

XÁC ĐỊNH NỒNG ĐỘ ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ ^{238}U TRONG MẪU LƯƠNG THỰC THỰC PHẨM BẰNG PHỔ KẾ GAMMA PHÂN GIẢI CAO

LƯU TAM BÁT*, TRƯƠNG THỊ HỒNG LOAN**, TRƯƠNG HỮU NGÂN THY***,
HUỖNH THỊ YẾN HỒNG****, VŨ NGỌC BA****, LƯU NHƯ QUỲNH*****

TÓM TẮT

Bài báo này phân tích những khía cạnh phức tạp khi sử dụng phổ kế gamma phân giải cao để phân tích ^{238}U trong các mẫu lương thực thực phẩm (LTTP); đưa ra các giải pháp kỹ thuật xử lý để nâng cao độ chính xác của phép đo, bảo đảm kết quả xác định nồng độ ^{238}U với độ chính xác chấp nhận được trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu về phóng xạ trong LTTP ở Việt Nam.

Từ khóa: đồng vị phóng xạ, thực phẩm, HPGe.

ABSTRACT

Determining ^{238}U radioactivity concentration in food using high-resolution gamma spectrometer

In this paper, the complex aspects of using high-resolution gamma spectrometer for the determination of ^{238}U radioactivity concentration in food were analyzed and technical solutions to enhance the accuracy were proposed as well. Research results can contribute to set up the database of natural radioactivity for food in Viet Nam.

Keywords: Radioactivity, Food, HPGe.

1. Giới thiệu

Phổ kế gamma phân giải cao với đầu đo bán dẫn siêu tinh khiết (HPGe) được sử dụng rộng rãi để xác định nồng độ phóng xạ trong các mẫu môi trường. Đối với lương thực thực phẩm, sử dụng hệ đo này gặp một số khó khăn do có sự mất cân bằng không nên bỏ qua giữa ^{238}U và ^{226}Ra , dẫn đến việc phải xác định riêng ^{238}U và ^{226}Ra . Trong khi ^{238}U có thể xác định thông qua hai đồng vị con sát sau nó là ^{234}Th và $^{234\text{m}}\text{Pa}$ thì để xác định ^{226}Ra lại phải nhốt kín mẫu khoảng 4 tuần lễ để đạt được sự cân bằng giữa ^{226}Ra và ^{222}Rn và xác định ^{226}Ra thông qua các sản phẩm phân rã sau nó là ^{214}Bi và ^{214}Pb . Chính vì vậy, nhiều phòng thí nghiệm đã lựa chọn xác định nồng độ ^{238}U bằng phương pháp phổ alpha hay phương pháp ICP-MS, phương pháp kích hoạt neutron, cũng có thể sử dụng detector bán dẫn bản mỏng, chỉ nhạy ở vùng năng lượng thấp để

* TS, Viện nghiên cứu Môi trường và các vấn đề xã hội, Hà Nội; Email: luitambat47@gmail.com

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

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

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

***** ThS, Viện nghiên cứu Môi trường và các vấn đề xã hội, Hà Nội

xác định ^{238}U , sử dụng đồng thời một đầu đo hình trụ kích thước lớn để xác định các đồng vị phóng xạ với các đỉnh ở vùng lượng cao. [4, 6]

Sử dụng các hệ phổ kế gamma phân giải cao đáp ứng năng lượng giải rộng có thể phân tích xác định được nồng độ ^{238}U . Tuy nhiên, trong các công trình nghiên cứu trước đây [5, 9] cho thấy ^{238}U không xác định được trực tiếp vì nó phát ra đỉnh bức xạ có năng lượng 49,55 keV với cường độ thấp (0,069%) và đỉnh năng lượng 113,5 keV cũng với cường độ rất thấp (0,0174), hai đỉnh này thường bị lấp bởi nền tán xạ liên tục Compton của ^{40}K vốn rất lớn trong mẫu. Phương án khả dĩ nhất là xác định ^{238}U qua hai đồng vị con sát với nó là ^{234}Th , có bán rã 24,1 ngày và phát ra năng lượng 63,3 keV (4,8%) và 92,6 keV (5,58%) và $^{234\text{m}}\text{Pa}$, có bán rã 1,17 phút với hai đỉnh năng lượng 766,4 keV (cường độ 0,316%) và 1001 keV (cường độ 0,839%). Tuy nhiên, ở vùng năng lượng cao, hiệu suất ghi đầu đo thấp nên khó xác định được ^{234}Th qua 2 đỉnh của $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (thực tế, đỉnh 1001,0 keV chỉ dùng để xác định mẫu có hàm lượng ^{238}U cao). Trong 2 đỉnh còn lại của ^{234}Th là 63,3 keV và 92,6 keV, người ta dùng 63,3 keV nhiều hơn, mặc dù có lẫn đỉnh 63,9 keV (cường độ 0,023% của ^{231}Th và 63,9 cường độ 0,255% của ^{232}Th), khi đó cần phải hiệu chỉnh. Đỉnh 92,6 keV của ^{234}Th có lẫn 92,4 keV (2,81%) và 92,8 keV (2,77%) là đỉnh kép của chuyển hóa K-X gamma, đỉnh này trước đây ít được dùng, nhưng hiện nay với phần mềm và thuật toán tách đỉnh tốt thì người ta đã sử dụng và có hiệu quả (vấn đề này tùy theo từng phòng thí nghiệm). Như vậy, chúng tôi sử dụng một trong hai đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV để xác định nồng độ ^{238}U trong các mẫu LTTP. Khi sử dụng hai đỉnh này có hai vấn đề chính cần giải quyết, đó là xử lý để hiệu chỉnh, tách phần chồng chập ở hai đỉnh năng lượng sử dụng nói trên, mặt khác thực hiện hiệu chỉnh tự hấp thụ, như vậy, trong một phép đo có thể xác định được ^{238}U , cùng tất cả các đồng vị phóng xạ khác như ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , các đồng vị phân rã của chúng và ^{40}K .

2. Phương pháp và vật liệu

2.1. Hệ phổ kế gamma HPGe GMX35P4-70

Hệ phổ kế gamma sử dụng trong công trình này thuộc Phòng thí nghiệm Kỹ thuật Hạt nhân, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TPHCM (cơ sở Linh Trung, Thủ Đức). Hệ gồm có các phần chính như sau: Đầu dò HPGe số hiệu GMX35P4-70 được tích hợp bộ tiền khuếch đại và các thiết bị kèm theo gồm nguồn nuôi cao thế cho đầu dò, khuếch đại, bộ biến đổi tương tự thành số và khối phân tích đa kênh được tích hợp trong một thiết bị được gọi là DSPEC jr 2.0TM, buồng chì che chắn phòng bao quanh đầu dò, và thiết bị làm lạnh cho đầu dò X-Cooler III. Hệ phổ kế được ghép nối với máy tính thông qua cổng USB, việc ghi nhận và xử lý phổ kế gamma được thực hiện bằng các phần mềm chuyên dụng MEASTRO – 3.2 (GammaVision – 5.3). Hệ phổ kế gamma phòng thấp có thể ghi nhận các tia gamma có năng lượng từ khoảng 3 keV – 10 MeV với độ phân giải năng lượng cao (1,85 keV ở 1332 keV của ^{60}Co , tỉ số đỉnh/Compton 61/1).

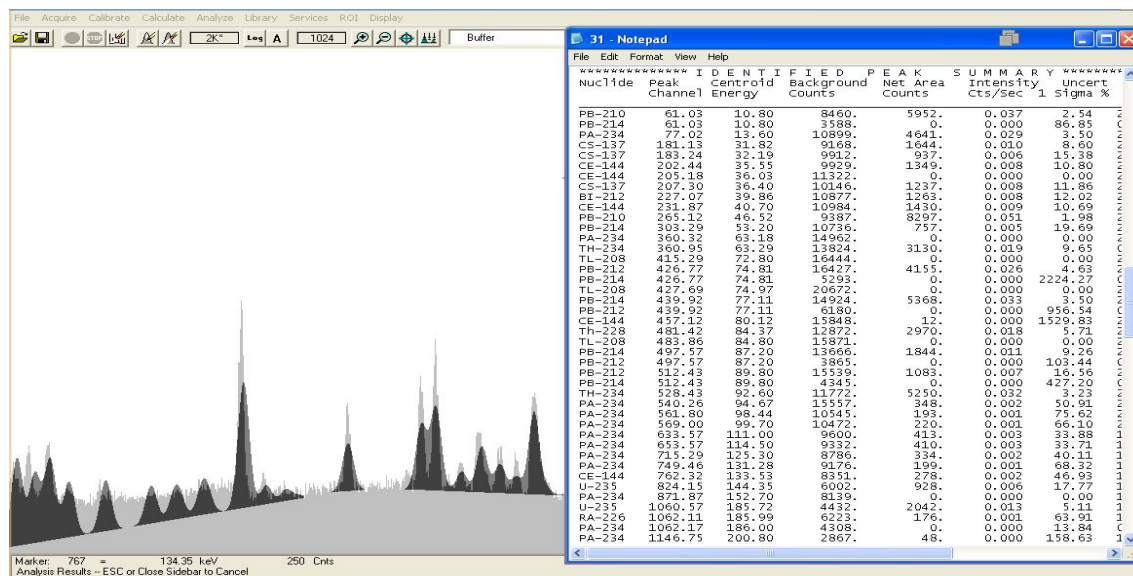
2.2. Phương pháp tách đỉnh nhiều tham gia vào trong hai đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV của ^{234}Th

Để xác định hoạt độ ^{238}U bằng đỉnh 63,3 keV ta cần hiệu chỉnh sự đóng góp của đỉnh 63,9 keV cường độ 0,255% của ^{232}Th .

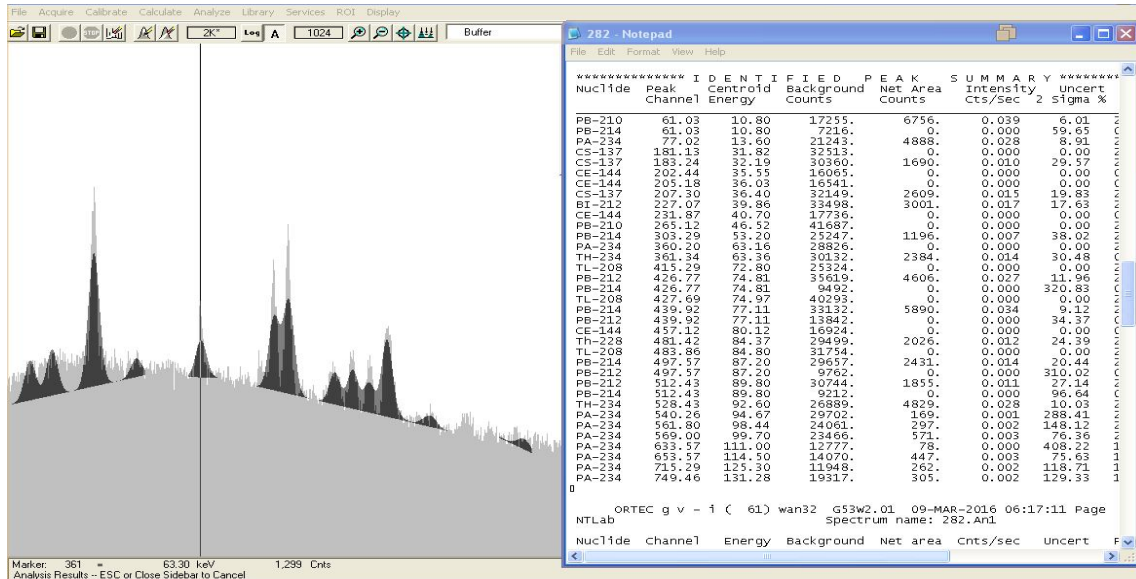
Do độ phân giải FWHM của đầu đo phòng thí nghiệm không thể phân biệt được 2 đỉnh 92,4 keV và 92,8 keV của ^{234}Th nên ta có thể xem đây là 1 đỉnh 92,6 keV với xác suất phát là tổng xác suất của 2 đỉnh thành phần. Khi đó để tính hoạt độ ^{238}U bằng đỉnh 92,6 keV ta cần hiệu chỉnh sự đóng góp của tia X năng lượng 93,3 keV (3,19%) của ^{228}Ac .

Các bước phân tích xác định nồng độ ^{238}U sử dụng hai đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV cụ thể như sau:

Bước 1. Tính diện tích đỉnh bằng chương trình phân tích Gamma Vision. Bằng cách nhận diện đỉnh và làm khớp dạng đỉnh ta có thể lấy được diện tích đỉnh 63,3 keV đồng thời tách được đỉnh 92,6 keV và đỉnh 94,7 keV của ^{234}Pa . Số đếm đỉnh được thể hiện trên bảng và hình làm khớp từng đỉnh được thể hiện trên hình bảng màu đậm.



Hình 1. Phân tích và tách đỉnh đỉnh phổ gamma 63,3 keV và 92,6 keV của mẫu 31



Hình 2. Phân tích và tách đỉnh phổ gamma 63,3 keV và 92,6 keV của mẫu 282

Bước 2. Tính hoạt độ của ^{228}Ac qua đỉnh 338,32 keV và đỉnh 911,1 keV, kí hiệu $A_{\text{Ac-228}}$.

Bước 3. Tính tốc độ đếm đỉnh của ^{228}Ac tại 63,3 keV kí hiệu $R_{63,3 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac})$ và tại 92,6 keV kí hiệu $R_{92,6 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac})$.

$$R_{63,3 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac}) = A_{\text{Ac-228}} \cdot \epsilon(63,3 \text{ keV}) \cdot y_{\text{Ac-228}}(63,9 \text{ keV})$$

$$R_{92,6 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac}) = A_{\text{Ac-228}} \cdot \epsilon(92,6 \text{ keV}) \cdot y_{\text{Ac-228}}(93,3 \text{ keV})$$

Với $A_{\text{Ac-228}}$ là hoạt độ của ^{228}Ac , $\epsilon(63,3 \text{ keV})$ và $\epsilon(92,6 \text{ keV})$ là hiệu suất đỉnh tại năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV, $y_{\text{Ac-228}}(63,9 \text{ keV})$ và $y_{\text{Ac-228}}(93,3 \text{ keV})$ là xác suất phát của tia 63,9 keV và 93,3 keV của ^{228}Ac .

Bước 4. Hiệu chỉnh tốc độ đếm đóng góp vào đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV của ^{234}Th từ đỉnh 63,9 keV và 93,3 keV của ^{228}Ac sản phẩm con cháu của ^{232}Th .

Tốc độ đếm tại đỉnh 63,3 keV và đỉnh 92,6 keV của ^{238}U sau khi hiệu chỉnh:

$$R_{63,3 \text{ keV}}(^{238}\text{U}) = R_{63,3 \text{ keV}} - R_{63,3 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac})$$

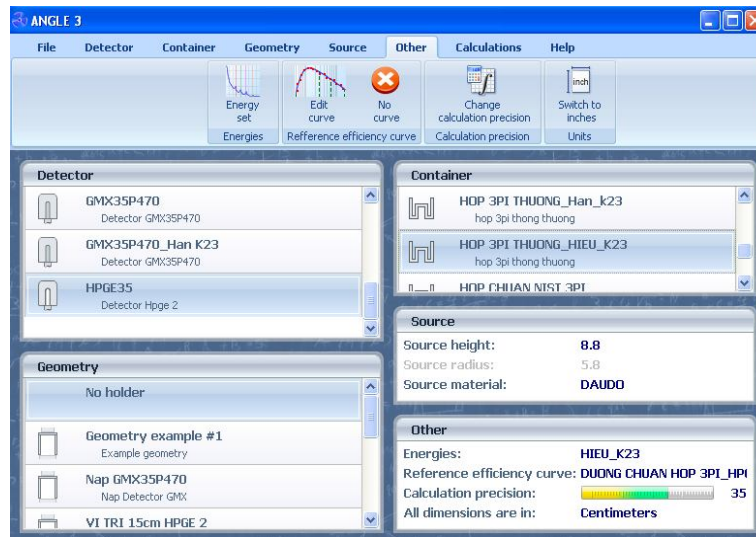
$$R_{92,6 \text{ keV}}(^{238}\text{U}) = R_{92,6 \text{ keV}} - R_{92,6 \text{ keV}}(^{228}\text{Ac})$$

Với $R_{63,3 \text{ keV}}$ và $R_{92,6 \text{ keV}}$ là tốc độ đếm tổng tại năng lượng 63,3 keV khi chưa tách và hiệu chỉnh nhiễu.

Bước 5. Tính hoạt độ của ^{238}U qua tốc độ đếm đỉnh 63,3 keV và đỉnh 92,6 keV. Kết quả hoạt độ A tính từ trung bình có trọng số của đỉnh 63,3 keV và đỉnh 92,6 keV sau khi hiệu chỉnh là kết quả hoạt độ của ^{238}U và ^{234}Th .

2.3. Nghiên cứu hiệu chỉnh tự hấp thụ giá trị hiệu suất ghi đối với gamma 63,3 keV và 92,6 keV và hình học mẫu phân tích dạng trụ

Khi sử dụng tia gamma năng lượng thấp 63,3 keV và 92,6 keV để xác định ^{238}U , cần hiệu chỉnh tự hấp thụ cho giá trị hiệu suất ghi. Trong phần này, chúng tôi thực hiện đánh giá hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ trong phân tích gamma của mẫu LTTP với hình học mẫu dạng trụ đối với hai năng lượng này. Việc hiệu chỉnh tự hấp thụ cho giá trị hiệu suất được đánh giá tương đối so với sự tự hấp thụ trong mẫu chuẩn đang có. Các chất liệu mẫu môi trường được đánh giá sự tự hấp thụ là chất nền của các mẫu LTTP của đề tài KC.05.21/11-15 [1] chủ yếu đã được tro hóa và nén vào hộp trụ với chiều cao và mật độ khác nhau. Có nhiều phương pháp đánh giá hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ tùy thuộc vào điều kiện đo riêng biệt [2,3,7]. Trong công trình này, chúng tôi sử dụng phần mềm Angle 3 [8] để tính toán hiệu suất đỉnh, và hiệu chỉnh ảnh hưởng tự hấp thụ đối với mẫu dạng trụ với chiều cao và mật độ khác nhau. Angle 3 là phần mềm dùng để hiệu chỉnh hiệu suất của hãng Ortec (Mĩ), được mua kèm theo hệ đo. Để làm điều này cần xây dựng mô hình detector, hình học mẫu, thành phần nguyên tố trong mẫu, mật độ mẫu, các đỉnh năng lượng cần phân tích hoạt độ. Cung cấp hiệu suất thực nghiệm từ mẫu chuẩn. Sau đó khi yêu cầu, chương trình sẽ tự động xuất ra hiệu suất đỉnh cho mẫu cần phân tích với cùng hình dạng hộp chứa mẫu chuẩn nhưng có thể thay đổi kích thước, cũng như có sự khác nhau về mật độ và thành phần trong mẫu phân tích so với mẫu chuẩn. Hình 3 trình bày một giao diện giới thiệu của chương trình Angle.



Hình 3. Giao diện chương trình Angle

Các mẫu chuẩn Soil RGU1, RGTh1, RGK1 của IAEA được chuẩn bị trong hộp đựng mẫu dạng trụ giống như hộp đựng mẫu phân tích. Các chuẩn đất sau khi đóng hộp được nhốt trong khoảng 4 tuần để đạt được trạng thái cân bằng giữa ^{226}Ra và các con cháu của nó. Hiệu suất thực nghiệm được tính toán từ phép đo phổ gamma của các mẫu

chuẩn này trên hệ phổ kế HPGe dùng để phân tích. Hiệu suất thực nghiệm tính toán được với các năng lượng khảo sát theo công thức:

Sau khi xác định diện tích đỉnh của một số vạch năng lượng quan tâm, hoạt độ của các nguyên tố sống dài khi đó được tính bởi [3]:

$$\varepsilon(E) = \frac{R_{hc}(E)}{A \cdot y \cdot m} \quad (1)$$

trong đó $\varepsilon(E)$ là hiệu suất đỉnh tại năng lượng E , A là hoạt độ (Bq/kg) của mẫu chuẩn tại thời điểm đang đo, R_{hc} là tốc độ đếm đỉnh đã trừ phong (số đếm/s) và hiệu chỉnh thời gian chết, m là khối lượng mẫu (kg), và y là xác suất phát gamma (%). Công thức trên được áp dụng cho các đồng vị có thời gian bán rã dài để trong khoảng thời gian đo, số đếm không thay đổi nhiều.

Giá trị hiệu suất này là số liệu đầu vào cho Angle để tính toán sự hiệu chỉnh hiệu suất theo chiều cao và mật độ tiếp theo cho mẫu phân tích. Quy trình đánh giá hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ được chúng tôi đề xuất thực hiện như sau:

a. Khảo sát hệ số hiệu chỉnh theo chiều cao

- Dùng Angle tính hiệu suất đỉnh theo chiều cao tại hai năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV.

- Tính tỉ số $f(h)$ giữa hiệu suất đối với bề dày h và mật độ và thành phần vật liệu của mẫu đo $\varepsilon(h)$ với hiệu suất tính từ mẫu chuẩn $\varepsilon(h_0)$.

$$f(h) = \frac{\varepsilon(h)}{\varepsilon(h_0)} \quad (2)$$

- Khớp tỉ số theo chiều cao theo dạng hàm phù hợp. Ta có hệ số hiệu chỉnh hiệu suất theo chiều cao. Dạng làm khớp sau đây được sử dụng thích hợp cho dữ liệu tính toán được:

$$\varepsilon(h) = a - b \ln(h + c) \quad (3)$$

a , b , c là hệ số có được từ việc làm khớp.

b. Khảo sát hệ số hiệu chỉnh theo mật độ

- Dùng Angle tính hiệu suất đỉnh theo mật độ tại hai năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV.

- Tính tỉ số hiệu suất mẫu đo với hiệu suất mẫu chuẩn. Khớp tỉ số này theo dạng hàm phù hợp. Ta có hệ số hiệu chỉnh theo mật độ.

$$f(\rho) = \frac{\varepsilon(\rho)}{\varepsilon(\rho_0)} \quad (4)$$

- Khớp tỉ số theo mật độ theo dạng hàm phù hợp. Ta có hệ số hiệu chỉnh hiệu suất theo theo mật độ. Dạng làm khớp sau đây được sử dụng thích hợp cho dữ liệu tính toán được:

$$\varepsilon(h) = a' + b'h + c'h^2 \quad (5)$$

a' , b' , c' là hệ số có được từ việc làm khớp.

c. Hiệu suất ghi đối với mẫu phân tích cụ thể

- Hiệu suất ghi của mẫu đo với hộp đựng mẫu dạng trụ giống hộp đựng mẫu chuẩn nhưng có chiều cao h_1 và mật độ ρ_1 là:

$$\varepsilon = \varepsilon(h_1) \cdot \varepsilon(\rho_1) \quad (6)$$

$$\text{với: } \varepsilon(h_1) = \varepsilon(h_0) f(h_1) \quad (7)$$

$$\varepsilon(\rho_1) = \varepsilon(\rho_0) f(\rho_1) \quad (8)$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ khi thay đổi chiều cao và mật độ mẫu dạng trụ đối với gamma năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV

Đầu tiên phổ của mẫu chuẩn được đo trên hệ phổ kế GMX35P4-70. Thông tin mẫu chuẩn bao gồm: chuẩn đất RGU1 đựng trong hộp trụ, đường kính 7,66cm, chiều cao 1,9cm, mật độ 1,58g/cm³, hiệu suất tại đỉnh 63,3keV và 92,6keV được tính toán từ phổ thực nghiệm đo được và cho trong Bảng 1 sau:

Bảng 1. Giá trị hiệu suất thực nghiệm tính toán được đối với năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV

Năng lượng (keV)	Hiệu suất đỉnh
63,3	0,06611
92,6	0,06429

Nhập giá trị hiệu suất đỉnh thực nghiệm tính từ mẫu chuẩn này vào Angle, với mật độ không đổi (1,58 g/cm³) tính toán hiệu suất theo chiều cao mẫu khác nhau.

Làm khớp dữ liệu hiệu suất theo chiều cao mẫu. Ta được kết quả:

$$\text{Với } 63,3 \text{ keV: } \varepsilon(h) = 1,21337 - 0,47090 \cdot \ln(h - 0,30746)$$

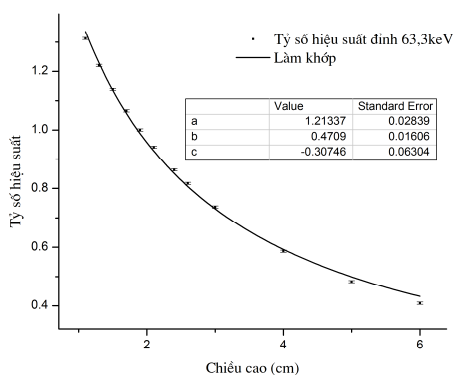
$$\text{Với } 92,6 \text{ keV: } \varepsilon(h) = 1,26930 - 0,47392 \cdot \ln(h - 0,12253)$$

Bảng 2. Hiệu suất tính toán từ Angle với chiều cao mẫu khác nhau

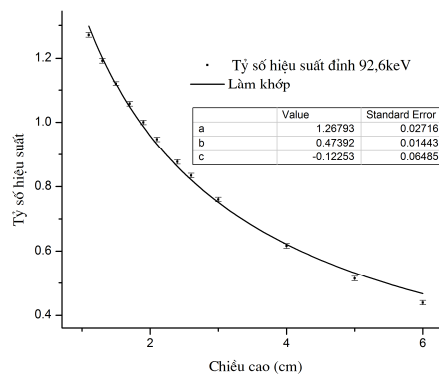
Chiều cao (cm)	Hiệu suất		Tỉ số hiệu suất	
	63,3 keV	92,6 keV	63,3 keV	92,6 keV
1,1	0,08679	0,08172	1,31292	1,27110
1,3	0,08068	0,07666	1,22043	1,19239
1,5	0,07526	0,07211	1,13848	1,12169
1,7	0,07043	0,06801	1,06544	1,05786

1,9	0,06611	0,06429	1,00000	1,00000
2,1	0,06221	0,06090	0,9411	0,94734
2,4	0,05706	0,05637	0,86318	0,87675
2,6	0,05402	0,05365	0,81715	0,83454
3,0	0,04871	0,04885	0,73680	0,75987
4,0	0,03876	0,03962	0,58634	0,61627
5,0	0,03193	0,03307	0,48307	0,51443
6,0	0,02702	0,02824	0,40878	0,43929

Hình 4 và Hình 5 minh họa số liệu tính toán và số liệu khớp của hiệu suất theo chiều cao. Kết quả cho thấy dạng làm khớp được chọn phù hợp tốt với số liệu hiệu suất có được từ Angle.



Hình 4. Sự thay đổi hiệu suất theo chiều cao mẫu đối với tia 63,3 keV



Hình 5. Sự thay đổi hiệu suất theo chiều cao mẫu đối với tia 92,6 keV

Tương tự, với chiều cao không đổi ($h = 1,9\text{cm}$), tính toán hiệu suất khi thay đổi mật độ mẫu khác nhau. Kết quả được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Hiệu suất theo mật độ tính từ Angle

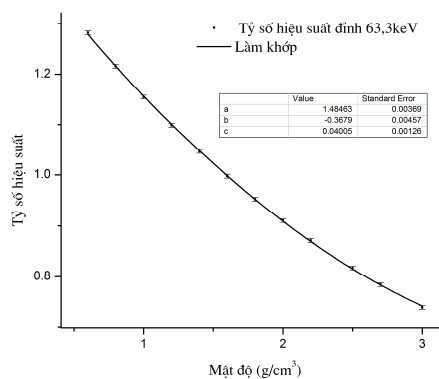
Mật độ (g/cm^3)	Hiệu suất		Tỉ số hiệu suất	
	63,3 keV	92,6 keV	63,3 keV	92,6 keV
0,6	0,08472	0,07735	1,28151	1,20322
0,8	0,08037	0,07442	1,21575	1,15750
1,0	0,07635	0,07164	1,15490	1,11430
1,2	0,07262	0,06901	1,09852	1,07345

1,4	0,06916	0,06653	1,04622	1,03480
1,6	0,06595	0,06417	0,99764	0,99821
1,8	0,06296	0,06195	0,95247	0,96354
2,0	0,06018	0,05983	0,91040	0,93068
2,2	0,05759	0,05783	0,87119	0,89951
2,5	0,05402	0,05501	0,81720	0,85569
2,7	0,05184	0,05325	0,78413	0,82829
3,0	0,04882	0,05077	0,73843	0,78971

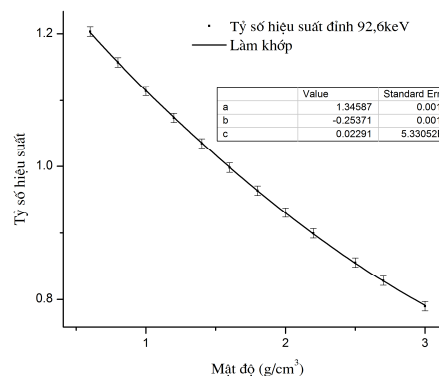
Làm khớp dữ liệu hiệu suất theo mật độ mẫu. Ta được kết quả:

$$\text{Đối với } 63,3 \text{ keV: } \varepsilon(\rho) = 1,48463 - 0,36790\rho + 0,04005\rho^2$$

$$\text{Đối với } 92,6 \text{ keV: } \varepsilon(\rho) = 1,34587 - 0,25371\rho + 0,02291\rho^2$$



Hình 6. Sự thay đổi hiệu suất theo mật độ mẫu đối với tia 63,3 keV



Hình 7. Sự thay đổi hiệu suất theo mật độ mẫu đối với tia 92,6 keV

Hình 6 và Hình 7 minh họa số liệu tính toán và số liệu khớp của hiệu suất theo mật độ. Kết quả cho thấy dạng làm khớp được chọn phù hợp tốt với số liệu hiệu suất có được từ Angle.

Để kiểm tra quy trình hiệu chỉnh, áp dụng quy trình trên tính toán hiệu suất cho 8 mẫu chuẩn với chiều cao và mật độ khác nhau từ hàm làm khớp đã xây dựng và so sánh với tính toán từ thực nghiệm. Kết quả được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. So sánh hiệu suất tính toán từ hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ và hiệu suất tính từ phổ thực nghiệm cùng hình học và mật độ

Mẫu	Chiều cao (cm)	Mật độ (g/cm ³)	Hiệu suất tính từ làm khớp		Hiệu suất tính từ thực nghiệm		Độ lệch	
			63,3keV	92,6keV	63,3keV	92,6keV	63,3keV	92,6 keV
RGU-a	1,3	1,5496	0,08130	0,07722	0,08265	0,07754	1,62%	0,41%
RGU-b	1,5	1,5655	0,07524	0,07219	0,07564	0,07326	0,53%	1,46%
RGU-c	1,9	1,5900	0,06579	0,06410	0,06612	0,06429	0,48%	0,29%
RGU-d	1,7	1,5856	0,07004	0,06779	0,06968	0,06885	0,51%	1,53%
RGU-e	2,4	1,5379	0,05800	0,05708	0,05910	0,05516	1,85%	3,49%
RGU-f	2,6	1,5487	0,05498	0,05439	0,05624	0,05308	2,25%	2,46%
RGU-g	2,1	1,5981	0,06198	0,06076	0,06259	0,05994	0,98%	1,38%
RGU-h	1,1	1,5260	0,08889	0,08329	0,08409	0,08034	5,71%	3,67%

Kết quả cho thấy có sự phù hợp tốt giá trị hiệu suất sau khi hiệu chỉnh tự hấp thụ bởi quy trình xây dựng được với hiệu suất tính toán được trực tiếp từ thực nghiệm đối với mẫu chuẩn RGU1 với chiều cao mẫu và mật độ thay đổi. Vậy có thể sử dụng cách hiệu chỉnh tự hấp thụ đã xây dựng ở trên cho việc tính toán hoạt độ ²³⁸U trực tiếp từ đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV trong mẫu lương thực thực phẩm.

3.2. Áp dụng phân tích hoạt độ ²³⁸U từ mẫu lương thực thực phẩm sử dụng photon gamma 63,3 keV và 92,6 keV

Dưới đây áp dụng quy trình tách đỉnh và hiệu chuẩn tự hấp thụ đã xây dựng ở trên để xác định ²³⁸U từ 63,3 keV và 92,6 keV. Các mẫu phân tích là những mẫu lương thực thực phẩm khác nhau như gạo, trứng vịt, khoai tây, củ sắn, rau, cá, được tro hóa và chuẩn bị trong hộp trụ với chiều cao mẫu và mật độ mẫu khác nhau. Kết quả được cho trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả phân tích hoạt độ ²³⁸U từ 63,3 keV và 92,6 keV của một số mẫu lương thực thực phẩm sau khi tách nhiễu đóng góp của đồng vị ²³²Th vào đỉnh 63 keV với xác suất phát 0,263% và sự đóng góp của tia X ²²⁸Ac vào đỉnh 9 keV

Mẫu	E (keV)	ε (%)	R _t	R _n	R	A	A _{hc}	Sai số A _{hc}
31 Trứng vịt	63,3	8,45240	0,00540	0,00046	0,00500	1,66	1,52	0,08
	92,6	7,99650	0,00990	0,00533	0,00460	2,87	1,34	0,06
263 Khoai tây	63,3	6,28410	0,00280	0,00014	0,00260	1,15	1,08	0,12
	92,6	6,22480	0,00430	0,00168	0,00260	1,59	0,97	0,06
282	63,3	6,56390	0,00270	0,00058	0,00210	1,08	0,85	0,07

Sắn củ	92,6	6,42690	0,00950	0,00702	0,00250	3,45	0,92	0,04
154B	63,3	6,95290	0,00125	0,00003	0,00122	0,46	0,45	0,11
Gạo	92,6	6,55610	0,00181	0,00019	0,00163	0,50	0,44	0,08
43B	63,3	7,31190	0,00525	0,00003	0,00522	1,84	1,83	0,24
Gạo	92,6	6,77130	0,00839	0,00034	0,00805	2,22	2,13	0,10
360	63,3	5,87120	0,00377	0,00024	0,00353	1,64	1,54	0,30
Rau	92,6	5,91120	0,00930	0,00293	0,00636	2,82	1,92	0,12
347	63,3	4,05413	0,00762	0,00028	0,07340	4,82	4,64	0,77
Rau cải	92,6	4,30809	0,01469	0,00366	0,01102	6,11	4,59	0,26
368	63,3	5,67554	0,00776	0,00012	0,00764	3,50	3,45	0,52
cá	92,6	5,73306	0,01079	0,00148	0,00932	4,35	3,75	0,22
359	63,3	5,29490	0,00252	0,00019	0,00232	1,22	1,12	0,23
Rau	92,6	5,40793	0,00686	0,00242	0,00445	2,27	1,47	0,10
24B	63,3	6,83362	0,00249	0,00002	0,00248	0,93	0,93	0,22
Gạo	92,6	6,47372	0,00368	0,00019	0,00349	1,02	0,96	0,06

Trong đó ε là hiệu suất ghi gamma tại năng lượng 63,3 keV và 92,6 keV; R_t , R_n , R là tốc độ đếm đỉnh phân tích chưa trừ nhiễu, đỉnh nhiễu, đỉnh phân tích đã trừ nhiễu; A và A_{hc} là hoạt độ của ^{238}U tính theo đơn vị (Bq/kg) khi chưa hiệu chỉnh và đã hiệu chỉnh đỉnh nhiễu.

Dữ liệu phân tích cho thấy có sự đóng góp nhỏ của ^{232}Th vào 63,3 keV của ^{234}Th dùng để phân tích ^{238}U ngoại trừ mẫu 282. Tuy nhiên, có sự đóng góp khá lớn của tia X ^{228}Ac vào đỉnh 92,6 keV. Đóng góp này lớn nhất 72% ở mẫu 282, 54% ở mẫu 31, 39% ở mẫu 383. Kết quả tính toán hoạt độ ^{238}U từ hai đỉnh 63,3 keV và 92,6 keV của ^{234}Th – con cháu trực tiếp của ^{238}U cho thấy có sự khác biệt lớn nhất 24% ở mẫu 359, 20% ở mẫu 360, 14% ở mẫu 43B. Điều này cho thấy cần cân nhắc khi sử dụng đỉnh 92,6 keV của ^{234}Th vì tham gia của đỉnh nhiễu tia X ^{228}Ac quá lớn (đặc biệt khi nồng độ ^{232}Th lớn trong mẫu) gây sai số hệ thống lớn trong việc xác định hoạt độ rất thấp của ^{238}U trong mẫu môi trường.

4. Kết luận

Trong công trình này, chúng tôi đã sử dụng thuật toán tách đỉnh trong Gamma Vision để tách đỉnh nhiễu gamma 63,9 keV của ^{232}Th lên đỉnh 63,3 keV của ^{234}Th , tách đỉnh tia X ^{228}Ac vào đỉnh 92,6 keV của ^{234}Th mà nó dùng để tính toán hoạt độ của ^{238}U từ tia 63,3 keV và 92,6 keV của đồng vị con cháu trực tiếp của ^{238}U . Quá trình hiệu chỉnh tự hấp thụ khi đánh giá hiệu suất ghi từ hai gamma năng lượng thấp này cũng được nghiên cứu và đánh giá đối với quy trình đo cụ thể. Từ đó góp phần nâng cao độ chính xác trong việc xác định giá trị hoạt độ thấp của ^{238}U trong các mẫu lương thực thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lưu Tam Bát (2015), *Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu về phóng xạ trong lương thực thực phẩm có nguồn gốc tại khu vực biên giới tiếp giáp với nhà máy điện hạt nhân của Trung Quốc*, Đề tài KC.05.21/11-15, Viện Nghiên cứu Môi trường và các vấn đề xã hội.
2. Boshkova, T., & Minev L. (2001), “Corrections for self attenuation in gamma ray spectrometry of bulk samples”, *Appl. Radiat. Isotop*, 54, 777.
3. Debertin, K. & Helmer, R.G. (1988), *Gamma And X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector*, Elsevier Science, Amsterdam.
4. Forte, M., Rusconi R., Margini C., Abbate G., Maltese S., Badalamenti P., & Bellinzona S. (2012), *Determination of uranium isotopes in food and environmental sample by different technique: a comparison*, Division of Radiological Protection, via Juvara 22, 9 Milano, Italy; ARPA Lombardia, Faculty of Physics, University of Milano, Italy.
5. James, M. Kaste, Benjamine, C. Bostick, & Arjun, M. Heimsath (2006), “Determining Th-234 and U-238 in rocks, soils, and sediments via the doublet gamma at 92.5 keV”, *The Analyst*, 131, 757-763.
6. Mitchell, N. & Harris, G. Limited (2013), “A review of the behaviour of U-238 series radionuclides in soils and plants”, *Radiological Protection*, 33(2):R17-48.
7. Nachab, A., Nourreddine, A., Benjelloun, M., Kihel S., Oster D., & Pape A. (2004), “Uranium analysis of sediments by γ -ray spectrometry with corrections for self-absorption”, *Nucl. Instr. and Meth*, B 215, 228-234.
8. Ortec, (2012), *Angle 3 Software of Semiconductor Detector Efficiency Calculation*, Ortec, USA.
9. Yucel, H., Solmaz A.N., Kose, E., & Bor D. (2009), “Spectral interference corrections for the measurement of U-238 in materials rich in Thorium by a high resolution γ -ray spectrometry”, *Appl. Radiat. Isotop*, 67, 2049-2056.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 02-02-2016; ngày phản biện đánh giá: 12-3-2016;
ngày chấp nhận đăng: 13-6-2016)