

NGHIÊN CỨU ĐƯỜNG CONG HIỆU SUẤT ĐỈNH NĂNG LƯỢNG TOÀN PHẦN SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH DETEFF

TRẦN THIÊN THANH*, CHÂU VĂN TẠO**,
TRƯƠNG THỊ HỒNG LOAN***, MAI VĂN NHƠN****

TÓM TẮT

Trong công trình này, chương trình DETEFF được dùng để xác định hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần của nguồn ^{152}Eu tại vị trí cách đầu dò 15,3cm (để bỏ qua hiệu chỉnh trùng phùng tổng của các tia gamma). Kết quả cho thấy có sự phù hợp tốt giữa hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần thực nghiệm và mô phỏng với sai biệt dưới 4% cho các đỉnh năng lượng chủ yếu của ^{152}Eu . Điều đó cho thấy chương trình mô phỏng mà chúng tôi xây dựng được trên chương trình DETEFF là đáng tin cậy cho việc nghiên cứu tiếp tục trên hệ phổ kế gamma này bằng phương pháp mô phỏng.

Từ khóa: Monte Carlo, DETEFF, gamma.

ABSTRACT

Investigating full energy peak efficiency curve by using DETEFF code

In this paper, DETEFF code is used to determine the efficiency of the full energy peak of ^{152}Eu source at position 15.3cm from the end cap of the detector (to neglect the sum of coincidence correction of gamma rays). The results show a good agreement between the measured values and simulated one of FEPE with difference less than 4% for main gamma energies of ^{152}Eu . It shows that our simulation program based on DETEFF code is reliable enough for later studies on our HPGe spectrometer by using Monte Carlo Method.

Keywords: Monte Carlo, DETEFF, gamma.

1. Giới thiệu:

Hệ phổ kế gamma là thiết bị dùng trong phép đo và phân tích phổ gamma để khảo sát đặc trưng của các đồng vị phóng xạ có trong các mẫu môi trường dựa trên việc xác định năng lượng của các tia gamma này nhằm nhận diện và xác định hoạt độ của chúng. Khi sử dụng

hệ phổ kế gamma có hai yếu tố cần được quan tâm là hiệu suất của đầu dò và độ nhạy của hệ phổ kế. Vấn đề độ nhạy của hệ phổ kế đã được tối ưu bởi các đặc trưng của buồng chì và các yếu tố khác trong quá trình thiết kế. Vấn đề còn lại là việc xác định hiệu suất của đầu dò tại thời điểm đo mẫu. Vì vậy, xác định lại hiệu suất tại thời điểm đo là việc rất cần thiết.

Phương pháp thực nghiệm được sử dụng trong quá trình xác định hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần theo năng lượng là dùng một số nguồn phát gamma đơn năng đã biết trước hoạt độ. Tuy nhiên các nguồn này thường có chu kỳ

* ThS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

** PGS TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

*** TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

**** PGS TS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP HCM

bán rã ngắn nên sau một thời gian sử dụng cần được trang bị lại. Một cách khác là sử dụng những đồng vị có chu kỳ bán rã dài như ^{152}Eu , ^{226}Ra để tính toán hiệu suất này, khi ấy ảnh hưởng của hiện tượng gamma nổi tăng gây ra sự mất số đếm tại đỉnh năng lượng toàn phần khi tiến hành thí nghiệm ở khoảng cách gần đầu dò (hiệu ứng trùng phùng tổng) cần được hiệu chỉnh. Bên cạnh đó, các nguồn này không đủ các đỉnh năng lượng cho toàn bộ vùng quan tâm từ 50keV đến 2000keV.

Những khó khăn trên có thể được giải quyết bằng phương pháp mô phỏng, vì phương pháp này thể hiện những ưu điểm như: khi đã kiểm tra độ chính xác của các thông số ban đầu được cung cấp bởi nhà sản xuất bằng cách so sánh kết quả của phương pháp mô phỏng với kết quả đo được từ thực nghiệm, nếu kết quả so sánh cho độ sai biệt nhỏ, người ta có thể dùng phương pháp mô phỏng để tính toán các giá trị của dữ liệu cho việc làm khớp đường cong hiệu suất mà thực nghiệm không có được. Các giá trị này rất hữu dụng vì nó sẽ cung cấp thêm số liệu thực nghiệm cho quá trình làm khớp và làm cho đường cong hiệu suất theo năng lượng trở nên hoàn chỉnh hơn với vùng năng lượng từ 50keV đến 2000keV.

2. Xác định hiệu suất bằng thực nghiệm

Đầu dò HPGe được dùng để xác định giá trị hiệu suất theo năng lượng cho hình học giả điểm ^{152}Eu tại khoảng cách 15,3cm từ nguồn tới đầu dò để bỏ qua ảnh hưởng của sự trùng phùng tổng. Các thí nghiệm được đo trên hệ phổ kế

gamma sử dụng đầu dò HPGe – GC2018 loại p của hãng Canberra có hiệu suất tương đối 22,4% với đỉnh năng lượng 1332,5keV tại Bộ môn Vật lý hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP HCM. Phổ gamma được ghi nhận và xử lý trên phần mềm Genie-2K [5], hiệu suất thực nghiệm được xác định bằng công thức sau:

$$\varepsilon^p(E) = \frac{N^p(E)}{A \cdot I_\gamma(E) \cdot t} \quad (1)$$

Với $\varepsilon^p(E)$ là hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần tương ứng với năng lượng E, $N^p(E)$ là diện tích đỉnh năng lượng toàn phần, A là hoạt độ của đồng vị phóng xạ, $I_\gamma(E)$ là xác suất phát gamma, t là thời gian đo (s).

3. Xác định hiệu suất bằng mô phỏng

Phương pháp Monte Carlo được sử dụng khá phổ biến để mô phỏng các thiết bị, hệ đo, đặc biệt là các quá trình vật lý hạt nhân. Trong công trình này, chương trình DETEFF [1] được sử dụng để tính hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần của đầu dò. Bằng việc cung cấp đầy đủ và chính xác các dữ liệu về thông số kỹ thuật của đầu dò được cung cấp bởi nhà sản xuất được trình bày trong bảng 1. Nguồn chuẩn giả điểm ^{152}Eu có đường kính 3mm, chiều cao 0,76mm có đường kính ngoài 25,4mm, chiều cao 3,18mm. Các thông số khác của nguồn như chu kỳ bán rã, năng lượng, xác suất phát gamma được lấy từ cơ sở dữ liệu [6].

Chương trình DETEFF sẽ cho ra giá trị hiệu suất theo công thức (2) và sai số tương đối kèm theo, để sai số mô

phông dưới 0,5% số hạt phát ra từ nguồn được mô phỏng là 10^8 lịch sử hạt. Hiệu suất đỉnh mô phỏng được xác định bằng công thức sau:

$$\epsilon^p(E) = \frac{N^p(E)}{N^{\text{nguồn}}} \quad (2)$$

Trong đó $\epsilon^p(E)$, $N^p(E)$, $N^{\text{nguồn}}$, lần lượt là hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần tương ứng với năng lượng E, số đếm đỉnh và số hạt phát ra từ nguồn.

(2)

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của đầu dò HPGe-GC2018 được cung cấp bởi nhà sản xuất

| Mô tả | Kích thước (mm) | Vật chất |
|------------------------------------|-----------------|-----------|
| Đường kính tinh thể Germanium | 52 | Germanium |
| Chiều cao tinh thể Germanium | 49,5 | Germanium |
| Đường kính hốc | 7 | |
| Chiều cao hốc | 35 | |
| Khoảng cách từ cửa sổ đến tinh thể | 5 | |
| Bề dày cửa sổ | 1,5 | Nhôm |
| Đường kính ngoài của đầu dò | 76,2 | |
| Lớp tiếp xúc bên ngoài | 0,86 | Li |
| Lớp tiếp xúc bên trong | 0,0003 | Bo |
| Lớp bảo vệ bên ngoài | 1,5 | Nhôm |

Bảng 2. Giá trị hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần giữa mô phỏng và thực nghiệm tại khoảng cách 15,3cm từ bề mặt đầu dò

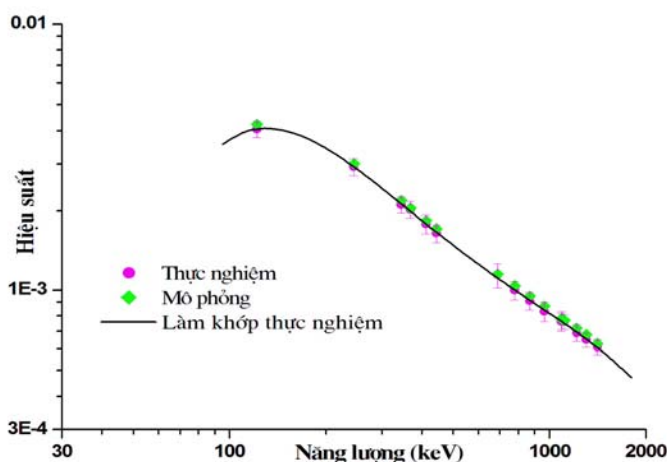
| Năng lượng (keV) | Hiệu suất đỉnh năng lượng toàn phần | | | Độ sai biệt giữa Làm khớp thực nghiệm và DETEFF (%) |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|---------|---|
| | Thực nghiệm | Làm khớp thực nghiệm | DETEFF | |
| 121,78 | 0,00406(29) | 0,00407 | 0,00423 | 3,9 |
| 244,70 | 0,00293(21) | 0,00293 | 0,00301 | 2,6 |
| 344,28 | 0,00211(15) | 0,00213 | 0,00219 | 2,7 |
| 367,80 | 0,00202(15) | 0,00200 | 0,00205 | 2,5 |
| 411,12 | 0,00178(15) | 0,00179 | 0,00184 | 2,5 |
| 443,97 | 0,00164(13) | 0,00167 | 0,00171 | 2,6 |
| 688,67 | 0,00114(12) | 0,00112 | 0,00115 | 2,7 |
| 778,90 | 0,00100(8) | 0,00101 | 0,00104 | 3,0 |

| | | | | |
|---------|------------|---------|---------|-----|
| 867,38 | 0,00091(7) | 0,00092 | 0,00095 | 2,8 |
| 964,08 | 0,00083(7) | 0,00085 | 0,00087 | 2,6 |
| 1085,84 | 0,00076(6) | 0,00077 | 0,00078 | 1,5 |
| 1089,74 | 0,00077(6) | 0,00077 | 0,00078 | 1,8 |
| 1112,08 | 0,00076(5) | 0,00075 | 0,00077 | 2,2 |
| 1212,95 | 0,00069(5) | 0,00070 | 0,00072 | 2,9 |
| 1299,14 | 0,00065(5) | 0,00066 | 0,00068 | 3,2 |
| 1408,01 | 0,00061(4) | 0,00061 | 0,00063 | 2,9 |

Giá trị 0,00061(4) có nghĩa là (0,00061±0,00004).

Chúng tôi nhận thấy, các giá trị nhận được khi nội suy trong vùng năng lượng thực nghiệm là 121,78keV đến 1408,01keV là khá phù hợp. Tuy nhiên, vùng năng lượng trên 1408,01keV và dưới 121,78keV đường cong hiệu suất bị gãy đột ngột, làm cho việc ngoại suy giá

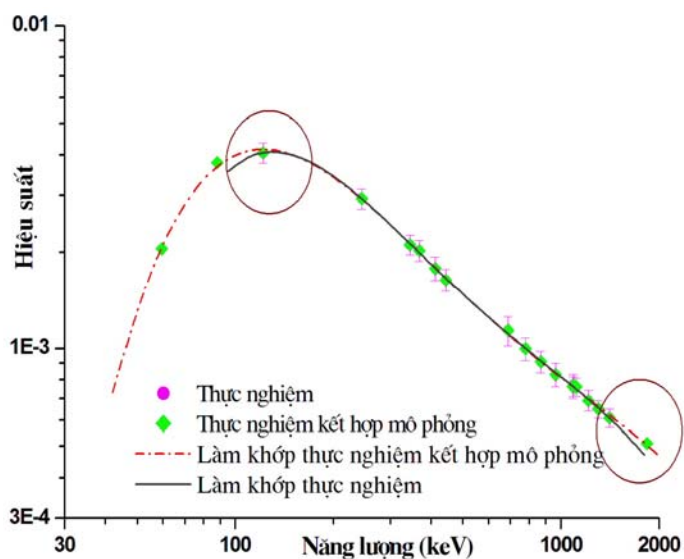
trị trong vùng năng lượng này dẫn đến sai số lớn như hiệu suất của 59,54keV (²⁴¹Am), 88,04keV (¹⁰⁹Cd) và 1836,05keV (⁸⁸Y), độ sai biệt giữa giá trị nội suy từ hàm làm khớp với số liệu mô phỏng có độ sai biệt lần lượt là 37%, 14% và 10%. Hiện tượng này là do giá trị thực nghiệm không đủ để khớp hàm cho vùng năng lượng này.



Hình 1. So sánh hiệu suất giữa mô phỏng và thực nghiệm tại khoảng cách 15,3cm từ nguồn tới đầu dò

Chương trình mô phỏng có ưu điểm là sau khi kiểm tra độ tin cậy của chương trình chúng ta có thể tiếp tục mô phỏng các đỉnh năng lượng mà trong thực nghiệm còn thiếu. Trong công trình này, chúng tôi mô phỏng thêm các đỉnh năng

lượng 59,54keV (²⁴¹Am), 88,04keV (¹⁰⁹Cd) và 1836,05keV (⁸⁸Y), kết quả trong hình 2 biểu diễn đường cong hiệu suất theo năng lượng tính được từ mô phỏng kết hợp thực nghiệm so với đường thực nghiệm.



Hình 2. So sánh hiệu suất mô phỏng kết hợp thực nghiệm và hiệu suất thực nghiệm tại khoảng cách 15,3cm từ nguồn tới đầu dò

Kết quả cho thấy khi giá trị thực nghiệm nhận thêm giá trị mô phỏng thì dạng hàm lúc này đã trở nên liên tục và không còn bị gãy khúc tại hai vùng năng lượng dưới 121,78keV và trên 1408,01keV và độ sai biệt trong vùng năng lượng quan tâm từ 50keV – 2000keV có giá trị cực đại là 3%.

4. Kết luận

Trong công trình này, chương trình DETEFF được dùng để tính toán giá trị hiệu suất đỉnh của nguồn ^{152}Eu với 16 đỉnh năng lượng quan tâm cho kết quả sai

số lớn nhất là 4%, cho thấy chương trình mô hình hóa hệ phổ kế gamma dùng đầu dò HPGe và nguồn chuẩn ^{152}Eu được xây dựng là đáng tin cậy. Những áp dụng liên quan đến đầu dò HPGe này với hình học khác có thể được triển khai dựa trên cơ sở này. Như vậy phương pháp Monte Carlo với chương trình DETEFF có thể hỗ trợ người làm thực nghiệm xây dựng đường cong hiệu suất theo năng lượng một cách đầy đủ hơn trong điều kiện nguồn chuẩn không nhiều cũng như với các cấu hình nguồn khác nhau.

Ghi chú: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn TS Nguyễn Văn Hùng đã cho chúng tôi được sử dụng các nguồn chuẩn. TS Néstor Cornejo Díaz ở Trung tâm an toàn bức xạ, Cuba và TS Miguel Jurado Vargas ở khoa Vật lý, Spain đã cung cấp cho chúng tôi chương trình DETEFF.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. N,Cornejo Diaz, M, Jurad Vargas, (2008) “DETEFF: An improved Monte Carlo computer program for evaluating the efficiency in coaxial gamma-ray detectors”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 586, pp. 204–210.
2. D. Arnold and O. Sima (2006), “Calculation of coincidence summing corrections for X-ray peaks and for sum peaks with X-ray contributions”, *Applied Radiation and Isotopes*, pp. 1297-1302.
3. Truong Thi Hong Loan, Tran Thien Thanh, Dang Nguyen Phuong, Tran Ai Khanh and Mai Van Nhon (2007), “Monte – Carlo simulation of HPGe detector response function with using MCNP code”, *Communication in Physics*, vol 1, no 1, pp. 59-64.
4. M. Jurado Vargas, N. Cornejo Díaz and D. Pérez Sánchez (2003), “Efficiency transfer in the calibration of a coaxial p-type HpGe detector using the Monte Carlo method”, *Applied Radiation and Isotope*, pp. 707-712.
5. Genie 2000 Tutorials Manual, (2004), *Canberra Industries, Inc.*
6. www.laraweb.free.fr

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 23-8-2011; ngày chấp nhận đăng: 26-9-2011)