

BƯỚC ĐẦU NGHIÊN CỨU PHỔ GỐC TRONG HỆ PHỔ KẾ GAMMA BẰNG THUẬT TOÁN ML-EM VÀ MÔ PHÒNG MCNP

Mai Văn Nhơn⁽¹⁾, Lê Văn Ngọc⁽²⁾, Trương Thị Hồng Loan⁽¹⁾, Đặng Nguyên Phương⁽¹⁾

(1)Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(2)Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, Hà Nội

TÓM TẮT: Trong công trình này, thuật toán ML-EM (Maximum Likelihood Fitting by Expectation Maximization) được sử dụng trong việc tìm phổ gốc của hệ phổ kế gamma đầu dò HPGe. Tập hợp các đáp ứng đầu dò được mô phỏng bằng chương trình MCNP4C2 đối với bức xạ gamma phát ra từ nguồn điểm đơn năng đặt tại khoảng cách 10,6cm so với mặt đầu dò. Năng lượng của các nguồn thay đổi từ 50,1 keV đến 1502,1 keV với bước nhảy 2,5 keV được mô phỏng theo sự ghi nhận của hệ phổ kế gamma 8192 kênh. Kết quả bước đầu thực hiện trên phổ gamma của các nguồn điểm Co-60, Cs-137, Eu-152 cho thấy ở phổ được hiệu chỉnh có sự tăng đáng kể diện tích quang đỉnh so với phổ đo trong cùng một điều kiện.

Từ khóa: tìm phổ gốc, phổ kế gamma, HPGe, nguồn điểm, MCNP.

1. GIỚI THIỆU

Khi đi qua môi trường của đầu dò với cấu hình cụ thể, tia gamma tới tương tác với đầu dò sẽ được ghi nhận thông qua các hiệu ứng trực tiếp (hiệu ứng quang điện) hoặc gián tiếp như tán xạ Compton, tạo cặp hoặc thoát khỏi đầu dò. Tùy theo hình học và cấu trúc cụ thể của đầu dò cũng như bố trí vật liệu xung quanh đầu dò mà ảnh hưởng tán xạ sơ cấp và thứ cấp lên phổ sẽ thay đổi khác nhau. Một cách tổng quát phổ đo được là kết quả của sự tương tác của hệ đầu dò lên phổ tới, làm phân bố lại dạng của phổ tới, bao gồm đỉnh toàn phần do hiệu ứng quang điện và nền liên tục từ hiệu ứng tán xạ Compton nhiều lần trong môi trường đầu dò và các vật liệu xung quanh. Do đó tốc độ đếm trên đỉnh toàn phần không thể hiện đầy đủ cường độ nguồn đi vào đầu dò. Phương pháp giải cuộn sử dụng một thuật toán lặp thích hợp để khử nền liên tục do tán xạ Compton sẽ giúp ta có được phổ gốc ban đầu của photon tới. Bằng cách đó ta có được các phổ tương ứng sau khi giải cuộn với các đặc trưng tốt giúp nâng cao khả năng phân giải, giới hạn phát hiện và độ chính xác của phép phân tích bằng hệ phổ kế gamma đang dùng.

Có nhiều phương pháp để giải cuộn phổ gamma như phương pháp Linear Regularisation Method (LS), Maximum Likelihood Fitting by Expectation Maximization (ML-EM), Maximum Entropy Method (MEM)... nhưng theo L.J. Meng and D.Ramsden [2] thì ML-EM mặc dù có tốc độ hội tụ chậm nhưng phương pháp này có nhiều ưu điểm về độ phân giải cao trong việc tách các đỉnh gần nhau, cho nghiệm dương, bảo toàn số đếm trên toàn phổ giúp ta dễ kiểm tra sự đúng đắn của phương pháp, dễ thích nghi trong việc xử lý số đếm thấp.

Trong công trình này chúng tôi sử dụng thuật toán ML-EM để giải cuộn phổ gamma của hệ đầu dò HPGe ký hiệu GC2018 của hãng Canberra [1]. Bước đầu thực hiện trên nguồn điểm Cs-137, Co-60 và Eu-152. Nguồn được đặt tại khoảng cách 10,6cm so với mặt đầu dò.

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1 Phương pháp giải cuộn dùng thuật toán ML-EM

Về mặt toán học có thể diễn tả phương pháp giải cuộn như sau : gọi $y(j)$ là số đếm đo được bởi hệ phổ kế gamma ở khoảng năng lượng thứ j . Khi đó kỳ vọng của $y(j)$, ký hiệu $\tilde{y}(j)$ được diễn tả bởi dạng:

$$\tilde{y}(j) = E[y(j)] = \sum_{i=1}^I x(i)a(i, j) \quad (1)$$

Ở đây: $x(i)$ là số đếm có được của phổ tia gamma tới tại kênh thứ i . Ở đây $x(i)$ tuân theo thăng giáng thống kê Poisson.

$a(i, j)$: là xác suất để tia gamma tới có năng lượng ở kênh i được phát hiện ở kênh thứ j thỏa điều kiện $a(i, j) \geq 0$.

Có nhiều cách để tìm lại phổ gốc x của tia tới ban đầu từ phương trình (1) như đã phân tích ở phần I. Ở đây chúng tôi sử dụng phương pháp ML-EM dựa trên nguyên lý cơ hội cực đại [3] để tìm x :

$$x^{(k+1)}(i) = x^{(k)}(i) \sum_{j=1}^J \frac{y(j)a(i, j)}{\sum_{i'=1}^I x^{(k)}(i')a(i', j)} \quad (2)$$

Trong đó:

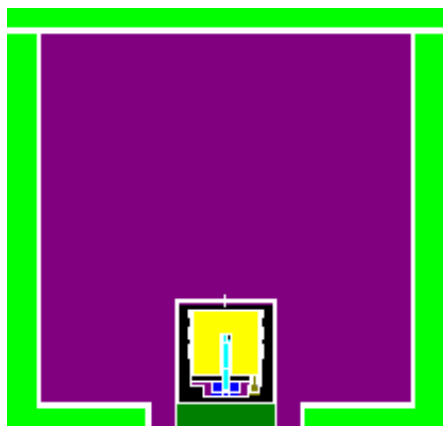
- $x^{(k)}(i)$ là số đếm có được của x ở kênh i ở bước lặp thứ k
- J là số kênh tối đa ghi nhận được bởi hệ phổ kế tương ứng.
- I là số kênh tương ứng với năng lượng cao nhất của phổ tia gamma tới mà ta muốn khảo sát.

2.2 Mô phỏng ma trận đáp ứng bằng chương trình MCNP

Ma trận xác suất $a(i, j)$ trong (1) có được từ việc khảo sát phân bố độ cao xung của đầu dò đối với từng tia gamma đơn năng có năng lượng trải dài trong phạm vi cần khảo sát. Nó tùy thuộc vào từng loại cấu hình đầu dò, bố trí hình học giữa nguồn và đầu dò cũng như đối với vật liệu xung quanh, matrix và mật độ mẫu đo nên còn được gọi là ma trận đáp ứng.

Trong công trình này ma trận đáp ứng $a(i, j)$ được mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo với chương trình MCNP4C2 [4]. Trong [5] nhóm tác giả đã thực hiện việc mô hình hóa hệ phổ kế HPGe (GC1820) đặt trong buồng chì bằng chương trình này. Việc kiểm định tính đúng đắn của chương trình với mô hình xây dựng đã được xác nhận. Trong [6] chương trình này đã được áp dụng để nghiên cứu đáp ứng của đầu dò HPGe đang dùng, kết quả phổ mô phỏng được so sánh với phổ thực nghiệm.

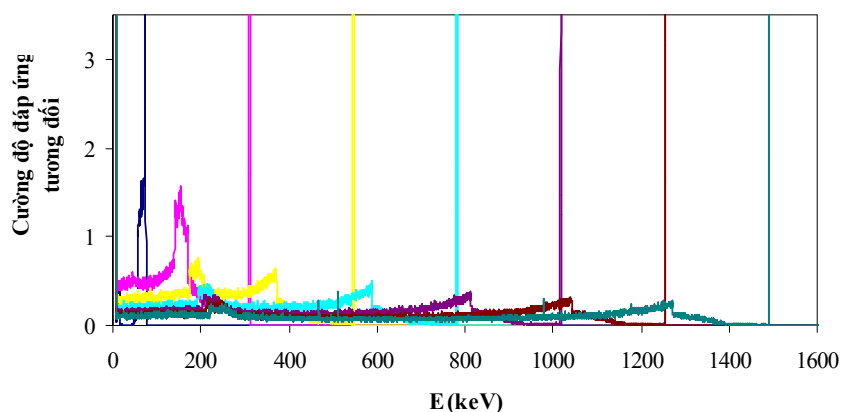
Với cách thức tương tự, chúng tôi thực hiện việc mô phỏng ma trận đáp ứng cho bài toán này. Hình 1 trình bày sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò - buồng chì dùng trong mô phỏng và đo đạc.



Hình 1. Sơ đồ cắt dọc của hệ đầu dò – buồng chì được mô phỏng bằng MCNP

Mô hình MCNP của hệ đầu dò HPGe và nguồn được áp dụng ở đây để mô phỏng phân bố độ cao xung cho ba nguồn Cs-137, Co-60, Eu-152 đặt ở khoảng cách 10,6cm so với mặt đầu dò. Năng lượng của photon tới trải dài từ 50 keV đến 1500 keV được mô phỏng với bước nhảy 2,5 keV. Để thống kê đủ tốt, số lịch sử 5.10^7 được sử dụng.

Kết quả phân bố độ cao xung sau đó được nhân cho số hạt tương ứng là 100.000 hạt để có được dạng phổ gamma tương ứng nhằm mục đích minh họa.

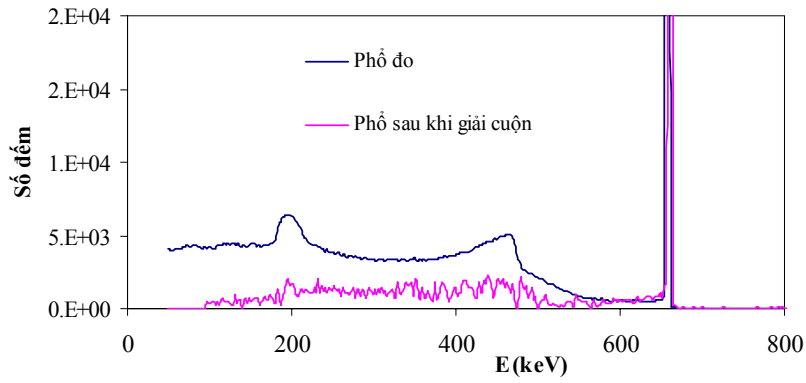


Hình 3. Một số đáp ứng của đầu dò HPGe được mô phỏng bởi MCNP

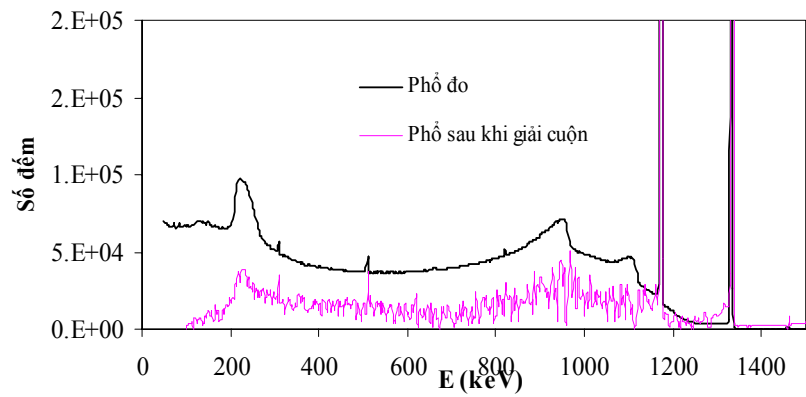
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi xây dựng được ma trận đáp ứng bằng mô phỏng MCNP cho hệ đầu dò HPGe và ba nguồn Cs-137, Co-60, Eu-152, việc giải cuộn phổ đo được thực hiện đối với từng phổ đo.

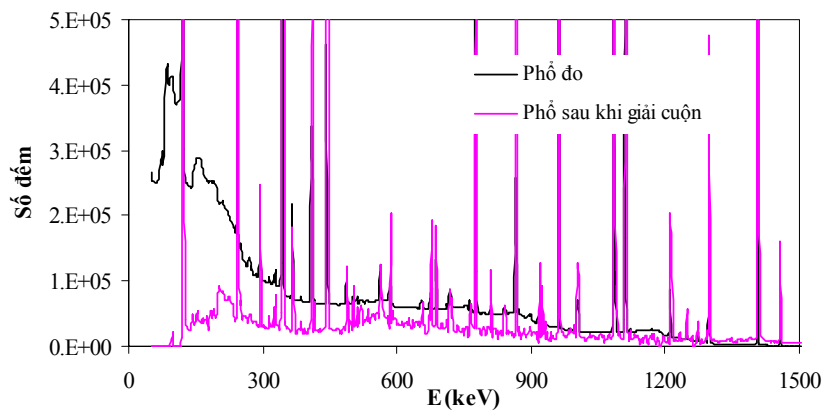
Hình 4, 5, 6 trình bày kết quả của việc giải cuộn các phổ đo Cs-137, Co-60, Eu-152.



Hình 4. Phổ đo và phổ sau khi giải cuộn của nguồn Cs-137



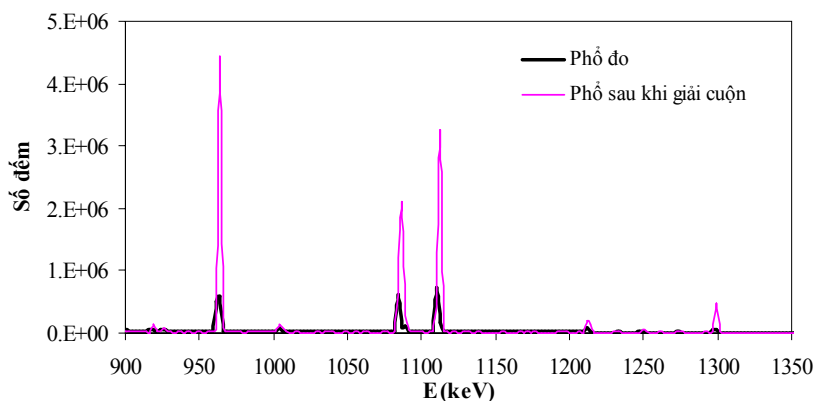
Hình 5. Phổ đo và phổ sau khi giải cuộn của nguồn Co-60



Hình 6. Phổ đo và phổ sau khi giải cuộn của nguồn Eu -152

Phổ sau khi giải cuộn có nền liên tục bị giảm xuống và diện tích đỉnh tương ứng tăng lên rất nhiều lần. Hình 7 minh họa sự tăng đáng kể diện tích đỉnh của một vài đỉnh năng lượng của Eu-152.

Bảng 1. trình bày sự so sánh diện tích đỉnh của một số năng lượng của các nguồn Cs-137, Co-60, Eu-152 của phổ đo $S_1(E)$ và phổ sau khi giải cuộn $S_2(E)$.



Hình 7. Sự so sánh một vài đỉnh đo và đỉnh sau khi giải cuộn của phổ nguồn Eu-152

Bảng 1. So sánh diện tích đỉnh phổ trước và sau khi giải cuộn

| E (keV) | Diện tích đỉnh phổ đo, $S_1(E_i)$ | Diện tích đỉnh phổ sau khi giải cuộn, $S_2(E_i)$ | $S_2(E_i)/S_1(E_i)$ |
|----------|-----------------------------------|--|---------------------|
| 121,78 | 9.659.428 | 12.580.660 | 1,302 |
| 244,70 | 1.732.572 | 2.902.612 | 1,675 |
| 344,28 | 4.539.938 | 11.056.650 | 2,435 |
| 661,70 | 238.380 | 844.418 | 3,542 |
| 778,90 | 1.013.117 | 3.625.679 | 3,579 |
| 867,38 | 363.606 | 1.202.112 | 3,306 |
| 964,08 | 1.012.864 | 4.406.812 | 4,351 |
| 1.112,08 | 580.355 | 3.109.040 | 5,357 |
| 1.173,20 | 2.275.943 | 9.956.457 | 4,375 |
| 1.332,50 | 350.371 | 2.999.274 | 8,560 |
| 1.408,01 | 1.083.197 | 6.076.921 | 5,610 |

Từ bảng 1 ta thấy tỷ số giữa diện tích đỉnh phổ sau khi giải cuộn so với diện tích đỉnh phổ đo lớn hơn một nhiều lần tùy theo năng lượng của photon tới.. Nó cho thấy hiệu quả của việc giảm nền liên tục và tích lũy vào số đếm ở diện tích quang đỉnh tương ứng sau khi giải cuộn là rất cao. Điều đó làm tăng khả năng phát hiện cũng như độ chính xác của hệ phổ kế đối với việc đo hoạt độ thấp của mẫu môi trường. Đây là một đặc điểm nổi trội của việc giải cuộn.

Tuy nhiên trên đồ thị cũng cho thấy vẫn còn tồn tại một ít vùng liên tục ở phổ sau khi giải cuộn. Điều đó cho thấy việc giải cuộn vẫn chưa hoàn toàn triệt để. Nó được giải thích bởi mô hình hệ phổ kế để mô phỏng đáp ứng phổ có thể chưa hoàn hảo cũng như thuật toán đang sử dụng chưa tối ưu làm cho các biến cố trên phổ ghi nhận chưa tích lũy được vào trong quang đỉnh nên vẫn còn tồn tại trong nền liên tục của phổ sau khi giải cuộn.

4. KẾT LUẬN

Trong công trình này, thuật toán ML-EM (Maximum Likelihood Fitting by Expectation Maximization) được sử dụng trong việc tìm phổ gốc từ hệ phổ kế gamma đầu dò HPGe. Tập hợp các đáp ứng phổ được mô phỏng bằng chương trình MCNP4C2 đối với bức xạ gamma phát ra từ nguồn điểm đơn năng đặt tại khoảng cách 10,6cm so với mặt đầu dò. Năng lượng của các nguồn thay đổi từ 50,1 keV đến 1502,1 keV với bước nhảy 2,5 keV được mô phỏng theo sự ghi nhận của hệ phổ kế gamma 8192 kênh. Kết quả bước đầu thực hiện trên phổ gamma của các nguồn điểm Co-60, Cs-137, Eu-152 cho thấy ở phổ được hiệu chỉnh có sự tăng đáng kể diện tích quang đỉnh so với phổ đo trong cùng một điều kiện. Điều đó làm tăng khả năng phát hiện cũng như độ chính xác của hệ phổ kế đối với việc đo hoạt độ thấp của mẫu môi trường. Tuy nhiên trên đồ thị cũng cho thấy vẫn còn tồn tại một ít vùng liên tục ở phổ sau khi giải cuộn. Nó được giải thích bởi mô hình hệ phổ kế để mô phỏng đáp ứng đầu dò chưa hoàn toàn chính xác, ví dụ sự mô phỏng không lý tưởng của tán xạ Compton nhiều lần từ chất liệu xung quanh hệ đầu dò – buồng chì như tường, giá đỡ, hệ điện tử, thiết bị thí nghiệm xung quanh... Ngoài ra cũng cần quan tâm đến việc cải tiến thuật toán giải cuộn, giảm thăng giáng thống kê trong phổ trước khi giải cuộn nhằm giảm thiểu sự xuất hiện đỉnh giả sau khi giải cuộn..

STUDY ON DECONVOLUTION FOR GAMMA SPECTROSCOPY USING ML-EM ALGORITHM AND MCNP SIMULATION

Mai Van Nhon⁽¹⁾, Le Van Ngoc⁽²⁾, Truong Thi Hong Loan⁽¹⁾, Dang Nguyen Phuong⁽¹⁾

(1)University of Natural Sciences, VNU-HCMC

(2)Institute of Nuclear Science and Technique, Ha noi

ABSTRACT: *In this paper, the ML-EM (Maximum Likelihood Fitting by Expectation Maximization) algorithm was used in deconvolution of continuum gamma ray for HPGe detector. A set of response functions was simulated by using MCNP4C2 code for gamma radiation emitted from point source located at 10.6cm from detector. The source energies varied from 50.1 keV to 1502.1 keV with 2.5 keV step were detected by the 8192 - channel spectrometer. The results of deconvolution for some gamma spectra of Co-60, Cs-137, Eu-152 showed that the photopeak areas of the deconvoluted spectra were considerably raised in compare with ones of measured spectra in the same condition.*

Key words: *deconvolution, gamma spectroscopy, HPGe, point source, MCNP.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Canberra Industries, Inc., *Genie 2000 version 3.0 - Customization Tools Manual*, Canberra Industries, Inc., USA (2004).
- [2]. L.J. Meng and D. Ramsden, *An Inter-comparison of Three Spectral – Deconvolution Algorithms for Gamma ray Spectroscopy*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.47, No.4 (2000).

- [3]. George Kontaxakis, Ludwig G. Strauss, *Maximum Likelihood Algorithms for Image Reconstruction in Positron Emission Tomography*, Mediterra Publishers, Athens, pp.73-106 (1998).
- [4]. J.F. Briesmeister, *MCNP4C2- Monte Carlo N-particle Transport Code System*, LA-13709-M (2001).
- [5]. Trương Thị Hồng Loan, Mai Văn Nhon, Đặng Nguyên Phương, Trần Ái Khanh và Trần Thiện Thanh, *Mô phỏng Monte Carlo đường cong hiệu suất đỉnh của đầu dò 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, trang 33-40 (2007).
- [6]. Trương Thị Hồng Loan, Đặng Nguyên Phương, Trần Thiện Thanh, Trần Ái Khanh and Mai Văn Nhon, *Monte – Carlo simulation of HPGe detector response function with using MCNP code* , Communication in Physics, Vol. 17, No. 1, pp 59-64 (2007).