

XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG HIỆU SUẤT CỦA HỆ PHỔ KẾ GAMMA SỬ DỤNG NGUỒN CHUẨN ĐĨA CHO PHÒNG THÍ NGHIỆM VẬT LÝ HẠT NHÂN CỦA TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM TP HCM

HOÀNG ĐỨC TÂM *, PHẠM NGUYỄN THÀNH VINH **,
TRỊNH HOÀI VINH **, LÊ THỊ MỘNG THUẦN ***

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng phương pháp của tác giả M.Noguchi để xây dựng đường cong hiệu suất cho detector Ge siêu tinh khiết (HPGe) của phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân, Trường Đại học Sư phạm TP HCM đối với nguồn chuẩn dạng đĩa theo năng lượng và theo khoảng cách. Từ kết quả này, chúng tôi tiến hành tính toán hiệu suất đối với mẫu khối dạng hình trụ. Kết quả xác định hoạt độ phóng xạ của đồng vị ^{40}K trong mẫu chuẩn IAEA – RGK – 1 từ việc tính toán hiệu suất ở trên so sánh với giá trị về hoạt độ đã được chứng nhận của IAEA cho thấy sự khác biệt là nhỏ (< 10%). Do vậy, có thể sử dụng đường cong hiệu suất này để tính toán các đại lượng liên quan trong các bài toán có sử dụng mẫu đo dạng hình trụ.

ABSTRACT

Forming the curve of efficiency of hpge detector system using the standard dish source for nuclear laboratory of Ho Chi Minh City University of pedagogy

In this paper, we carried out the experiments by M. Npguchi in order to establish the curve of efficiency for HPGE detector of the nuclear laboratory at Ho Chi Minh City University of Pedagogy according with the standard source in the form of dish and interval. We based on these results to determine the efficiency of cylindrical samples. The results identify the activity of the radio-active isotope ^{40}K in the standard sample IAEA – RGK – 1. The difference between the results and the standard sample by IAEA is small (< 10%). So we can use this efficiency curve to calculate the quantities related in problems with the cylindrical sample.

1. Giới thiệu

Hiện nay, để xác định hoạt độ của một số đồng vị trong mẫu môi trường, phương pháp thường được sử dụng nhiều đó là phương pháp tương đối dựa trên việc đo phổ của mẫu chuẩn và mẫu cần phân tích. Phương pháp này có ưu điểm với độ chính xác cao, tuy nhiên nó cần phải có mẫu chuẩn.

Trong phương pháp tuyệt đối, để xác định hoạt độ phóng xạ của một mẫu vật phẩm nào đó, chúng ta cần phải xác định được hiệu suất ghi đối với đỉnh năng

* ThS, Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm TP HCM

** CN, Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm TP HCM

*** CN, Trường THPT Củ Chi, TP HCM

lượng tia gamma phát ra tương ứng với dạng hình học của mẫu. Chính điều này đặt ra nhu cầu xây dựng đường cong hiệu suất đối với detector ứng với từng đỉnh năng lượng theo độ cao. Việc xây dựng đường cong hiệu suất này là rất cần thiết nhằm giúp tính toán hoạt độ phóng xạ của các mẫu đo có dạng hình học nhất định.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về việc xây dựng đường cong hiệu suất trước đây. Tuy nhiên trong bài báo này, chúng tôi xây dựng đường cong thực nghiệm cho đối tượng là detector Germanium siêu tinh khiết (HPGe) đặt tại Phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân, khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh.

Để tiến hành thí nghiệm này, chúng tôi sử dụng nguồn chuẩn đĩa bao gồm các đồng vị phóng xạ: ^{109}Cd ; ^{57}Co ; ^{139}Ce ; ^{137}Cs ; ^{54}Mn ; ^{88}Y ; ^{60}Co ; ^{88}Y . Các đồng vị này phát ra năng lượng trong phạm vi từ 88 keV (^{109}Cd) đến 1 836,6 keV (^{88}Y) và phân bố tương đối đều. Điều này, làm tăng tính chính xác khi xây dựng đường cong hiệu suất theo năng lượng. Việc tính toán hiệu suất đối với nguồn khối được thực hiện bằng phép tích phân các nguồn đĩa.

2. Phương pháp thực nghiệm xác định hiệu suất ghi của detector cho các đỉnh năng lượng đối với mẫu dạng hình trụ

2.1. Xác định hiệu suất ghi đỉnh $\eta_h(E)$ của detector đối với nguồn đĩa là hàm theo năng lượng

Hiệu suất ghi đỉnh của detector được tính theo công thức: $\eta_h(E) = \frac{N}{A_\gamma A f_{\text{sum}} t}$ (1)

với: N: diện tích (số đếm) của đỉnh năng lượng quan tâm,

A_γ [%]: là hiệu suất phát gamma ứng với năng lượng E_γ ,

A [Bq]: hoạt độ của mẫu tại thời điểm đo,

f_{sum} : hệ số hiệu chỉnh cho hiệu ứng trùng phùng tổng,

t [s]: thời gian đo mẫu.

Hiệu suất ghi đỉnh là hàm theo năng lượng $\eta_h(E)$ [1] có dạng:

$$\ln[\eta_h(E)] = a + b \ln(E) + c[\ln(E)]^2 + \dots \quad (2)$$

Có thể chia đường này chia thành hai phần:

- $E < E_c$ (keV), phương trình có dạng: $\ln[\eta(E)] = a + b \ln(E) + c[\ln(E)]^2 + \dots$ (3)

- $E > E_c$ (keV), phương trình có dạng: $\ln[\eta(E)] = a + b \ln(E)$ (4)

với $E_c = 210$ keV [1].

Do vậy, đầu tiên cần xác định hiệu suất ghi $\eta_h(E)$ sau đó làm khớp bộ số liệu đo được với hàm (3) và (4) để xác định hệ số a, b và c.

2.2. Xác định hiệu suất ghi đỉnh $\eta_E(h)$ của detector đối với nguồn đĩa là hàm theo khoảng cách

Trong phần thực nghiệm, chúng tôi tiến hành xác định hiệu suất ghi đỉnh của detector đối với nguồn chuẩn đĩa ở các độ cao (được tính từ nguồn đĩa cho đến bề mặt của detector) khác nhau lần lượt là 0,5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm. Do đó, từ hàm khớp (3) (hoặc (4)), có thể tính lại được hiệu suất ghi đối với nguồn đĩa tại các độ cao ở trên và ứng một một đỉnh năng lượng E quan tâm bất kì trong khoảng từ 100 keV đến 2 000 keV (dải đo thường được sử dụng để đo các mẫu môi trường).

Sử dụng hàm khớp có dạng: $\eta_E(h) = (\alpha + \beta h + \gamma h^2 + \eta h^3)^{-1}$ [1] để làm khớp bộ số liệu vừa tính được ở trên.

2.3. Xác định hiệu suất ghi đỉnh $\varepsilon_V(H, \mu)$ của detector đối với mẫu có dạng hình trụ

Trong thực tế, mẫu cần đo thường là mẫu khối hình trụ nên cần phải tính toán hiệu suất ghi đỉnh của detector trong trường hợp này. Để tính toán hiệu suất này, phương pháp được đưa ra dựa trên sự tập hợp nhiều đĩa mỏng có bán kính bằng nhau thành một hình trụ. Vì vậy, hiệu suất ghi đỉnh của detector đối với một mẫu khối hình trụ có thể xác định bằng phương pháp lấy tích phân của hàm hiệu suất ghi đỉnh đối với dạng nguồn đĩa phụ thuộc khoảng cách $\eta_E(h)$, trong đó đã tính đến hiệu ứng tự hấp thụ của tia gamma bên trong thành phần của mẫu.

Hiệu suất ghi của detector đối với đỉnh năng lượng E quan tâm trong mẫu hình trụ được tính như sau [1]:

$$\varepsilon_V(H, \mu) = \frac{1}{H} \int_{H_1}^{H_2} \eta_E(h) e^{-\mu h} dh \quad (5)$$

trong đó:

- $\varepsilon_V(H, \mu)$ là hiệu suất ghi đỉnh năng lượng E của đồng vị quan tâm trong mẫu khối hình trụ;
- $H = H_2 - H_1$ là chiều cao của mẫu;
- μ là hệ số hấp thụ tuyến tính.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu suất ghi của detector đối với nguồn chuẩn đĩa khảo sát theo năng lượng và theo độ cao

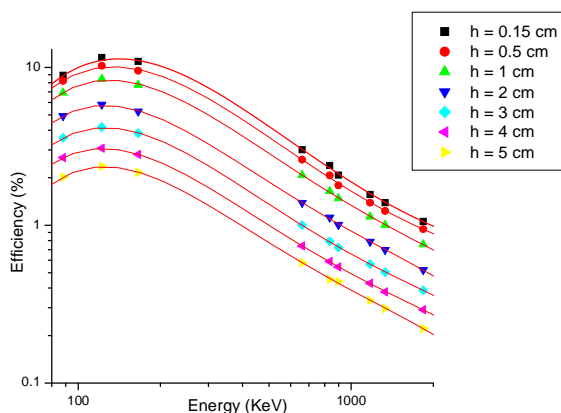
Các phép đo thực nghiệm sử dụng hệ phổ kế gamma phòng thấp của phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân, Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh.

Nguồn chuẩn đĩa có chứa các đồng vị phóng xạ với thông tin như trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số các nguồn phóng xạ có trong nguồn chuẩn đĩa

| Đồng vị | A (Bq) 20/07/07 | T _{1/2} (ngày) | A (Bq) 23/06/08 | E (keV) | A _γ (%) |
|-------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------|--------------------|
| ¹⁰⁹ Cd | 22 679 | 462,6 | 13 647 | 88 | 3,61 |
| ⁵⁷ Co | 1 557 | 271,8 | 656 | 122,06 | 85,6 |
| ¹³⁹ Ce | 1 479 | 137,6 | 268 | 165,85 | 79,88 |
| ¹³⁷ Cs | 1 956 | 10 983 | 1 915 | 661,6 | 85,1 |
| ⁵⁴ Mn | 2 045 | 312,3 | 964 | 834,55 | 99,98 |
| ⁸⁸ Y | 2 232 | 106,7 | 247 | 898,04 | 93,7 |
| ⁶⁰ Co | 2 539 | 1 925 | 2 247 | 1 173,2 | 99,97 |
| ⁶⁰ Co | 2 539 | 1 925 | 2 247 | 1 332,5 | 99,98 |
| ⁸⁸ Y | 2 232 | 106,7 | 247 | 1 836,6 | 99,2 |

Kết quả đo hiệu suất ghi định theo năng lượng của các tia gamma từ các đồng vị có trong nguồn đĩa tại các độ cao khác nhau được chỉ ra trong hình 1.



Hình 1. Đồ thị biểu diễn hiệu suất ghi theo năng lượng tại các độ cao khác nhau đối với nguồn chuẩn dạng đĩa

Từ đồ thị thấy rằng, trong khoảng năng lượng từ 170 keV đến 660 keV chúng tôi không xác định được hiệu suất do những đồng vị phát ra năng lượng trong phạm vi này có hoạt độ thấp (do chu kỳ bán rã ngắn).

Từ bộ số liệu ở trên, chúng tôi làm khớp đường cong hiệu suất theo năng lượng (phương trình (3) và (4)) sử dụng phần mềm Efficiency As A Function of Energy. Kết quả được chỉ ra như ở bảng 2.

Bảng 2. Các hệ số a, b, c được tính toán từ hàm khớp

| | | h = 0,15 cm | h = 0,5 cm | h = 1 cm | h = 2 cm | h = 3 cm | h = 4 cm | h = 5 cm |
|-------------|---|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E < 210 keV | a | -34,66 | -35,45 | -34,53 | -33,04 | -34,96 | -33,59 | -31,64 |
| | b | 15,16 | 15,55 | 15,13 | 11,43 | 15,11 | 14,45 | 13,47 |
| | c | -1,548 | -1,599 | -1,561 | -1,496 | -1,567 | -1,502 | -1,394 |
| E > 210 keV | a | 6,904 | 6,663 | 6,543 | 6,148 | 5,748 | 5,408 | 5,36 |
| | b | -0,8936 | -0,8797 | -0,8951 | -0,8959 | -0,8865 | -0,8803 | -0,9097 |

3.2. Đánh giá kết quả của việc làm khớp đường cong hiệu suất

Để đánh giá hàm khớp cũng như quá trình xây dựng bộ số liệu về đường cong hiệu suất, chúng tôi tiến hành tính toán hoạt độ của ⁴⁰K trong mẫu chuẩn IAEA – RGK – 1 theo phương pháp xây dựng đường cong hiệu suất và so sánh hoạt độ của mẫu này theo chứng nhận của IAEA [2].

⁴⁰K phát ra đỉnh năng lượng E = 1 461 keV, sử dụng hàm khớp dạng (3) (với các hệ số a, b, c đã xác định được trong bảng 2) chúng tôi tính được hiệu suất ghi của detector theo khoảng cách. Kết quả thu được trong bảng 3.

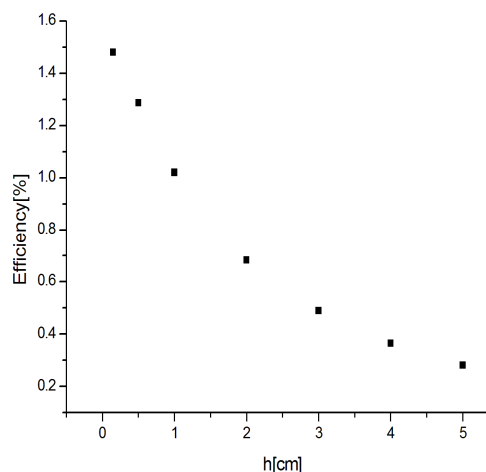
Bảng 3. Hiệu suất ghi của detector đối với nguồn đĩa ở các độ cao khảo sát

| h (cm) | 0,15 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| η _E (h) (%) | 1,480 | 1,287 | 1,021 | 0,683 | 0,490 | 0,365 | 0,281 |

Mẫu IAEA-RGK-1 có chất nền là K₂SO₄ (99,8%). Sử dụng chương trình XCOM [3], chúng tôi tính được μ = 0,052 cm²/g. Tiếp đó, sử dụng chương trình Integration of Disk Source Efficiency chúng tôi tính được hiệu suất ghi đỉnh của detector đối với mẫu IAEA-RGK-1 có dạng trụ chiều cao 4,4 cm là :

$$\epsilon_v(H=H_1-H_2=4,4\text{cm}, \mu_{K_2SO_4}=0,052\text{cm}^2/\text{g})=0,5672$$

Kết quả này được sử dụng để xác định hoạt độ của ⁴⁰K trong mẫu IAEA-RGK-1, kết quả được trình bày trong bảng 4.



Hình 2. Hiệu suất ghi đối với nguồn chuẩn đĩa tại các độ cao khác nhau tương ứng với năng lượng E = 1461keV

Bảng 4. Kết quả tính hoạt độ ^{40}K trong mẫu IAEA-RGK-1

| Mẫu | Khối lượng (g) | N (số đếm) | Thời gian đo (s) | ϵ | Hoạt độ A (Bq) | Hoạt độ riêng (Bq/kg) |
|----------------|-------------------|---------------|---------------------|------------|-------------------|--------------------------|
| IAEA- RGK-1 | 180 | 15 220 | 10 800 | 0,5672 | 2 323,25 | 12 937 |

3.3. Thảo luận và đề xuất

Trong phần trên, chúng tôi đã xác định được hiệu suất ghi đỉnh của detector và cũng đã áp dụng để tính hoạt độ của ^{40}K trong mẫu chuẩn IAEA-RGK-1. Có thể thấy rằng, kết quả tính toán hoạt độ dựa trên việc xây dựng đường cong hiệu suất thấp hơn so với kết quả đề nghị của IAEA (lệch khoảng 8%).

Sai lệch này có thể bắt nguồn từ nhiều nguyên nhân, trong đó các sai số đóng góp chủ yếu từ việc xây dựng công thức tính toán hiệu suất. Tại thời điểm thực hiện đo đạc thì một số đồng vị trong nguồn đĩa do chu kỳ bán rã ngắn nên hoạt độ đã yếu đi rất nhiều, cụ thể là ^{88}Y có $T_{1/2} = 106,7$ ngày và ^{139}Ce có $T_{1/2} = 137,6$ ngày, dẫn đến việc không thể tính được hiệu suất ghi của detector đối với các đỉnh này nên gây ra sai số khi thực hiện việc làm khớp.

Trong khi xây dựng đường cong hiệu suất, bề dày lớp chết chúng tôi sử dụng do nhà sản xuất cung cấp, tuy nhiên bề dày lớp chết này tăng theo thời gian. Do đó, trong các phép đo yêu cầu độ chính xác cao, cần phải tính toán lại bề dày lớp chết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M. Noguchi (2003), *Gamma ray spectrometry for environmental sample*, Joint VAEC – JAERI Training course on Radiation Measurement, Hanoi.
2. IAEA Reference Materials Catalogue and Documents , Inorganic, Ores, IAEA-RGK-1, Potassium Sulfate.
3. XCOM, NIST Physical Reference Data, (<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>).