nhận theo xác suất tương ứng của chúng.

Với đánh giá phân bố độ cao xung F8, các hạt bay vào đầu dò, tương tác với vật chất đầu dò và được chương trình ghi nhận vào các khe (bin) năng lượng tương ứng với năng lượng mà chúng truyền cho đầu dò. Thống kê số đếm tại các khe tương ứng với năng lượng quan tâm ta thu được số tia gamma ứng với năng lượng đó đã được đầu dò ghi nhận. Thu thập các số đếm tại tất cả các khe năng lượng ta sẽ có được phổ năng lượng gamma.

Trong công trình này để mô phỏng hệ đo giống với thí nghiệm, các khoảng năng lượng được chia tương ứng với các kênh trong hệ phổ kế, tức là 8192 kênh. Để sai số tương đối của hiệu suất là dưới 1%, việc mô phỏng với số lịch sử hạt cỡ  $10^8$ , còn đối với việc mô phỏng phân bố độ cao xung số lịch sử hạt mô phỏng tùy vào số gamma phát ra từ nguồn thực nghiệm. Trong thực nghiệm, việc đo phổ được thực hiện trong khoảng thời gian sao cho số đếm đỉnh lớn hơn  $2.10^4$  để sai số thống kê dưới 1% và để thấy rõ các hiệu ứng của tạo cặp như đỉnh thoát đơn, thoát đôi và bức xạ hủy 511keV số lịch sử hạt có thể lên tới 2 tỷ.

Do bản chất thăng giáng thống kê của quá trình phân rã phóng xạ cũng như hiệu ứng tập hợp điện tích và sự đóng góp nhiều tín hiệu điện tử, các đỉnh năng lượng toàn phần của phổ gamma thực nghiệm thường có dạng Gauss với một độ rộng vạch được đặc trưng bằng đại lượng FWHM (Bề rộng toàn phần ở một nửa chiều cao cực đại). MCNP không mô phỏng hiệu ứng này mà sử dụng kỹ thuật làm phù hợp bề rộng đỉnh giữa thực nghiệm và tính toán bằng cách đưa vào tùy chọn GEB trong đánh giá F8. Do đó trước khi mô phỏng dạng phổ, chúng tôi thực hiện việc chuẩn năng lượng bằng cách sử dụng nguồn Ra-226. Sau đó với số liệu phổ có được chúng tôi làm khớp FWHM theo năng lượng. Công thức thích hợp được sử dụng ở đây có dạng:

$$FWHM = a + b\sqrt{E + cE^2}$$

ở đó E là năng lượng gamma đo được theo MeV; a, b, c là các tham số có được từ việc làm khớp và được sử dụng như tham số đầu vào của tùy chọn GEB trong đánh giá F8 của MCNP. Kết quả có được như sau:

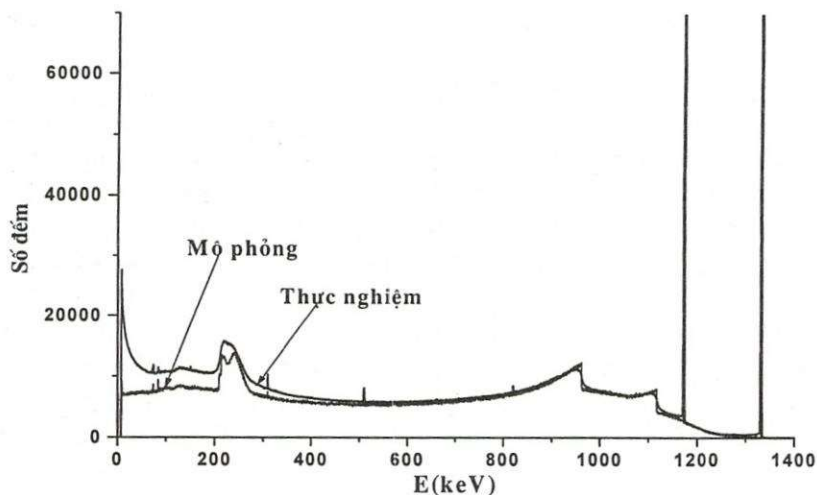
$$a = 4,866336.10^{-4} \text{ MeV}, b = 9,32268.10^{-4} \text{ MeV}^{1/2}, c = 0,315494 \text{ MeV}^{-1}$$

#### 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

##### 4.1. So sánh phổ gamma mô phỏng và thực nghiệm của nguồn Co-60

Để khảo sát phổ thực nghiệm và mô phỏng, nguồn Co-60 được đặt tại khoảng cách 10,6cm so với mặt đầu dò. Toàn bộ hệ đầu dò và nguồn được đặt trong buồng chì như đã mô tả trong Hình 2 và Hình 3. Kết quả được trình bày trong Hình 4 cho thấy từ 250keV trở về sau vùng năng lượng cao có sự phù hợp tốt giữa phổ mô phỏng và thực nghiệm. Phổ mô phỏng cũng cho thấy các đỉnh thoát cặp như thoát đơn (SE), thoát đôi (DE), bức xạ hủy, hai cặp tia X đặc trưng của chì ( $K_{\alpha 2}$  (72,805keV),  $K_{\alpha 1}$  (74,969keV),  $K_{\beta 1}$  (84,784keV),  $K_{\beta 2}$  (87,306keV), đỉnh tán xạ ngược). Để khảo sát chi tiết đặc trưng của phổ, ở bảng 1 trình bày kết quả đánh giá diện tích các đỉnh đặc trưng cũng như số đếm phổ của vùng quan tâm và so sánh với số liệu mô phỏng tương ứng thông qua việc đánh giá tỷ lệ giữa chúng.





Hình 4. So sánh phổ thực nghiệm và mô phỏng ở  $d=10,6\text{cm}$

Bảng 1. Đánh giá tỷ lệ diện tích đỉnh tán xạ, đỉnh toàn phần của phổ thực nghiệm so với phổ mô phỏng của nguồn Co-60.

Đỉnh	Diện tích đỉnh		Tỷ lệ (Tn/Mp)
	Phổ thực nghiệm(Tn)	Phổ mô phỏng (Mp)	
$K_{\alpha_2}$	8.357 (7,77)	1.037 (56,17)	8,06
$K_{\alpha_1}$	7.249 (8,96)	3.794 (15,37)	1,91
$K_{\beta_1}$	4.974 (13,07)	4.375 (13,55)	1,14
$K_{\beta_2}$	0	4.066 (14,69)	0
BS	986.866 (0,69)	1.170.994 (0,55)	0,84
DE	12.237 (5,21)	733 (84,88)	16,69
511keV	26.105 (2,26)	1.303 (43,20)	20,03
SE	9.255 (7,39)	488 (134,70)	18,97
1,17MeV	3.520.338 (0,05)	3.613.748 (0,05)	0,97
1,33MeV	3.160.295 (0,06)	3.276.812 (0,05)	0,96

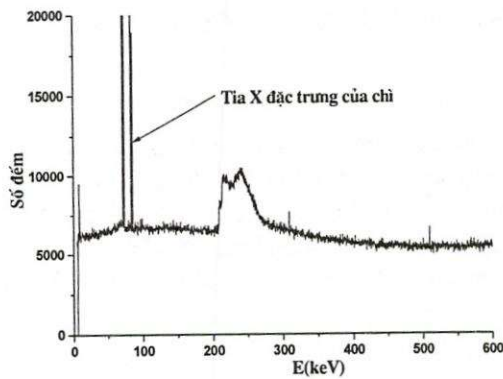
Con số trong ngoặc là sai số tương đối [%].

Kết quả từ Bảng 1 cho thấy có sự sai biệt lớn giữa diện tích mô phỏng và thực nghiệm của các đỉnh này. Điều đó được cho rằng thư viện tiết diện tương tác của gamma ở phiên bản MCNP4C2 chưa đủ tốt để mô tả các quá trình thống kê xảy ra trong hệ đầu dò ở năng lượng thấp. Mặc khác các quá trình thứ cấp này xảy ra với xác suất rất nhỏ nên số lịch sử phát sinh hai tỷ hạt mà bài báo đã thực hiện vẫn chưa đủ thống kê để nghiên cứu chính xác riêng về các quá trình này. Ngoài ra diện tích đỉnh tán xạ ngược của phổ thực nghiệm nhỏ hơn 16% so với phổ mô phỏng nhưng chúng nằm trên vùng nền tán xạ cao hơn cỡ 12,71% so với phổ mô phỏng kể từ 250 keV trở về trước. Cần chú ý rằng đối với đỉnh toàn phần thì sự khác biệt này

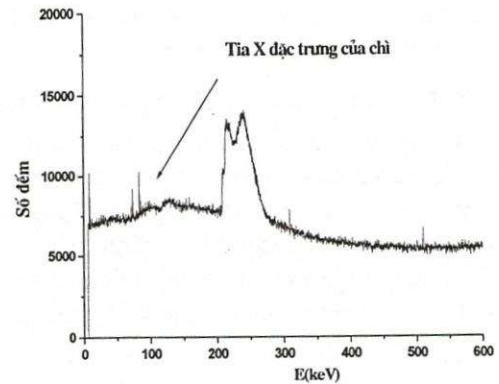
là nhỏ nằm trong phạm vi cho phép (nhỏ hơn 5%). Điều đó có nghĩa là ở khoảng cách  $d=10,6\text{cm}$  sự sai biệt hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần giữa mô phỏng và thực nghiệm là đủ nhỏ.

#### 4.2. Khảo sát sự hấp thụ tia X đặc trưng của lớp thiếc và đồng lót ở mặt trong buồng chì

Trong phần này chúng tôi khảo sát sự hấp thụ tia X đặc trưng của chì bởi lớp thiếc dày 1mm và lớp đồng 1,5mm lót bên trong buồng chì. Để làm điều đó thí nghiệm mô phỏng phổ khi buồng chì có hai lớp thiếc và đồng này với khi không có chúng được thực hiện.



**Hình 5.** Vùng năng lượng thấp của phổ mô phỏng nguồn Co-60 khi dùng buồng chì không có lót thêm thiếc và đồng.



**Hình 6.** Vùng năng lượng thấp của phổ mô phỏng nguồn Co-60 khi dùng buồng chì có lót thêm thiếc và đồng.

**Bảng 2.** So sánh tỷ lệ các diện tích đỉnh tán xạ, đỉnh toàn phần của phổ mô phỏng với nguồn Co-60 khi buồng chì có và không có hai lớp thiếc (Sn) và đồng (Cu) với khoảng cách nguồn - đầu dò  $d=10,6\text{cm}$

Đỉnh	Diện tích đỉnh		Tỷ lệ (1)/(2)
	Không có Sn và Cu (1)	Có Sn và Cu (2)	
$K_{\alpha_2}$	172.832 (0,41)	1.037 (56,17)	166,67
$K_{\alpha_1}$	169.599 (0,41)	3.794 (15,37)	44,70
$K_{\beta_1}$	74.800 (0,83)	4.375 (13,55)	17,10
$K_{\beta_2}$	71.906 (0,86)	4.066 (14,69)	17,60
BS	768.896 (0,80)	1.170.994 (0,55)	0,66
DE	61 (1005,88)	733 (84,88)	0,08
511keV	1.485 (37,91)	1.303 (43,20)	1,14
SE	687 (95,78)	488 (134,70)	1,41
1,17MeV	3.613.685 (0,05)	3.613.748 (0,05)	1,00
1,33MeV	3.278.899 (0,05)	3.276.812 (0,05)	1,00

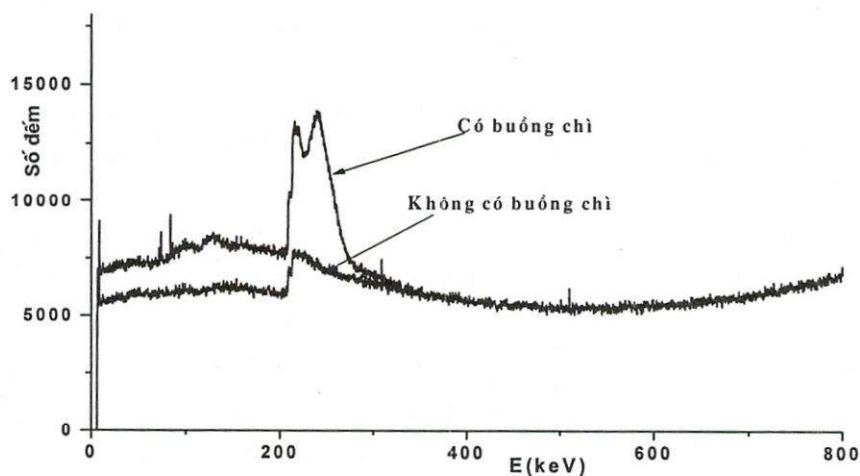


Con số trong ngoặc là sai số tương đối [%].

Hình 5 và Hình 6 trình bày kết quả mô phỏng phổ khi sử dụng buồng chì không có và có lót thêm thiếc và đồng (chỉ minh họa vùng năng lượng thấp). Qua đánh giá trong Bảng 2 cho thấy khi buồng chì không có lớp hấp thụ thiếc và đồng, phổ mô phỏng có đỉnh toàn phần không thay đổi, có hai cặp đỉnh tia X đặc trưng của chì rất cao và đỉnh tán xạ ngược (BS) thì thấp hơn khi có thiếc và đồng. Điều đó là phù hợp với dự đoán vì thiếc dùng để hấp thụ tia X đặc trưng của chì, đồng để hấp thụ tia X đặc trưng của thiếc. Còn nền tán xạ ngược của chì thấp hơn của đồng là do có một phần tia gamma tán xạ ngược của chì bị hấp thụ quang điện trong chính lớp chì đó thể hiện thông qua hiệu ứng thứ cấp phát tia X đặc trưng của chì. Ở đây chúng tôi không có so sánh mô phỏng ảnh hưởng riêng lẻ của lớp đồng. Vì tia X đặc trưng của thiếc rất nhỏ dưới 30 keV mà đầu dò HPGe của bộ môn chỉ nhạy với vùng năng lượng từ 60 keV trở lên.

#### 4.3. So sánh phổ mô phỏng khi có buồng chì và khi không có buồng chì

Trong hệ phổ kế đang khảo sát, buồng chì được gắn cố định, không tháo ráp dễ dàng, nên việc khảo sát ảnh hưởng của tán xạ từ buồng chì lên hiệu suất ghi của đầu dò là rất khó khăn. Thay vào đó, thí nghiệm bằng mô phỏng và so sánh hai phổ mô phỏng khi có buồng chì và không có buồng chì được tiến hành. Hình 7 trình bày sự so sánh hai phổ này. Ở đây ta thấy khi có buồng chì đỉnh tán xạ ngược tăng cao rõ rệt so với khi không có buồng chì, nhưng sự đóng góp này vào trong đỉnh toàn phần là không đáng kể (xem Bảng 3).



Hình 7. So sánh vùng năng lượng thấp của phổ mô phỏng Co-60 khi có buồng chì (cao) và khi không có buồng chì (thấp)

Bảng 3. Đánh giá tỷ lệ tham gia các đỉnh trong phổ nguồn Co-60 khi có và không có buồng chì với khoảng cách nguồn - đầu dò d=10,6cm.

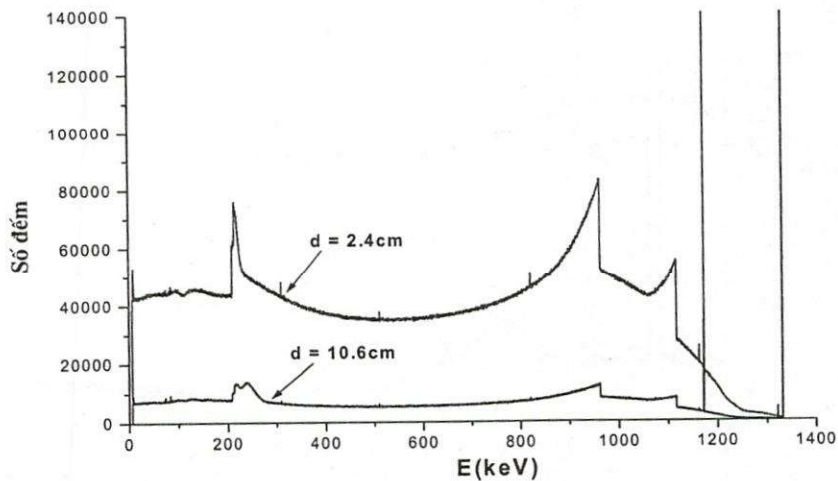
Đỉnh	Diện tích đỉnh		Tỷ lệ
	Có buồng chì	Không buồng chì	
$K_{\alpha_2}$	1037 (56,17)	Không có	
$K_{\alpha_1}$	3.794 (15,37)	Không có	

$K_{\beta_1}$	4.375 (13,55)	Không có	
$K_{\beta_2}$	4066 (14,69)	Không có	
BS	1.170.994 (0,55)	382.552 (2,00)	3,06
DE	733 (84,88)	Không đáng kể	
511keV	1.303 (43,20)	Không đáng kể	
SE	488 (134,70)	Không đáng kể	
1,17MeV	3.613.748 (0,05)	3.613.619 (0,05)	1,00
1,33MeV	3.276.812 (0,05)	3.278.899 (0,06)	1,00

Con số trong ngoặc là sai số tương đối [%].

#### 4.4. So sánh phổ mô phỏng nguồn Co-60 khi đặt trong buồng chì ở khoảng cách gần $d=2.4\text{cm}$ và khoảng cách xa $d=10.6\text{cm}$

Hình 8 trình bày sự so sánh phổ mô phỏng nguồn Co-60 khi đặt ở khoảng cách  $d=2,4\text{cm}$  (cao) và khi  $d=10,6\text{cm}$  (thấp). Kết quả cho thấy khi ở khoảng cách gần đầu dò, hiệu suất đo đỉnh nguồn tăng lên, các đỉnh huỷ và thoát đơn thoát đôi cũng tăng, nhưng các tia X đặc trưng của buồng chì thấp (Bảng 4). Điều đó được lý giải là do khi đặt nguồn gần đầu dò, hình học ghi nhận lớn hơn làm tăng hiệu suất ghi, và năng lượng tia gamma vào trong đầu dò vẫn còn cao nên dễ gây ra hiệu ứng tạo cặp tạo bức xạ huỷ và các đỉnh thoát. Tuy nhiên khi nguồn đặt gần đầu dò, ảnh hưởng của tán xạ lên buồng chì hầu như không đáng kể, do đó các tia X đặc trưng của chì cũng ít đi. Do chỗ nối giữa đầu dò và ống dẫn Ni tơ lỏng không được che chắn chì, nên khi đặt nguồn gần đầu dò thì hiệu ứng thoát của bức xạ huỷ tăng. Bảng 4 cho thấy hệ số tăng cỡ 12,5 lần.



Hình 8. So sánh phổ mô phỏng nguồn Co-60 khi đặt ở khoảng cách  $d=2,4\text{cm}$  (cao) và khi  $d=10,6\text{cm}$  (thấp)



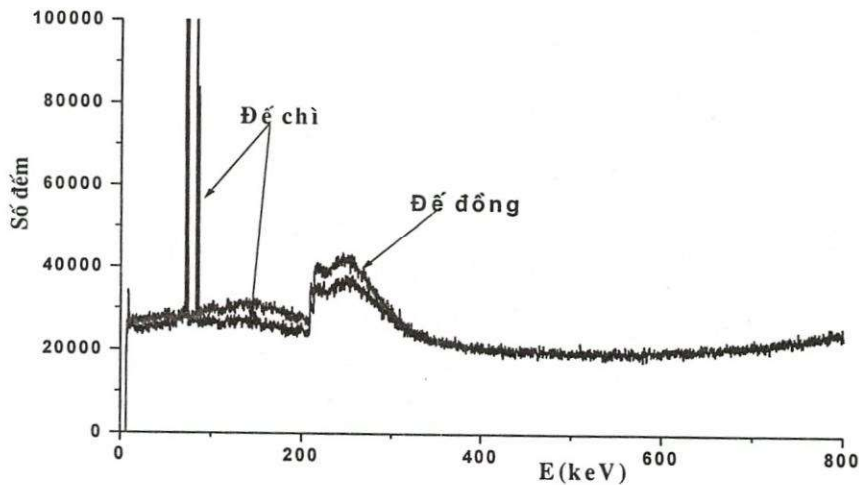
Bảng 4.Đánh giá tỷ lệ tham gia các đỉnh trong phổ mô phỏng nguồn Co-60 ở hai khoảng cách d=2,4cm và d=10,6cm.

Đỉnh	Diện tích đỉnh		Tỷ lệ
	d=2,4cm	d=10,6cm	
$K_{\alpha_2}$	0	1.037 (56,17)	0
$K_{\alpha_1}$	0	3.794 (15,37)	0
$K_{\beta_1}$	8.219 (17,87)	4.375 (13,55)	1.88
$K_{\beta_2}$	5.535 (26,6)	4.066 (14,69)	1.36
BS	3.515.909 (0,45)	1.170.994 (0,55)	3.00
DE	3.990 (40,29)	733 (84,88)	5.44
511keV	8.371 (17,42)	1.303 (43,20)	6.42
SE	2.128 (80,04)	488 (134,70)	4.36
1,17MeV	24.167.014 (0,02)	3.613.748 (0,05)	6.69
1,33MeV	21.788.312 (0,02)	3.276.812 (0,05)	6.65

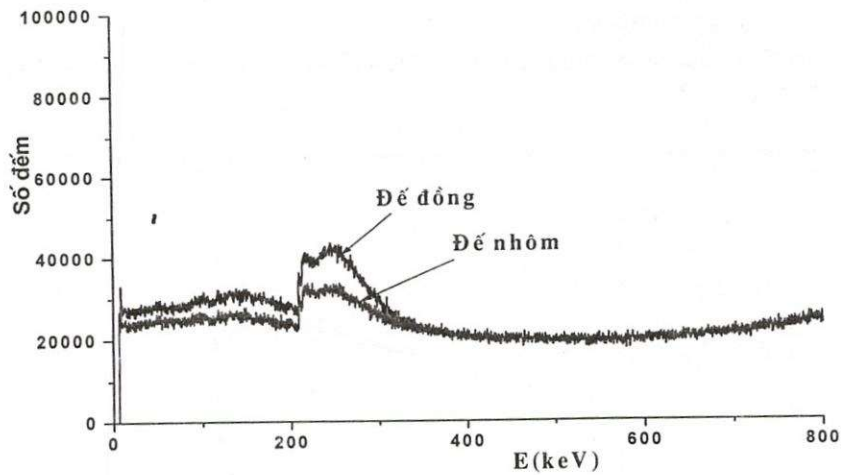
Con số trong ngoặc là sai số tương đối [%].

#### 4.5.Khảo sát ảnh hưởng của tán xạ nền từ đế nguồn

Trong phần này ảnh hưởng của tán xạ nền từ đế nguồn lên phổ gamma, đặc biệt là lên đỉnh tán xạ ngược, được khảo sát với các vật liệu đế giả định là nhôm, thiếc, đồng, chì (Hình 9.a,b,c).



Hình 9a. So sánh vùng tán xạ của phổ mô phỏng Co-60 từ đế bằng chì và đế bằng đồng



Hình 9b. So sánh vùng tán xạ của phổ mô phỏng Co-60 từ đế bằng đồng (cao) và đế bằng nhôm (thấp)

Kết quả so sánh diện tích đỉnh tán xạ ngược theo các vật liệu đế khác nhau cho trong Bảng 6, cho thấy hiệu ứng tán xạ ngược càng tăng khi mật độ nguyên tử của đế càng lớn [g/cm<sup>3</sup>]. Tuy nhiên đối với chì, đỉnh tán xạ ngược lại thấp hơn của đồng lý do là có một phần gamma tán xạ ngược này không thoát được khỏi chì để được ghi nhận bình thường mà bị hấp thụ bên trong chì được ghi nhận thông qua tia X đặc trưng của chì tạo ra từ đó. Thật vậy sau khi hiệu chỉnh lại diện tích đỉnh tán xạ ngược của chì bằng cách cộng thêm phần đóng góp của các tia X đặc trưng của chì (Bảng 5) thì mối quan hệ giữa diện tích đỉnh BS sẽ phù hợp theo quy luật tăng tuyến tính bình thường (Hình 9.c).

Bảng 5. Khảo sát sự tham gia của gamma tán xạ ngược từ lớp đế chì vào quá trình hấp thụ quang điện của chì tạo tia X đặc trưng

Đỉnh đặc trưng của Pb	$K_{\beta_2}$	$K_{\beta_1}$	$K_{\alpha_1}$	$K_{\alpha_2}$	Tổng
Diện tích đỉnh	351.753	672.550	330.274	86.104	1.440.681

Bảng 6. Sự phụ thuộc giữa diện tích đỉnh tán xạ ngược (sau khi hiệu chỉnh) với mật độ vật chất làm đế tán xạ

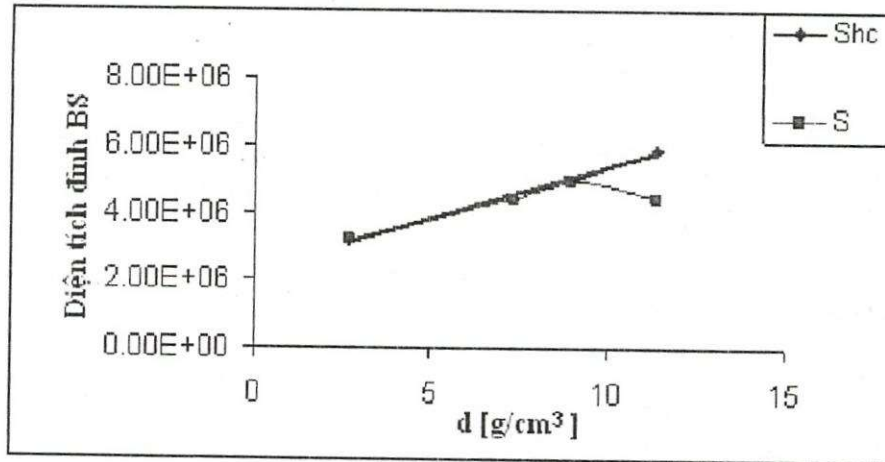
Vật liệu đế	Mật độ d [g/cm <sup>3</sup> ]	S	Shc
Nhôm	2,70	3.173.974	3.173.974
Thiếc	7,31	4.391.782	4.391.782
Đồng	8,96	4.954.449	4.954.449
Chì	11,35	4.396.844	5.837.525



Ở đây:

S: diện tích đỉnh tán xạ ngược

Shc: là diện tích đỉnh tán xạ ngược sau khi hiệu chỉnh bằng cách cộng thêm phần đóng góp tạo tia X đặc trưng của chì.



Hình 9c. Đường biểu diễn sự phụ thuộc giữa diện tích đỉnh tán xạ ngược BS trước khi hiệu chỉnh, S và sau khi hiệu chỉnh, Shc với mật độ vật chất làm để tán xạ d [g/cm³]

## 5. KẾT LUẬN

Trong công trình này chúng tôi sử dụng chương trình MCNP4C2 của Phòng thí nghiệm Los Alamos, Mỹ để mô phỏng phổ năng lượng gamma của nguồn Co-60 với đầu dò HPGe và so sánh với phổ thực nghiệm. Qua đó ảnh hưởng hiệu ứng tán xạ nhiều lần của photon gamma trong hình học của hệ đo lên phổ toàn phần thông qua các biểu hiện dạng phổ ở vùng gần cạnh Compton, vùng nền tán xạ nhiều lần từ đỉnh thoát đôi trở về sau, vùng nhảy của các tia X đặc trưng của các chất cấu thành hình học toàn bộ của hệ đo lên hiệu suất ghi (thông qua diện tích đỉnh năng lượng toàn phần) của đỉnh năng lượng được đánh giá. Bên cạnh đó việc khảo sát ảnh hưởng của lớp hấp thụ thiếc và đồng lót trong buồng chì, ảnh hưởng của buồng chì cũng như để dựng nguồn lên phổ cũng được thực hiện.

Sự phù hợp giữa phổ mô phỏng và thực nghiệm ở vùng năng lượng cao trên 250 keV đặc biệt là đỉnh năng lượng toàn phần cho thấy độ tin cậy và khả năng có thể dùng chương trình mô phỏng MCNP với tệp đầu vào đã xây dựng hỗ trợ thực nghiệm trong các ứng dụng liên quan đến việc xây dựng đường cong hiệu suất đỉnh chuẩn cho cấu hình hệ đo và mẫu cần dùng. Tuy nhiên sự khác biệt 12% ở vùng năng lượng thấp và các ảnh hưởng của tán xạ nhiều lần từ hình học của hệ đo lên số đếm toàn phần của phổ đặc biệt vùng năng lượng thấp cũng đặt ra những vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo nhằm tăng độ chính xác trong việc phân tích định lượng các nguyên tố của mẫu môi trường mà Phòng thí nghiệm đang áp dụng.

STUDY ON THE INFLUENCE OF MULTI-SCATTERING FROM  
SURROUNDINGS OF HPGe DETECTOR ON ITS GAMMA SPECTRA  
BY SIMULATION USING MCNP CODE

Mai Van Nhon, Truong Thi Hong Loan, Tran Ai Khanh, Tran Thien Thanh,  
Dang Nguyen Phuong  
University of Natural Sciences, VNU-HCM

**ABSTRACT:** *In this paper, the Los Alamos Laboratory's MCNP4C2 code was used to simulate the Co-60 gamma ray spectra of the HPGe detector and compare to the respectively empirical one, to investigate the X-rays absorption from lead by the 1.5mm copper and 1mm tin liners covering the lead shield, the influence of lead shield on the scattering continuum of the low energy, the change of the spectra shape when placing the source at a near and far distance from the detector. The results of comparing the empirical spectrum with simulated one showed that there was a agreement in the range of energy higher than 250 keV, but in the range of energy lower than 250 keV the empirical spectrum is 12.7% higher than the simulated one. The presence of lead shield and source - supports does almost not influence on counting number in the full energy peak. The results are the foundation to get high accuracy for latter estimating the gamma spectra in environmental sample quantitative analysis.*

**Key words:** *Gamma spectra, Multi -scattering, HPGe, MCNP, Full energy peak*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Glenn F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, John Wiley and Sons, Third Edition, (2000).
- [2]. J.F. Briesmeister, Ed., *MCNP4C2- Monte Carlo N-particle Transport Code System*, Los Alamos, LA-13709-M, (2001).
- [3]. [Veronika Olsovcova, *Peak efficiencies and pulse height distributions of a photon Ge Spectrometer in the energy range below 1Mev*, Bologna-Italy International Workshop Proceedings, (2003)
- [4]. Mai Văn Nhon, Truong Thị Hồng Loan, Đặng Nguyên Phương, Trần Ái Khanh, Trần Thiện Thanh, *Mô phỏng Monte - Carlo đường cong hiệu suất đỉnh của detector HPGe trong hệ phổ kế gamma môi trường sử dụng chương trình MCNP4C2*, Đại học Quốc gia Tp. HCM, Tạp chí khoa học và phát triển công nghệ, tập 10 số 5, 33 - 40, (2007)
- [5]. Mai Van Nhon, Le Van Ngoc, Truong Thi Hong Loan, Tran Thien Thanh, Dang Nguyen Phuong, Tran Ai Khanh, *Gamma spectrum simulation and coincidence summing factor calculation for point sources with using MCNP code*, Communication in Physics, Vol 17, No 2, (2007)
- [6]. [www.ipl.isotopeproducts.com](http://www.ipl.isotopeproducts.com)
- [7]. [www.canberra.com](http://www.canberra.com)