

# Một cách tiếp cận mới để xử lý phổ gamma tán xạ đối với vật liệu nhôm

Võ Hoàng Nguyên, Trần Thiện Thanh, Nguyễn Hữu Bảo,  
Cao Nguyễn Thế Thanh, Châu Văn Tạo

**Tóm tắt**—Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp Monte Carlo để mô phỏng từng thành phần riêng biệt của phổ gamma tán xạ. Chùm tia gamma phát ra từ nguồn  $^{137}\text{Cs}$ , tán xạ trên bia nhôm và được ghi nhận bởi đầu dò NaI(Tl). Dựa vào đặc trưng phân bố của từng thành phần tán xạ, chúng tôi đề xuất một phương pháp mới để xử lý phổ gamma tán xạ bằng cách tách phổ này thành ba thành phần: tán xạ một lần, tán xạ hai lần và tán xạ nhiều hơn hai lần. Áp dụng phương pháp này để tính toán bề dày vật liệu với các phổ mô phỏng cho kết quả khá tốt.

**Từ khóa**—gamma tán xạ, mô phỏng Monte Carlo, NaI(Tl).

## 1 MỞ ĐẦU

Trong các phép đo kiểm tra vật liệu sử dụng kỹ thuật gamma tán xạ có yêu cầu độ chính xác cao thì thành phần tán xạ một lần đóng vai trò rất quan trọng, chính là dữ liệu cần được xác định trong các phổ đo. Tính đến nay ở trong nước và trên thế giới đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về kỹ thuật đo gamma tán xạ cũng như các ứng dụng của kỹ thuật này vào thực tiễn. Fernández [2] đã công bố nghiên cứu lý thuyết về cường độ tán xạ một lần và hai lần trên các vật liệu khác nhau. Nghiên cứu này dựa trên lý thuyết vận chuyển cho một mẫu dày vô hạn được chiếu xạ bởi một chùm tia gamma đơn năng và lời giải của phương trình vi phân Boltzmann. Singh và cộng sự [4] đã nghiên cứu ảnh hưởng của ống chuẩn trực đối với thành phần tán xạ nhiều lần trên vật liệu. Kết quả của nghiên cứu đã chỉ ra rằng tỉ số tán xạ một lần/tán xạ nhiều lần tăng lên khi thu hẹp ống chuẩn

trực. Khi áp dụng vào thực tiễn với một số lượng lớn các phép đo cần thực hiện thì việc kéo dài thời gian đo sẽ gây ra nhiều hạn chế. Tarim [7] đã sử dụng kết quả mô phỏng Monte Carlo để đánh giá các thành phần tán xạ một lần và nhiều lần trong phổ tán xạ gamma toàn phần. Hoàng Đức Tâm và cộng sự [6] đã có một công bố về hàm đáp ứng của hai chương trình mô phỏng MCNP5 và GEANT4 đối với đầu dò NaI(Tl) trong thí nghiệm đo gamma tán xạ trên vật liệu thép C45. Kết quả cho thấy hàm đáp ứng có sự phù hợp rất tốt ở cả hai chương trình. Nghiên cứu này đã chứng tỏ khả năng sử dụng các chương trình mô phỏng để dự kiến bố trí thực tế cho hệ đo thực nghiệm và dự đoán trước một số kết quả. Priyada và cộng sự [3] đã đề xuất một phương trình để mô tả sự phụ thuộc của cường độ chùm tia tán xạ vào bề dày vật liệu tán xạ. Theo đó, cường độ chùm tia tán xạ tăng dần khi tăng bề dày vật liệu tán xạ và tiến dần đến giá trị bão hòa. Hoàng Đức Tâm và cộng sự [5] đã sử dụng công thức nói trên kết hợp với một phương pháp phân tích phổ gamma tán xạ do chính nhóm tác giả đề xuất để tính bề dày của vật liệu thép C45 với nguồn phóng xạ  $^{137}\text{Cs}$  hoạt độ 5 mCi và đầu dò NaI(Tl). Trong công trình này, nhóm tác giả đã đề xuất tách hàm phân bố của phổ tán xạ thành ba thành phần: một hàm phân bố Gauss cho thành phần tán xạ một lần, một hàm phân bố Gauss cho thành phần tán xạ hai lần và một hàm đa thức bậc bốn cho các thành phần tán xạ nhiều hơn hai lần.

Các nghiên cứu nêu trên đã cho thấy sự cần thiết của việc xác định chính xác thành phần tán xạ một lần trong phổ gamma tán xạ. Trong nghiên cứu của Hoàng Đức Tâm [5] tuy kết quả tính toán đạt được rất tốt nhưng phương pháp xử lý của nhóm tác giả chưa phản ánh đúng đặc điểm phân bố của các thành phần tán xạ. Do đó, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng mô phỏng Monte Carlo để xem

*Ngày nhận bản thảo: 02-11-2017; Ngày chấp nhận đăng: 09-02-2018; Ngày đăng: 15-10-2018.*

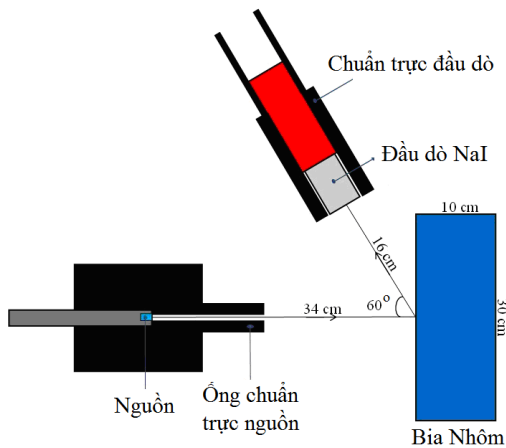
Tác giả Võ Hoàng Nguyên, Trần Thiện Thanh, Nguyễn Hữu Bảo, Cao Nguyễn Thế Thanh, Châu Văn Tạo – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM  
(email: vhnghuyen@hcmus.edu.vn)

xét đặc điểm phân bố của từng thành phần riêng biệt trong phổ gamma tán xạ, qua đó đề xuất một phương pháp mới để xử lý phổ sao cho phản ánh đúng bản chất của các thành phần tán xạ hơn.

## 2 PHƯƠNG PHÁP

### Mô hình mô phỏng hệ đo gamma tán xạ

Chương trình GEANT4 được sử dụng để mô phỏng một hệ đo gamma tán xạ gồm nguồn phóng xạ  $^{137}\text{Cs}$ , các bia tán xạ bằng nhôm và đầu dò NaI(Tl)  $7,62\text{ cm} \times 7,62\text{ cm}$ . Các bia nhôm có dạng tấm phẳng, kích thước bề mặt  $100\text{ mm} \times 300\text{ mm}$  và bề dày thay đổi từ  $2\text{ mm}$  đến  $100\text{ mm}$ . Ống chuẩn trực nguồn dài  $20\text{ cm}$  và có đường kính  $1\text{ cm}$ , ống chuẩn trực đầu dò có đường kính  $9,2\text{ cm}$ . Bố trí của hệ đo được mô tả trong hình 1, trong đó góc tán xạ là  $120^\circ$ , khoảng cách từ nguồn đến bia nhôm là  $34\text{ cm}$  và khoảng cách từ bề mặt đầu dò đến bia nhôm là  $16\text{ cm}$  hoặc  $21\text{ cm}$ .



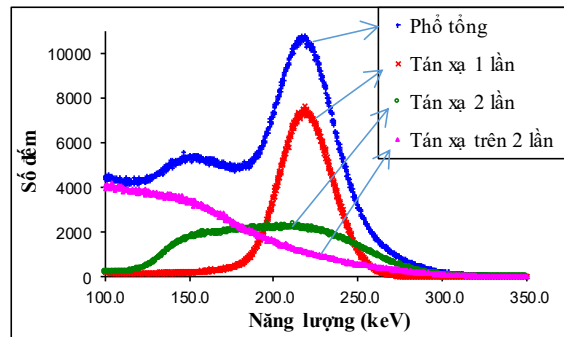
Hình 1. Bố trí của hệ đo gamma tán xạ

### Mô phỏng phổ gamma tán xạ sử dụng chương trình GEANT4

GEANT4 [1] là một công cụ mô phỏng chạy trên máy tính được xây dựng trên ngôn ngữ lập trình C++, sử dụng thuật toán gieo hạt ngẫu nhiên Monte Carlo. GEANT4 có thể được ứng dụng để mô phỏng tương tác của các hạt qua môi trường vật chất. Điểm mạnh của GEANT4 là một chương trình mã nguồn mở, do đó người dùng có thể chủ

động trích xuất các thông tin cần thiết từ quá trình tương tác của các hạt với môi trường. Cấu trúc chính của một chương trình GEANT4 gồm 3 lớp: lớp hình học, lớp khai báo vật lý và lớp khởi tạo hạt.

Đối với chương trình GEANT4, sử dụng chức năng UserSteppingAction để theo dõi quá trình tương tác của từng hạt và lưu lại các giá trị bằng lớp tùy chọn EventAction. Dữ liệu đầu ra của chương trình là các phổ thành phần (tán xạ một lần, tán xạ hai lần, tán xạ trên hai lần) và phổ tổng (bao gồm tất cả các thành phần). Hình 2 trình bày các thành phần của phổ tán xạ trên bia nhôm dày  $70,6\text{ mm}$  với khoảng cách đầu dò - bia là  $16\text{ cm}$ .

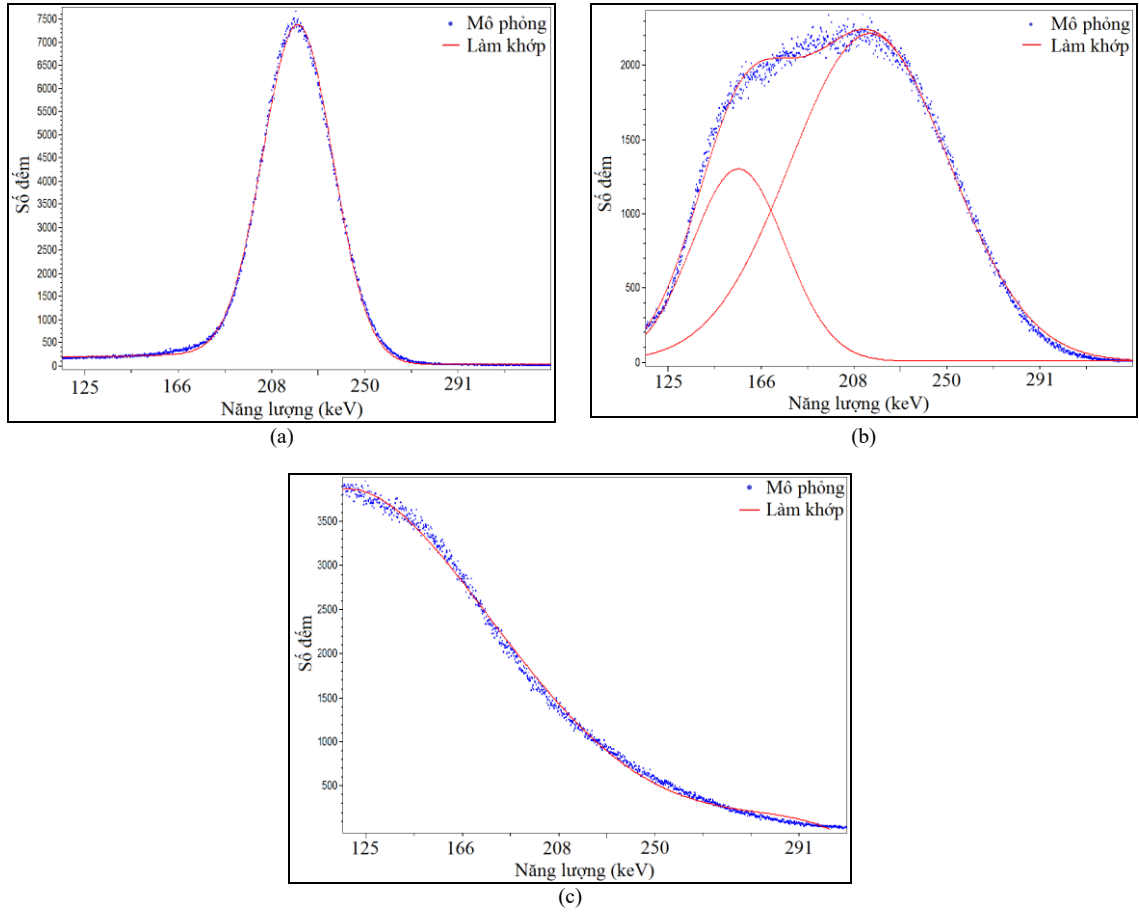


Hình 2. Các thành phần của phổ tán xạ gamma

### Phương pháp phân tích phổ gamma tán xạ

Mỗi thành phần tán xạ được làm khớp riêng để tìm dạng phân bố đặc trưng. Chương trình làm khớp phổ được sử dụng là COLEGRAM. Đối với thành phần tán xạ một lần chúng tôi chọn dạng phân bố Gauss kèm với đuôi trái, với thành phần tán xạ hai lần dạng phân bố là tổng của hai hàm Gauss, và dạng phân bố của thành phần tán xạ trên hai lần là một hàm đa thức (Hình 3).

Thông qua việc khảo sát dạng phân bố của từng thành phần, phương pháp xử lý phổ gamma tán xạ được đề xuất như sau: tách phổ tán xạ thành ba thành phần: thành phần tán xạ một lần đặc trưng bởi phân bố Gauss kèm đuôi trái, thành phần tán xạ hai lần đặc trưng bởi tổng của hai hàm Gauss, thành phần tán xạ trên hai lần đặc trưng bởi một hàm đa thức.



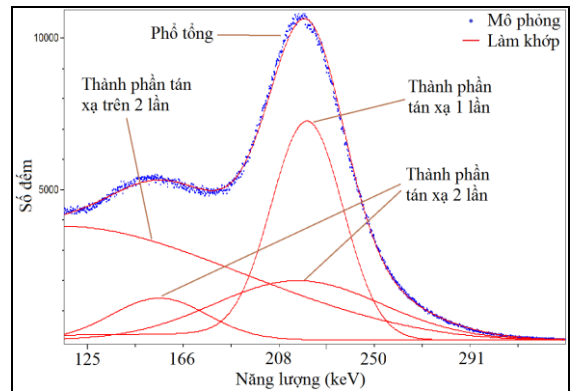
Hình 3. Dạng phân bố của thành phần tán xạ một lần (a), hai lần (b) và trên hai lần (c)

3 KẾT QUẢ THẢO LUẬN

Từ phương pháp xử lý phổ mới, chúng tôi đã xử lý các phổ tổng (bao gồm tất cả các thành phần) thu được từ chương trình mô phỏng GEANT4. Hình 4 trình bày phổ tán xạ trên bia 70,6 mm, khoảng cách từ đầu dò đến bia là 16 cm đã được tách thành các thành phần.

Qua việc phân tách phổ tổng thành các thành phần, diện tích đỉnh tán xạ một lần cũng được xác định. Dựa vào diện tích này, xác định đường cong bão hòa theo phương trình (1) [5]:

$$I = I_S(1 - e^{-\mu_{\text{eff}}T}) \tag{1}$$



Hình 4. Phổ tán xạ đã được tách thành các thành phần

Trong đó, I là cường độ (diện tích đỉnh) tán xạ một lần trên bia có bề dày T;  $I_S$ ,  $\mu_{\text{eff}}$  là các hệ số thu được từ việc làm khớp.

Dựa vào hệ số  $I_S$ ,  $\mu_{\text{eff}}$  và diện tích đỉnh tán xạ một lần, chúng tôi tính toán bề dày T của bia tán xạ theo công thức (2):

$$T = -\frac{1}{\mu_{\text{eff}}} \ln\left(1 - \frac{I}{I_S}\right) \quad (2)$$

Sai số  $u_T$  của bề dày được tính bởi công thức (3):

$$u_T = \sqrt{\left(\frac{\ln(1-I/I_S)}{\mu_{\text{eff}}^2}\right)^2 u_{\mu_{\text{eff}}}^2 + \left(\frac{I/I_S^2}{(1-I/I_S)\mu_{\text{eff}}}\right)^2 u_{I_S}^2 + \left(\frac{I/I_S}{(1-I/I_S)\mu_{\text{eff}}}\right)^2 u_I^2} \quad (3)$$

(2) Trong đó:  $u_{\mu_{\text{eff}}}$ ,  $u_{I_S}$ ,  $u_I$  lần lượt là sai số của  $\mu_{\text{eff}}$ ,  $I_S$  và  $I$ .

Kết quả tính toán được trình bày trong bảng 1 và 2.

**Bảng 1.** Kết quả tính toán bề dày bia tán xạ với khoảng cách đầu dò - bia là 16 cm

Bề dày thực (mm)	Diện tích đỉnh tán xạ một lần	Bề dày tính toán (mm)	Sai biệt (%)
2,0	215818	2,1 ± 0,0	5,2
5,0	468289	5,0 ± 0,1	0,4
8,3	699808	8,3 ± 0,1	0,3
10,1	807143	10,2 ± 0,1	0,5
12,5	923904	12,4 ± 0,1	0,3
16,7	1089878	16,5 ± 0,2	0,3
20,5	1204737	20,1 ± 0,2	1,7
30,2	1393959	29,1 ± 0,4	3,8
40,0	1492896	37,6 ± 0,7	5,7
50,2	1554349	47,6 ± 1,4	5,1
60,3	1592058	60,7 ± 3,3	1,1
70,6	1600542	66,6 ± 4,8	5,6
79,8	1617505		
90,8	1630738		
100,5	1635890		

**Bảng 2.** Kết quả tính toán bề dày bia tán xạ với khoảng cách đầu dò - bia là 21 cm

Bề dày thực (mm)	Diện tích đỉnh tán xạ một lần	Bề dày tính toán (mm)	Sai biệt (%)
2,0	116284	1,9 ± 0,0	5,4
5,0	277200	5,0 ± 0,1	0,2
8,3	415868	8,4 ± 0,1	1,1
10,1	479400	10,3 ± 0,2	1,5
12,5	547361	12,6 ± 0,2	1,3
16,7	648582	16,9 ± 0,3	2,4
20,5	711164	20,5 ± 0,3	0,3
30,2	810580	29,0 ± 0,6	4,1
40,0	858709	36,2 ± 0,9	9,3
50,2	891820	44,8 ± 1,7	10,6
60,3	912698	55,5 ± 3,5	7,7
70,6	926196	73,8 ± 12,5	4,6
79,8	927960		
90,8	942572		
100,5	946549		

Kết quả tính toán bề dày có sự phù hợp khá tốt so với thực tế, độ sai biệt lớn nhất ở các khoảng cách 16 cm và 21 cm tính từ bia đến đầu dò lần lượt là 5,7 % và 10,6 %. Sai số lớn nhất cũng tăng

dần theo khoảng cách, vì khi đầu dò càng ở xa bia thì cường độ chùm tia tán xạ đến đầu dò càng nhỏ, dẫn đến sai số thống kê càng lớn.

## 4 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chương trình mô phỏng GEANT4 đã được sử dụng để khảo sát đặc trưng phân bố của từng thành phần riêng biệt trong phổ gamma tán xạ. Qua đó, đề xuất một phương pháp mới để xử lý phổ gamma tán xạ: tách phổ tổng thành 3 thành phần: tán xạ một lần, tán xạ hai lần và tán xạ trên hai lần. Áp dụng phương pháp xử lý này đối với các phổ mô phỏng để tính bề dày các bia tán xạ cho kết quả khá phù hợp so với thực tế.

So với phương pháp trước đây của Hoàng Đức Tâm và cộng sự [5] thì phương pháp mới được trình bày trong nghiên cứu này có ưu thế hơn trong việc mô tả chính xác các thành phần và tổng thể của một phổ tán xạ gamma, theo đó hệ số  $\chi^2$  của phương pháp mới nhỏ hơn đáng kể so với phương pháp cũ [8].

Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ thực hiện mô phỏng với nhiều bề dày hơn để có được bộ số liệu chi tiết hơn. Ngoài ra chúng tôi cũng dự định áp dụng phương pháp xử lý đã đề xuất lên các phổ đo thực nghiệm để đánh giá khả năng ứng dụng vào thực tiễn của phương pháp này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Agostinelli et al, GEANT4 - a simulation toolkit, *Nucl Instrum Meth A*, 506, 250–303, 2003.
- [2]. J.E. Fernández, Compton and Rayleigh double scattering of unpolarized radiation, *Physical Review A*, 44, 7, 4232–4248, 1991.
- [3]. P. Priyada, M. Margret, R. Ramar, M.M. Shivaramu, Intercomparison of gamma ray scattering and transmission techniques for fluid – fluid and fluid – air interface levels detection and density measurements, *Applied Radiation and isotopes*, 70, 462–469, 2012.
- [4]. M. Singh, G. Singh, B.S. Sandhu, B. Singh, Effect of detector collimator and sample thickness on 0,662 MeV multiply Compton scattered gamma rays, *Applied Radiation and Isotopes*, 64, 373–378, 2006.
- [5]. H.D. Tam, H.D. Chuong, T.T. Thanh, V.H. Nguyen, H.T.K. Trang, C.V. Tao, Advanced gamma spectrum processing technique applied to the analysis of scattering spectra for determining material thickness, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303, 693–699, 2015.
- [6]. H.D. Tam, T.T. Thanh, L.B. Tran, T.K. Tuyet, H.D. Chuong, V.H. Nguyen, C.V. Tao, First Results of Saturation Curve Measurements of Heat-Resistant Steel using GEANT4 and MCNP5 Codes, *Proc. Conf. Advances in Radioactive Isotope Science*, 6, 2015.
- [7]. U.A. Tarim, E.N. Ozmutlu, O. Gurler, S. Yalcin, Monte Carlo analyses of multiple backscattering of gamma rays, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 901–905, 2013.
- [8]. C.N.T. Thanh, Nghiên cứu đặc trưng của các thành phần tán xạ gamma một lần và nhiều lần bằng thực nghiệm và mô phỏng trên vật liệu nhôm và thép, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQG-HCM, 2017.

# A new approach to process gamma scattering spectra for aluminum materials

Vo Hoang Nguyen\*, Tran Thien Thanh, Nguyen Huu Bao,  
Cao Nguyen The Thanh, Chau Van Tao

University of Science, VNUHCM

\*Corresponding author: vhnghuyen@hcmus.edu.vn

*Received: 23-10-2017, Accepted: 28-02-2018, Published: 15-10-2018*

**Abstract**—In this study, we used Monte Carlo method to simulate each separate component of the gamma scattering spectrum. The gamma rays emitted from a  $^{137}\text{Cs}$  source, scatter on aluminum targets and recorded by a NaI(Tl) detector. Based

on the distribution characteristics of each scattering component, we propose a new method to analyze scattered gamma spectra. This method was applied for simulated spectra to estimate the material thickness gives good results.

**Index Terms**—gamma scattering, Monte Carlo simulation, NaI(Tl).