Nghiên cứu ảnh hưởng của đường kính ống chuẩn trực đầu dò lên bề dày bão hòa trong phép đo gamma tán xạ

- **Huỳnh Đình Chương**
- **Võ Hoàng Nguyên**
- **Lê Thị Ngọc Trang**
- **Nguyễn Thị Trúc Linh**
- **Trần Kim Tuyết**
- **Trần Thiện Thanh**

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 08 tháng 12 năm 2016, nhận đăng ngày 26 tháng 07 năm 2017)

TÓM TẮT

Ảnh hưởng của đường kính ống chuẩn trực đầu dò lên bề dày bão hòa trong phép đo gamma tán xạ sử dụng thành phần phổ tán xạ một lần đã được nghiên cứu. Bố trí thí nghiệm hình học của phép đo gamma tán xạ bao gồm:một chùm tia gamma chuẩn trực có năng lượng 662 keV phát ra từ nguồn ^{137}Cs được chiếu lên bia nhôm dạng tấm phẳng với góc tới 90^o và đầu dò NaI(Tl) 5,1cmx5,1 cm có ống chuẩn trực được sử dụng để ghi nhận các tia gamma tán xạ tại góc tán xạ 120^o. Các phép đo thực nghiệm được thực hiện để thu nhận phổ tán xạ ứng với các bề dày bia và đường kính ống chuẩn trực đầu dò khác nhau. Thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần trong phổ tán xạ được xác định dựa trên một kỹ thuật xử lý phổ bằng làm khớp bình phương tối thiểu. Các kết quả thực nghiệm cho thấy rằng bề dày bão hòa của số đếm tán xạ một lần tăng lên với sự gia tăng của đường kính cửa sổ ống chuẩn trực đầu dò. Kết quả này sẽ hỗ trợ cho việc nghiên cứu ứng dụng phương pháp gamma tán xạ trong kiểm tra không hủy mẫu để xác định bề dày và khuyết tật của mẫu đo.

***Từ khóa**: gamma tán xạ, bề dày bão hòa, ống chuẩn trực đầu dò*

MỞ ĐẦU

Hiện nay, phương pháp đo gamma tán xạ đang được nghiên cứu rộng rãi để ứng dụng cho việc kiểm tra không hủy mẫu trong nhiều lĩnh vực của công nghiệp như: đo bề dày vật liệu dạng tấm phẳng [20] hoặc bề dày thành ống trụ [12] phát hiện và đánh giá các lỗ rỗng hoặc thanh thép bên trong bê tông [9, 16], ăn mòn hoặc khuyết tật bên trong mẫu kim loại [14, 19]; xác định các đặc trưng vật lý của vật liệu như mật độ khối lượng [1, 6, 7], hệ số hấp thụ khối [2], số nguyên tử hiệu dụng [3], hàm lượng của một chất bên trong hỗn hợp hoặc dung dịch [15, 17]. Trong hầu hết các nghiên cứu ứng dụng của phương pháp đo gamma tán xạ, dữ liệu tán xạ một lần ghi nhận được từ phép đo là thông tin cần thiết mà nó được sử dụng để đánh giá đối tượng cần phân tích. Trong khi đó, dữ liệu tán xạ nhiều lần thường được xem là tín hiệu nhiễu và gây ra sai số cho kết quả đo.

Các kết quả nghiên cứu [5, 8, 10, 12, 18, 20] đã chỉ ra rằng số đếm tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần gia tăng khi bề dày của bia tăng lên, và đạt đến một giá trị hầu như không đổi khi bề dày bia lớn hơn một giá trị gọi là bề dày bão hòa. Thông thường, bề dày bão hòa được xem như là giới hạn trên về bề dày của bia trong phép đo gamma tán xạ, tức là sự phân tích chỉ có thể thực hiện được đối với các mẫu có bề dày nhỏ hơn bề dày bão hòa. Do đó, việc nghiên cứu các

yếu tố ảnh hưởng đến bề dày bão hòa là rất cần thiết cụ thể. Sự ảnh hưởng của số nguyên tử Z của vật liệu bia (Gurvinderjit Singh và các cộng sự [5]), năng lượng của tia gamma tới (Manpreet Singh và các công sự [10]), góc tán xạ (Kiran và các cộng sự [8]), và đường kính ống chuẩn trực đầu dò (Manpreet Singh và các cộng sự [11], Arvind D. Sabharwal và các cộng sự [17]) đối với bề dày bão hòa sử dụng thành phần tán xạ nhiều lần đã được nghiên cứu. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay về ảnh hưởng của các thông số lên bề dày bão hòa hầu như chỉ tập trung vào thành phần tán xạ nhiều lần, trong khi thành phần tán xạ một lần vốn là đối tượng quan trọng lại ít được đánh giá.

Trong nghiên cứu này, các phép đo thực nghiệm được tiến hành để khảo sát sự ảnh hưởng của đường kính ống chuẩn trực đầu dò lên bề dày bão hòa sử dụng thành phần tán xạ một lần. Bố trí thí nghiệm gồm tia gamma tới có năng lượng 662 keV tán xạ trên bia nhôm dạng tấm phẳng và các tia gamma tán xạ được ghi nhận bởi đầu dò NaI(Tl) đặt tại vị trí tương ứng với góc tán xạ 120^o (được mô tả chi tiết trong mục 2.1). Dữ liệu phổ tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần trong phổ gamma tán xạ được xác định dựa trên một kỹ thuật xử lý phổ bằng phương pháp làm khớp bình phương tối thiểu. Các giá trị bề dày bão hòa theo số đếm tán xạ một lần được ước lượng cho những hình học đo ứng với ống chuẩn trực đầu dò có đường kính khác nhau.

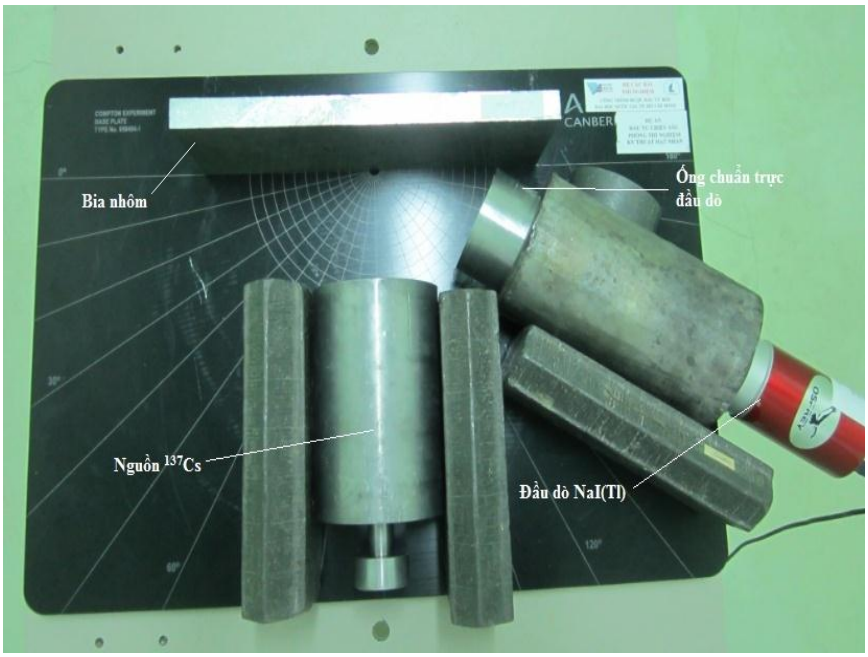
VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Bố trí thí nghiệm

Bố trí thí nghiệm sử dụng trong nghiên cứu này được chỉ ra trong Hình 1. Trong đó, nguồn phóng xạ được sử dụng là nguồn đồng vị ^{137}Cs, thuộc mẫu P03 do hãng Eckert&Ziegler sản xuất, có hoạt độ 5 mCi để phát ra các tia gamma năng lượng 662 keV. Để hạn chế các tia bức xạ đi trực tiếp từ nguồn đến đầu dò và ảnh hưởng lên người làm thí nghiệm, nguồn phóng xạ được đặt bên trong một khối chì hình trụ có đường kính 10 cm và chiều dài 15,2 cm. Khối chì này có một ống rỗng dạng trụ đường kính 1 cm và chiều để tối ưu hóa phép đo cho từng trường hợp ứng dụng dài 10 cm để chuẩn trực cho các tia gamma phát ra từ nguồn. Bia tán xạ được làm bằng vật liệu nhôm (Z = 13) dạng tấm phẳng có kích thước bề mặt 10x30 cm với các bề dày 0,040; 0,200; 0,612; 0,822; 1,010; 1,236; 1,650; 2,030; 3,020; 3,990; 5,020; 6,020; 7,050; 7,980; 9,080; 10,050; 11,650 cm và độ bất định của bề dày bia là 0,001 cm. Bia tán xạ được đặt vuông góc với trục đối xứng của ống chuẩn trực nguồn tại khoảng cách 20,4 cm từ nguồn đến bề mặt bia. Một đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) có kích thước tinh thể 5,1x5,1 cm, thuộc mẫu 802 do hãng Canberra sản xuất, được sử dụng để ghi nhận các tia gamma tán xạ phát ra từ bia ứng với góc tán xạ 120^o. Đầu dò được bố trí sao cho trục đối xứng của nó và trục đối xứng của ống chuẩn trực nguồn nằm trên cùng một mặt phẳng và giao nhau tại tâm của bề mặt bia. Khoảng cách từ bề mặt bia đến cửa sổ của đầu dò là 15,2 cm. Để suy giảm phông phóng xạ từ môi trường xung quanh, mặt bên của tinh thể đầu dò và ống nhân quang điện được che chắn bởi một lớp chì dày 2 cm. Đồng thời, ống chuẩn trực bằng chì dạng trụ có chiều dài 4 cm và đường kính cửa sổ khác nhau (lần lượt là 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 cm) được đặt tại mặt trước của đầu dò để chuẩn trực cho các tia gamma tán xạ.

Đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) được kết nối với Osprey^{TM} (cung cấp bởi hãng Canberra). Đây là một thiết bị tích hợp, bên trong gồm: bộ cung cấp nguồn cao thế, tiền khuếch đại và bộ xử lý tín hiệu số hoạt động với chức năng của bộ khuếch đại, phân tích đa kênh (MCA) và giao tiếp điều khiển. Sau đó, Osprey^{TM} được kết nối với máy tính điện tử thông qua một sợi cáp (với cổng kết nối USB) để truyền dữ liệu và cấp điện thế hoạt động cho nó. Việc thu nhận các dữ liệu thực nghiệm được quản lý bởi phần mềm Genie-2K, có thể hiển thị và xử lý các phổ ghi nhận được. Tất cả các phổ thực nghiệm đều được ghi nhận với chế độ đo 2048 kênh của MCA. Các phép đo thực nghiệm được tiến hành với tất cả các bề dày bia và các ống chuẩn trực đường kính khác nhau.

Đồng thời, các phép đo "phông", tức là không có sự hiện diện của bia tán xạ trong phép đo, cũng được ghi nhận để loại trừ sự đóng góp số đếm của các sự kiện không phải do tia gamma tán xạ trên bia gây ra. Thời gian thực hiện mỗi phép đo được điều chỉnh để đạt được một sai số thống kê tương đối dưới 1 % của số đếm tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần



Hình 1. Bố trí thí nghiệm đo tán xạ gamma sử dụng trong nghiên cứu

Kỹ thuật xử lý phổ gamma tán xạ

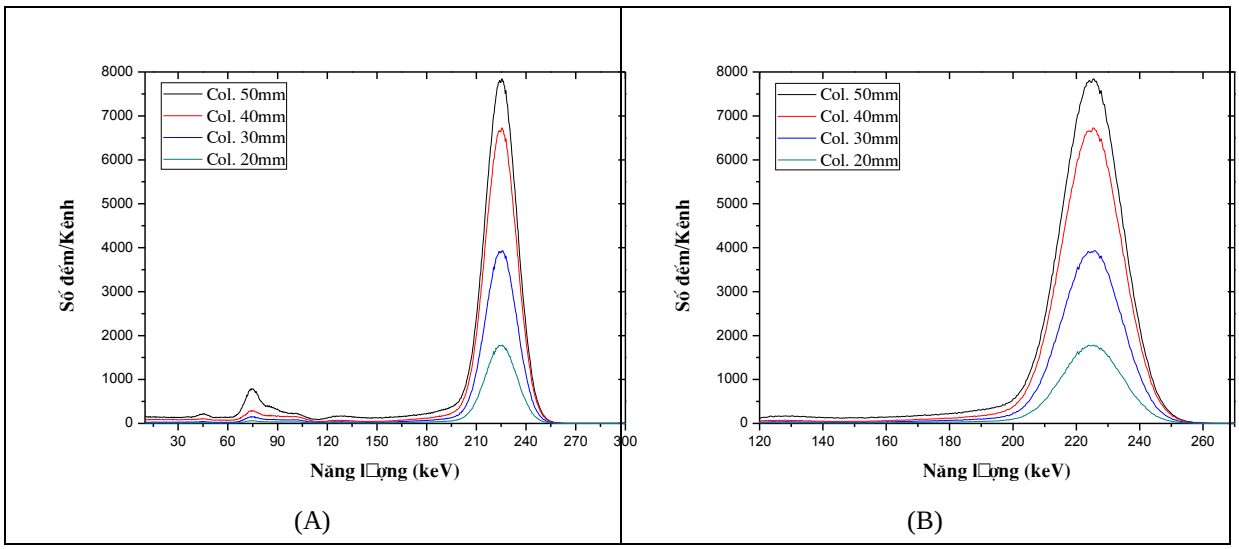
Trong phép đo gamma tán xạ, đầu dò luôn ghi nhận được đồng thời các tia bức xạ gamma tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần đến từ bia. Về cơ bản, các tia gamma tán xạ nhiều lần có năng lượng liên tục, trải rộng và bao phủ vùng năng lượng của các tia gamma tán xạ một lần [4]. Do đó, dữ liệu ghi nhận của các tia gamma tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần có sự chồng chập lên nhau trong phổ gamma tán xạ. Điều này gây ra một sự khó khăn để phân biệt dữ liệu của thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần. Trong một nghiên cứu trước đây, nhóm của chúng tôi (Hoàng Đức Tâm và các cộng sự [20]) đã đưa ra một kỹ thuật dựa trên phương pháp làm khớp bình phương tối thiểu để xử lý dữ liệu của phổ gamma tán xạ. Tuy nhiên, kỹ thuật này chỉ cho phép xác định số lượng của tia gamma tán xạ một lần được ghi nhận bởi quá trình bỏ lại toàn bộ năng lượng trong đầu dò, mà không thể nhận biết dữ liệu phổ của các thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần. Trong nghiên cứu hiện tại, một kỹ thuật cải tiến cho phép xác định dữ liệu phổ của các thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần được ứng dụng để xử lý các phổ gamma tán xạ thu được từ thực nghiệm. Kỹ thuật xử lý phổ cải tiến này được trình bày dưới đây.

Trước tiên, các tia gamma tán xạ một lần từ bia đến đầu dò được xem như là có năng lượng xấp xỉ bằng với năng lượng E được tính bởi công thức (1):

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2}\left(1 - \cos\theta\right)} \quad (1)$$

với E_0 là năng lượng của tia gamma tới, m_0c^2= 511 keV là năng lượng nghỉ của electron, θ là góc tán xạ. Năng lượng E=224,88 keV tương ứng với các giá trị E_0=662 keV và θ=120^o của bố trí thí nghiệm trong nghiên cứu này. Trong thực tế, năng lượng của các tia gamma tán xạ một lần phân bố lân cận giá trị E này, do sự phân bố của góc tán xạ mà nó phụ thuộc vào hình học đo. Từ đó, phổ đáp ứng của đầu dò đối với tia gamma năng lượng E, tương ứng với từng trường hợp ống chuẩn trực đầu dò được sử dụng, được xác định dựa trên sự mô phỏng Monte Carlo (sử dụng chương trình MCNP5) như được chỉ ra trong Hình 2. Có thể quan sát thấy trong vùng năng lượng 120-260 keV, các dữ liệu phổ có dạng phân bố phù hợp với hàm Gaussian đuôi trái (Gaussian with left tail) với công thức như sau:

$$GT(x) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}}.\exp\left[\frac{-(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right] + A.\frac{T}{2}.\exp\left[(x-x_0)\tau + \frac{\sigma^2\tau^2}{2}\right].\mathrm{erfc}\left[\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{(x-x_0)}{\sigma} + \sigma\tau\right)\right] \quad (2)$$



Hình 2. Phổ đáp ứng của đầu dò NaI(Tl) được sử dụng trong nghiên cứu đối với tia gamma năng lượng 224,88 keV cho từng ống chuẩn trực đầu dò (Col.) có đường kính khác nhau được xác định bằng chương trình MCNP5 (A) biểu diễn toàn phổ, (B) biểu diễn trong vùng năng lượng 120-260 keV

với A, x_0, σ lần lượt là biên độ, giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của đỉnh Gaussian; T, τ lần lượt là biên độ và độ dốc của đuôi trái. Đuôi trái của hàm này đại diện cho các quá trình tia gamma tán xạ một lần chỉ bỏ lại một phần năng lượng bởi tán xạ Compton trong đầu dò.

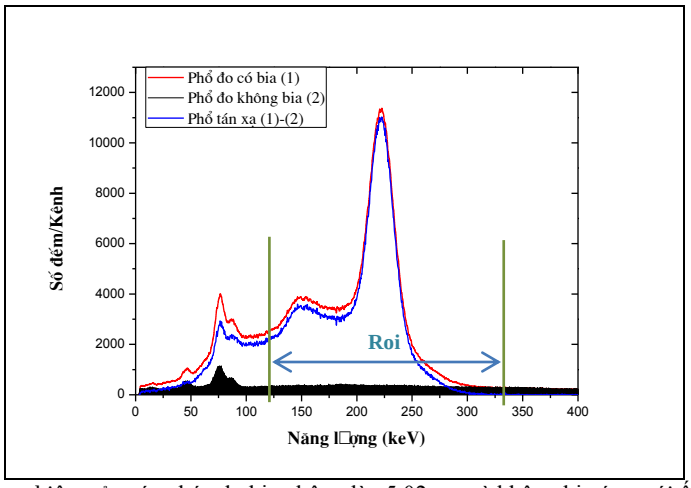
Xem xét trong trường hợp phép đo gamma tán xạ khi bề dày hoặc vật liệu của bia tán xạ thay đổi, dẫn đến sự biến thiên của cường độ tia gamma tán xạ một lần từ bia đến đầu dò và sự phân bố cường độ theo năng lượng của chúng. Điều này gây ra sự tái cấu trúc của dữ liệu phổ tán xạ một lần ghi nhận được cho từng phép đo, có thể được xem như là một sự chồng chập của rất nhiều phổ đáp ứng tuân theo sự phân bố cường độ của các tia gamma tán xạ một lần đến đầu dò. Nói cách khác, dữ liệu phổ tán xạ một lần cũng có thể được xem như là một sự chồng chập liên tục của nhiều hàm Gaussian đuôi trái với mỗi hàm có các giá trị A và x_0 khác nhau; còn các giá trị σ, T, τ xem như thay đổi không đáng kể bởi vì các tia gamma tán xạ một lần có sự sai biệt về năng lượng nhỏ. Với sự chồng chập như vậy, dữ liệu phổ tán xạ một lần vẫn có dạng phân bố phù hợp với hàm Gaussian đuôi trái. Tất nhiên, dữ liệu phổ tán xạ một lần sẽ khác biệt so với phổ đáp ứng của bức xạ gamma đơn năng. Sự khác biệt này được thể hiện bởi những thay đổi của các giá trị A, x_0, σ, T. Tuy nhiên, có hai giá trị được

xem như không thay đổi là τ và tỉ số Đỉnh/Compton (tức là tỉ số giữa độ cao của đỉnh và độ cao trung bình của nền Compton của phổ dữ liệu tán xạ một lần). Hai giá trị này có thể được xác định từ phổ đáp ứng của đầu dò đối với bức xạ đơn năng bằng cách làm khớp bình phương tối thiểu dữ liệu phổ với một hàm Gaussian đuôi trái. Các giá trị của τ và tỉ số Đỉnh/Compton tương ứng với các ống chuẩn trực đường kính khác nhau được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị của τ và Đỉnh/Compton tương ứng với các ống chuẩn trực đầu dò đường kính khác nhau

Thông số	Đường kính của ống chuẩn trực đầu dò (cm)				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5.0
τ	0,010201	0,009419	0,009441	0,008795	0,006072
Đỉnh/Compton	122,64	113,93	112,67	103,40	52,09

Sau đó, dữ liệu phổ gamma tán xạ thu được bằng cách trừ phổ ghi nhận được từ phép đo có bia cho phổ ghi nhận của phép đo không bia, như được minh họa trong Hình 3. Dữ liệu phổ gamma tán xạ trong vùng năng lượng từ 120–320 keV được sử dụng để xử lý phổ. Dữ liệu phổ này được tạo thành do sự đóng góp của thành phần tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần. Trong đó, dữ liệu phổ tán xạ một lần có thể được đặc trưng bởi một hàm Gaussian đuôi trái như đã thảo luận ở trên; dữ liệu phổ tán xạ nhiều lần bao gồm: đỉnh tán xạ hai lần được đặc trưng bởi một hàm Gaussian và nền tán xạ nhiều lầnđược đặc trưng bởi hàm đa thức bậc 4 [20]. Việc làm khớp bình phương tối thiểu được thực hiện đối với dữ liệu phổ gamma tán xạ đã chọn để xác định những thông số cơ bản của các hàm làm khớp nêu trên, lưu ý rằng thông số τ của hàm Gaussian đuôi trái đã được biết. Đồng thời, các thông số của hàm Gaussian đuôi trái thu được từ việc làm khớp phải thỏa mãn điều kiện là tỉ số Đỉnh/Compton bằng với giá trị tương ứng đã xác định trong Bảng 1. Thực tế là thông qua việc làm khớp bằng phương pháp bình phương tối thiểu có thể sẽ thu được nghiệm (tập hợp giá trị của các thông số) không thỏa mãn điều kiện trên, do đó cần phải có một sự điều chỉnh các thông số để hướng tỉ số Đỉnh/Compton về giá trị mong muốn. Trong nghiên cứu này, chương trình Colegram được sử dụng để làm khớp bình phương tối thiểu cho các dữ liệu phổ gamma tán xạ. Mỗi tập hợp giá trị của các thông số của hàm Gaussian đuôi trái thu được từ việc làm khớp sẽ được kiểm tra tỉ số Đỉnh/Compton tương ứng, nếu tỉ số này không phù hợp với giá trị mong muốn thì thông số biên độ của đuôi trái T sẽ được điều chỉnh và tiếp tục làm khớp bình phương tối thiểu. Quá trình này được lặp lại cho đến khi tỉ số Đỉnh/Compton đạt được giá trị mong muốn.



Hình 3. Phổ thực nghiệm của các phép đo bia nhôm dày 5,02 cm và không bia ứng với ống chuẩn trực đầu dò đường kính 2,0 cm và phổ tán xạ thu được từ việc trừ phổ có bia cho phổ không bia

Khi đó, dữ liệu phổ tán xạ một lần trong vùng năng lượng quan tâm được xác định dựa trên hàm Gaussian đuôi trái đã biết. Đồng thời, dữ liệu phổ tán xạ nhiều lần tương ứng thu được bằng cách trừ phổ gamma tán xạ cho dữ liệu phổ tán xạ một lần.

Phương pháp ước lượng bề dày bão hòa

Bề dày bão hòa trong phép đo gamma tán xạ được định nghĩa là một giá trị mà các bia tán xạ có bề dày lớn hơn nó thì số đếm gamma tán xạ ghi nhận được thay đổi không đáng kể. Nói cách khác, các bia tán xạ có bề dày lớn hơn bề dày bão hòa là không thể phân biệt được dựa trên số đếm ghi nhận từ phép đo gamma tán xạ. Theo quan điểm thống kê, số đếm gamma tán xạ ghi nhận được từ phép đo là một biến ngẫu nhiên mà nó phân bố xung quanh một giá trị kỳ vọng, với độ bất định đặc trưng. Hai bia tán xạ có bề dày khác nhau được xem như là không thể phân biệt nếu các số đếm gamma tán xạ ghi nhận từ chúng có khoảng bất định chồng chập với nhau. Như vậy, điều kiện để ước lượng giá trị của bề dày bão hòa (T_0) có thể được thiết lập bởi bất phương trình (3).

$$I(T_0) + u_{I_0} \geq I(T_\infty) - u_{I_\infty} \quad (3)$$

với $I(T_0)$ và $I(T_\infty)$ là số đếm tán xạ một lần ghi nhận được từ các phép đo trên các bia tán xạ có bề dày bằng bề dày bão hòa và vô cùng; u_{I_0} và u_{I_∞} là độ bất định tương ứng của chúng. Sự phân bố của số đếm tán xạ một lần ghi nhận được từ một phép đo tuân theo phân bố Gaussian, do đó $u_{I_T} = k.\sqrt{I(T)}$ với k là hệ số thể hiện độ tin cậy. Thông thường hệ số k được chọn là 1,96 để đạt được độ tin cậy 95 %.

Mặt khác, sự biến thiên của số đếm tán xạ một lần theo bề dày bia tán xạ có thể được biểu diễn bởi một hàm toán học (4) [12, 20]:

$$I(T) = I_S.\left[1 - \exp(-\mu_{eff} T)\right] \quad (4)$$

với I_S là số đếm bão hòa của gamma tán xạ một lần $I_S = \lim_{T\to\infty} I(T)$, μ_{eff} là hệ số suy giảm tuyến tính hiệu dụng toàn phần. Các thông số I_S và μ_{eff} có thể được xác định bởi việc làm khớp bình phương tuyến tính các giá trị thực nghiệm của số đếm tán xạ một lần theo bề dày bia tán xạ. Từ đó, giá trị bề dày bão hòa có thể được tính toán bởi công thức (5).

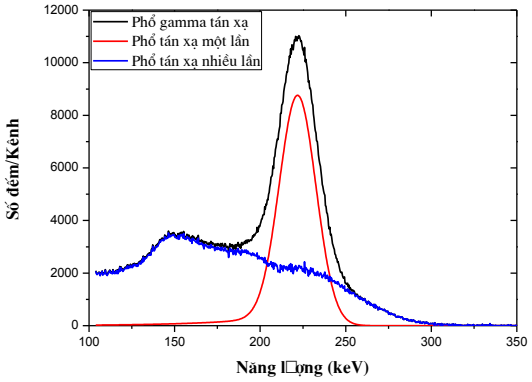
$$T_0 = -\frac{1}{\mu_{eff}}.\ln\left[1 - \left(1 - \frac{k}{\sqrt{I_S}}\right)^2\right] \quad (5)$$

Lưu ý rằng trong công thức (5), bề dày bão hòa phụ thuộc vào I_S mà hệ số này có liên quan đến thời gian thực hiện phép đo và hoạt độ phóng xạ của nguồn. Rõ ràng là khi thời gian đo hoặc hoạt độ nguồn phóng xạ tăng thì số đếm tán xạ ghi nhận được cũng tăng lên. Theo lý thuyết thống kê, số đếm thống kê càng lớn thì độ bất định tương đối của nó càng nhỏ, do đó khả năng phân biệt được số đếm tán xạ của hai bề dày khác nhau càng tốt. Như vậy, bề dày bão hòa của phép đo gamma tán xạ có thể được tăng lên nếu sử dụng các nguồn phóng xạ hoạt độ cao và thời gian đo dài.

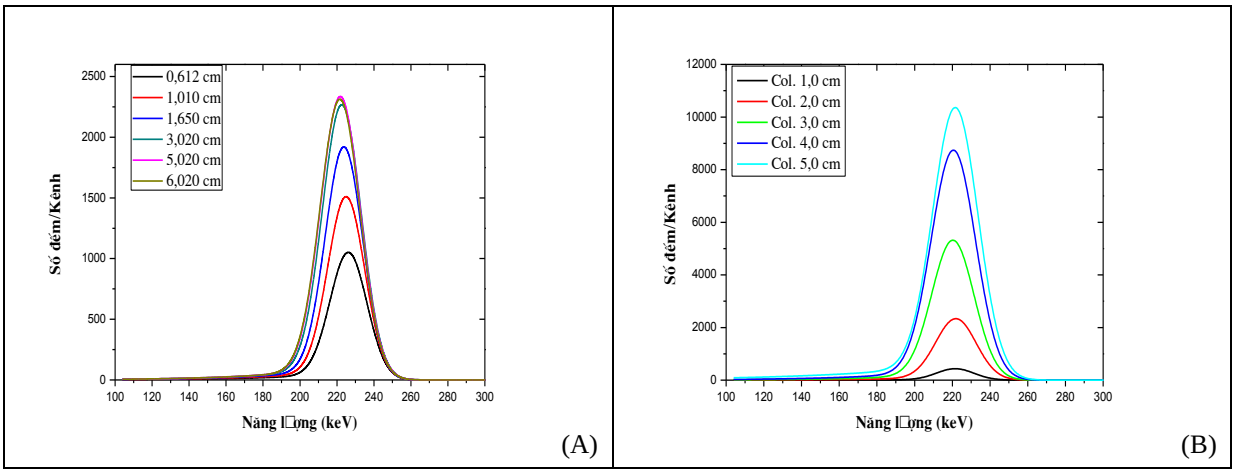
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 4 cho thấy một kết quả của việc xử lý phổ gamma tán xạ thu được từ phép đo bia nhôm dày 5,02 cm và ống chuẩn trực đầu dò 2,0 cm, trong đó sự phân tách các dữ liệu phổ tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần đã được thực hiện. Từ những dữ liệu phổ này, số đếm tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần được xác định bằng cách lấy tổng số đếm của từng thành phần trong vùng năng lượng quan tâm. Bên cạnh đó, có thể thấy rằng đối với các bia tán xạ dày thì số đếm tán xạ nhiều lần đóng góp khá đáng kể trong vùng ghi nhận của đỉnh tán xạ một lần.

Hình 5 trình bày các dữ liệu phổ gamma tán xạ một lần của các bề dày bia tán xạ và đường kính ống chuẩn trực đầu dò khác nhau. Có thể quan sát thấy rằng, khi bề dày bia tăng thì dữ liệu phổ gamma tán xạ một lần được ghi nhận tăng lên, nhưng sau một bề dày nhất định thì dữ liệu phổ gamma tán xạ một lần hầu như không thay đổi. Đồng thời, độ rộng của đỉnh phổ cũng tăng lên khi bề dày bia gia tăng. Điều này có thể được giải thích như sau: khi bề dày bia tăng lên thì xác suất để xảy ra tương tác tán xạ Compton của các tia gamma tới với electron trong bia càng lớn, do đó cường độ của tia gamma tán xạ một lần đến đầu dò và được ghi nhận tăng. Tuy nhiên khi đạt đến một bề dày nhất định, các tia gamma tán xạ một lần được tạo ra do sự tăng bề dày của bia hầu như bị hấp thụ hoặc tán xạ bên trong bia, nên không có sự gia tăng của cường độ tia gamma tán xạ một lần đến đầu dò. Mặt khác, khi bề dày bia tăng thì phân bố năng lượng của các tia gamma tán xạ một lần đến đầu dò được mở rộng, do có sự đóng góp thêm của các tia gamma tán xạ với các góc tán xạ lớn hơn. Điều này dẫn đến độ rộng của đỉnh phổ tán xạ một lần tăng lên do sự chồng chập của các phổ đáp ứng như đã thảo luận trong mục 2.2. Bên cạnh đó, dữ liệu phổ gamma tán xạ một lần ghi nhận được từ phép đo của một bề dày nhất định cũng tăng lên khi đường kính ống chuẩn trực đầu dò tăng. Bởi vì đường kính ống chuẩn trực đầu dò càng lớn thì góc khối tương quan giữa bia và đầu dò càng lớn, nên số lượng tia gamma tán xạ một lần đến đầu dò càng nhiều.



Hình 4. Kết quả xử lý phổ gamma tán xạ của phép đo bia nhôm dày 5,02 cm và ống chuẩn trực đầu dò đường kính 2 cm

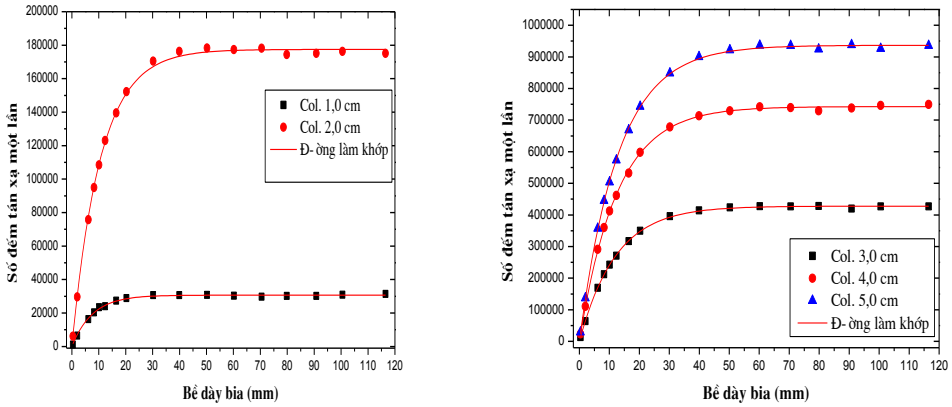


Hình 5. Dữ liệu phổ tán xạ một lần (A) của các bề dày bia tán xạ khác nhau với ống chuẩn trực đầu dò đường kính 2,0 cm, (B) của bề dày bia 5,02 cm với các ống chuẩn trực đầu dò đường kính khác nhau

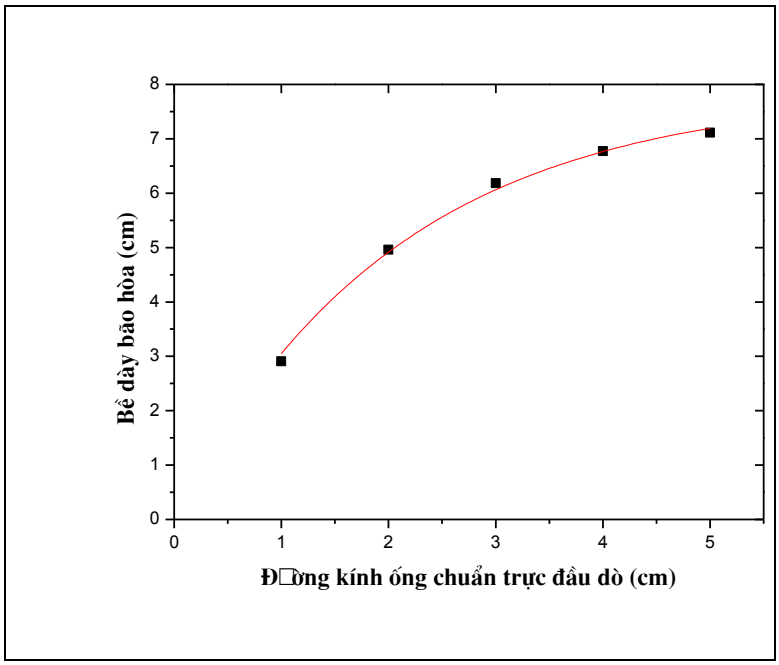
Hình 6 biểu diễn sự biến thiên của số đếm tán xạ một lần theo bề dày bia ứng với các ống chuẩn trực đầu dò có đường kính khác nhau. Các số liệu này được làm khớp bình phương tối thiểu sử dụng hàm (4). Giá trị của những thông số cơ bản của hàm làm khớp được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Giá trị của các thông số cơ bản của các hàm làm khớp số đếm tán xạ một lần theo bề dày bia

Đường kính ống chuẩn trực đầu dò (cm)	Hệ số của hàm làm khớp bình phương tối thiểu theo (4)		
	I_S	μ_{eff}	R^2
1,0	30655,69	0,13095	0,9961
2,0	177463,74	0,09434	0,9988
3,0	427861,41	0,08277	0,9996
4,0	742769,88	0,07966	0,9995
5,0	936697,31	0,07745	0,9996



Hình 6. Sự biến thiên của số đếm tán xạ một lần theo bề dày bia ứng với các ống chuẩn trực đầu dò có đường kính khác nhau và các đường làm khớp tương ứng



Hình 7. Sự biến thiên của bề dày bão hòa theođường kính ống chuẩn trực đầu dò khi sử dụng thành phần phổ tán xạ một lần

Sau đó, bề dày bão hòa tương ứng với số đếm tán xạ một lần được tính toán theo công thức (5), sử dụng các giá trị của hàm làm khớp trong Bảng 2, cho các ống chuẩn trực đầu dò có đường kính khác nhau. Kết quả cho thấy, bề dày bão hòa tăng lên khi đường kính của ống chuẩn trực đầu dò tăng. Sự phụ thuộc của bề dày bão hòa theo số đếm tán xạ một lần vào đường kính ống chuẩn trực đầu dò có thể được làm khớp bởi một hàm có dạng toán học của (4), như được chỉ ra trong Hình 7.

KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một kỹ thuật xử lý phổ gamma tán xạ cho phép xác định dữ liệu tán xạ một lần và tán xạ nhiều lần được trình bày. Đồng thời, một công thức để ước lượng bề dày bão hòa của số đếm tán xạ cũng được xây dựng dựa trên suy luận thống kê. Theo công thức này, khái niệm bề dày bão hòa còn phụ thuộc vào số lượng thống kê của các tia gamma tán xạ được ghi nhận, có liên hệ với hoạt độ nguồn và thời gian đo. Các dữ liệu thực nghiệm đã được cung cấp để chỉ ra sự gia tăng của bề dày bão hòa theo sự tăng lên của đường kính ống chuẩn trực đầu dò trong phép đo gamma tán xạ sử dụng thành phần phổ tán xạ một lần. Các kết quả đạt được trong nghiên cứu có thể được ứng dụng trong việc tối ưu hóa hệ đo phân tích không hủy mẫu trong công nghiệp.

***Lời cảm ơn**: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ Đề tài mã số T2015-08.*

The effect of the diameter of the detector collimator on saturation thickness in gamma scattering measurement

- **Huynh Dinh Chuong**
- **Vo Hoang Nguyen**
- **Le Thi Ngoc Trang**
- **Nguyen Thi Truc Linh**
- **Tran Kim Tuyet**
- **Tran Thien Thanh**

University of Science, Vietnam National University-Ho Chi Minh City

ABSTRACT

The effect of the diameter of the detector collimator on the saturation thickness in gamma-scattering measurements is studied using the spectrum of singly scattering. Geometric arrangement of gamma-scattering measurement includes: a gamma-ray collimated beam with the energy of 662 keV emitted from ^{137}Cs source is irradiated on a rectangular aluminium target with incident angle of 90^o, and detector NaI(Tl) 5.1cmx5.1cm with collimator is used to record the scatterd gamma rays at scattered angle of 120°. The experimental measurements are carried out to obtain scattered spectra with various target thickness and diameter of detector collimator. The profile of the singly scattering and multiply scattering in the scattered spectra are determined by a spectrum processing technique based on the least squares fitting. The experimental results showed that the saturation thickness of the counts of singly scattering increases with increasing the window diameter of the detector collimator. These results will support for the non-destructive testing research of application of gamma-scattering method to determine the thickness or the defect of the sample.

***Key words**: gamma scattering, saturation thickness, detector collimator*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S. Ashrafi, O. Jahanbakhsh, D. Alizadeh, Application of artificial neural network in non-destructive Compton scattering densitometry, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 760, 1–4 (2014).

[2]. A. El Abd, A method for determination mass absorption coefficient of gamma rays by Compton scattering, *Applied Radiation and Isotopes*, 94, 247–253 (2014).

[3]. Y. Demet, T. Ahmet, U. Zeynep, K. Demet, Measurement of effective atomic number of gunshot residues using scattering of gamma rays, *Radiation Physics and Chemistry*, 102, 68–71 (2014).

[4]. J.E. Fernandez, Compton and Rayleigh double scattering of unpolarized radiation, *Physical Review A*, 44 4232–4248 (1991).

[5]. S. Gurvinderjit, S. Manpreet, S. Bhajan, B.S. Sandhu, Experimental observation of Z-dependence of saturation depth of 0.662 MeV multiply scattered gamma rays, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 251, 73–78 (2006).

[6]. O. Jahanbakhsh, S. Ashrafi, B. Salehpour, R.B.H. Abadi, N. Khaiiatali, Industrial scattering densitometry using a mCi gamma-ray source, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 726, 47–51 (2013).

[7]. M. Khorsandi, S.A.H. Feghhi, Design and construction of a prototype gamma-ray densitometer for petroleum products monitoring application, *Measurement*, 44, 1512–1515 (2011).

[8]. K.U. Kiran, K. Ravindraswami, K.M. Eshwarappa, M.H. Somashekarappa, Angular dependence of multiple scattered photons and saturation thickness for certain elements by gamma scattering method, *Radiation Physics and Chemistry*, 119, 116–124 (2016).

[9]. M. Margret, M. Menaka, B. Venkatraman, S. Chandrasekaran, Compton back scatter imaging for mild steel rebar detection and depth characterization embedded in concrete, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 343, 77–82 (2015).

[10]. S. Manpreet, S. Gurvinderjit, S. Bhajan, B.S. Sandhu, Experimental observation of energy dependence of saturation thickness of multiply scattered gamma photons, *Radiation Physics and Chemistry*, 77, 991– 995 (2008).

[11]. S. Manpreet, S. Gurvinderjit, B.S. Sandhu, S. Bhajan, Effect of detector collimator and sample thickness on 0.662 MeV multiply Compton-scatterd gamma rays, *Applied Radiation and Isotopes*, 64, 373– 378 (2006).

[12]. V.H. Nguyen, H.D. Tam, L.B. Tran, T.T. Thanh., H.T. Le, L.D.M. Quan, H.D. Chuong, T.N.T. Ngan, C.V. Tao, A semi-empirical method for measuring thickness of pipe-wall using gamma scattering technique, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 3, 308,1011–1016 (2016).

[13]. C. Philippe, B. François, K. John, Example of Monte Carlo uncertainty assessment in the field of radionuclide metrology, *Metrologia*, 52, S42–S50 (2015).

[14]. P. Priyada, M. Margret, R. Ramar, S.M. Menaka, L. Thilagam, B. Venkataraman, R. Baldev, Intercomparison of gamma scattering, gammatography, and radiography techniques for mild steel nonuniform corrosion detection, *Review of Scientific Instruments*, 82, 035115 (2011).

[15]. P. Priyada, R. Ramar, Shivaramu, An improved Compton scattering method for determination of concentration of solutions, *Applied Radiation and Isotopes*,70, 2421–2427 (2012).

[16]. P. Priyada, R. Ramar, Shivaramu, Application of gamma ray scattering technique for non-destructive evaluation of voids in concrete, *Applied Radiation and Isotopes*, 74, 13–22 (2013).

[17]. P. Priyada, R. Ramar, Shivaramu, Determining the water content in concrete by gamma scattering method, *Annals of Nuclear Energy*, 63, 565–570 (2014).

[18]. A.D. Sabharwal, B.S. Sandhu, S. Bhajan, Investigations of effect of target thickness and detector collimation on 662 keV multiply back scattered gamma photons, *Radiation Measurements*, 44, 411–414 (2009).

[19]. I.L.M. Silva, R.T. Lopes, E.F.O. Jesus de, Tube defects inspection technique by using Compton gamma-rays backscattering, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 422, 957–963 (1999).

[20]. 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 Chemistry1*, 303, 693–699 (2015) .