

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO PHỔ KẾ GAMMA XÁCH TAY DÙNG ĐỂ ĐO LIỀU VÀ NHẬN DIỆN ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ

**NGUYỄN ĐỨC TUẤN**

Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân  
Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam, Bộ KH&CN

Phổ kế gamma xách tay có cấu tạo gồm một khối đầu dò tia gamma nối bên ngoài với một khối xử lý. Đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) có độ nhạy cao được sử dụng để đo phân bố năng lượng của bức xạ gamma, suất liều môi trường xung quanh (theo phương pháp chuyển phổ thành liều), tìm và nhận diện đồng vị phóng xạ. Ngoài ra, còn có ống đếm Geiger-Muller được tích hợp trong khối xử lý để đo suất liều gamma ở dải liều cao. Khối xử lý dựa trên vi xử lý bao gồm các mạch điện tử xử lý xung, phân tích đa kênh, lưu trữ dữ liệu, hiển thị LCD, bàn phím, giao tiếp theo chuẩn ethernet và pin sạc Li-ion. Phổ kế gamma xách tay có thể sử dụng được ở trong phòng thí nghiệm cũng như trong điều kiện hiện trường. Chức năng chính của thiết bị nói chung là nhận diện đồng vị phóng xạ mà không cần phải kết nối với máy PC. Những chức năng khác của thiết bị là dò tìm nguồn phóng xạ và đo suất liều. Phổ kế này rất phù hợp cho các ứng dụng như kiểm soát phóng xạ môi trường, kiểm soát chất thải phóng xạ, kiểm soát việc buôn bán bất hợp pháp các nguồn và vật liệu phóng xạ, kiểm soát phóng xạ trong phế liệu kim loại; trong công nghiệp hạt nhân, y học hạt nhân và ứng phó sự cố bức xạ.

**Từ khóa:** phổ kế gamma.

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE PORTABLE GAMMA-RAY SPECTROMETER FOR ENVIRONMENTAL DOSE RATE MEASUREMENT AND RADIOISOTOPE IDENTIFICATION

### Summary

The portable gamma ray spectrometer is composed of an external gamma radiation detection unit and a processing unit. Highly-sensible NaI(Tl) scintillation detector is used for measurement of gamma radiation energy distribution, ambient gamma radiation dose rate equivalent (spectrum-dose conversion method), search and identification of radionuclides. Geiger-Muller counter tube is integrated into the processing unit for measuring high gamma dose rate. The microprocessor-based processing unit comprises of pulse processing electronics, multi-channel analyzer, data storage, LCD display, keypads, ethernet interface, and Li-ion rechargeable battery. Portable multifunction scintillation gamma spectrometers can be used in laboratories as well as for working in field conditions. It's main spectrometer function is radionuclide identification without connection to a PC. Additional functionalities are search and detection of radioactivity sources and dose rate measurement. This spectrometer is ideally suited for radioactive environment monitoring, radioactive waste monitoring, illicit trafficking monitoring of radioactive source and materials, radiation monitoring of metal scrap; nuclear industry, nuclear medicine and emergency.

**Keywords:** gamma spectrometer.

### Mở đầu

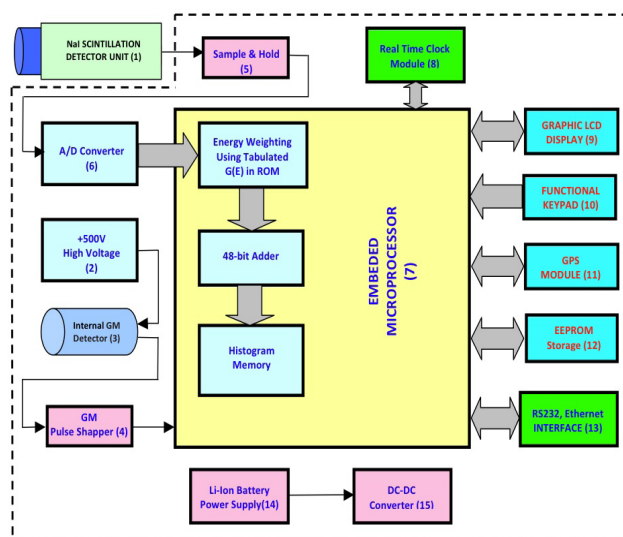
Phổ kế gamma xách tay là một công cụ cần thiết dùng để nhận diện đồng vị phóng xạ trong việc kiểm tra an ninh, an toàn bức xạ, khảo sát môi trường cũng như các ứng dụng khác trong khoa học và công nghiệp. Thiết bị thu thập và phân tích dữ liệu đạt được từ đầu dò phóng xạ phù hợp. Những sản phẩm thương mại hiện có của phổ kế gamma còn bao gồm nhiều chức năng cần thiết khác nên có giá thành cao và khó duy trì bảo dưỡng. Do đó, việc thiết kế chế tạo một phổ kế với kích thước thu gọn để có thể hoạt động như một hệ thống độc lập trong điều kiện hiện trường đáp ứng yêu cầu ứng dụng gọn nhẹ được đặt ra. Các kỹ thuật hiện đại về vi mạch tổ hợp tương tự, biến đổi tương tự - số chất lượng cao và vi xử lý đã được áp dụng trong việc nghiên cứu phát triển thiết bị.

## Thiết kế chế tạo

Đồng vị phóng xạ trong quá trình phân rã phát ra tia gamma với năng lượng đặc trưng. Các kiểu đầu dò bức xạ gamma như loại tinh thể nhấp nháy Sodium Iodide (NaI), hay tinh thể bán dẫn như Cadmium - Zinc - Telluride (CdZnTe) hoặc High Purity Germanium (HPGe) đều có thể ghi nhận năng lượng của tia gamma. Trong các đầu dò này, bức xạ gamma tạo ra các xung ánh sáng hoặc điện tích tỷ lệ với động năng của bức xạ. Các khối điện tử hạt nhân bao gồm tiền khuếch đại, khuếch đại, biến đổi tương tự - số (ADC) và phân tích đa kênh (MCA) sẽ hình thành việc khuếch đại và tạo dạng tín hiệu từ đầu dò, chuyển đổi tương tự sang số và phân chia các xung đến theo biên độ tỷ lệ với năng lượng. Sự phân bố đạt được giữa số đếm xung theo năng lượng chính là phổ gamma.

Yêu cầu thiết kế cơ bản đối với phổ kế xách tay phải đạt được là mức tiêu thụ công suất thấp. Thiết bị phải có cấu trúc nhỏ gọn để cho phép sử dụng trong khoảng thời gian một ngày chỉ với một bộ nguồn pin nhỏ. Để đạt được điều này, các linh kiện điện tử công suất thấp được chọn lựa cho việc sử dụng trong khối MCA và các thiết kế mạch điện tử được tối giản đến mức có thể nhưng vẫn đảm bảo những tính năng của bộ MCA dành cho những ứng dụng hiện trường. Thiết kế cũng sử dụng những mạch tích hợp chức năng cao với giá thành thấp cho phép dễ dàng sửa chữa, nâng cấp khi cần thiết.

Sơ đồ khối của thiết bị được chỉ ra ở hình 1, gồm các khối điện tử chức năng như sau:



Hình 1: sơ đồ khối của phổ kế gamma xách tay

*Nal Scintillation Detection Unit (1):* tổ hợp đầu dò nhấp nháy NaI có kích thước 2,48 x 2,48 inches bao gồm các thành phần cơ bản như “tinh thể nhấp nháy NaI(Tl) - ống nhân quang điện PMT” và các mạch tiền khuếch đại, khuếch đại hình thành xung chuẩn lối ra để có thể đưa thẳng đến lối vào của bộ phân tích đa kênh MCA, nguồn nuôi cao áp cho đầu dò và hệ thống ổn định dựa trên đèn LED với chức năng bù trừ ảnh hưởng của nhiệt độ.

*+500V High Voltage (2):* khối nguồn nuôi cao áp cho đầu dò Geiger-Muller.

*Internal GM Detector (3):* đầu dò Geiger-Muller tích hợp để đo dải liều cao.

*GM Pulse Shapper (4):* khối hình thành xung cho đầu dò Geiger-Muller.

*Sample & Hold (5):* khối lấy mẫu và giữ đỉnh xung.

*A/D converter (6):* khối chuyển đổi tương tự - số.

*Embeded Microprocessor (7):* vi xử lý thực hiện logic điều khiển và thu thập dữ liệu; chuyển đổi kỹ thuật số từ phổ sang liều; bộ nhớ lưu trữ hàm chuyển đổi G(E) và các chức năng khác.

*Real Time Clock module (8):* khối thời gian thực.

*Graphic LCD Display (9):* khối hiển thị graphic LCD.

*Functional Keypad (10):* khối bàn phím chức năng.

*GPS module (11):* khối thu nhận tín hiệu GPS.

*EEPROM storage (12):* khối bộ nhớ lưu trữ phổ.

*RS-232, Ethernet Interface (13):* khối giao tiếp theo chuẩn RS-232 và Ethernet.

*Li-ion Battery Power Supply (14):* khối nguồn nuôi bằng pin Li-ion.

*DC-DC Converter (15):* khối chuyển đổi nguồn DC-DC.

Ở trạng thái hoạt động, xung đến từ khối đầu dò được đưa đến khối lấy mẫu và giữ đỉnh xung. Mỗi xung được lấy mẫu và biến đổi trong một chu trình ADC mất 1,5  $\mu$ s và sau đó tạo ra ngắt đưa đến vi xử lý để khởi tạo chức năng lưu trữ dữ liệu. Những xung đến tiếp theo sẽ được xử lý khi chu trình lưu trữ vào bộ nhớ hoàn thành. Các module chương trình chức năng của vi xử lý được viết bằng ngôn ngữ C51 cho việc thu nhận phổ và thực hiện các phép tính. Ngoài ra, một công cụ phần mềm được phát triển dựa trên Labview để hỗ trợ phổ kế khi giao tiếp với máy PC.

## Phân tích phổ và nhận diện đồng vị phóng xạ

### Chuẩn năng lượng

Các hàm số hiệu chuẩn mặc định (kênh theo năng lượng và độ phân giải nửa chiều cao theo

năng lượng) được xác định bằng cách khớp hàm giữa các đỉnh phổ gamma đối với hàm Gauss. Phép hiệu chuẩn này được thực hiện với các nguồn chuẩn:  $^{109}\text{Cd}$ (89 keV),  $^{57}\text{Co}$ (122 keV),  $^{133}\text{Ba}$ (356 keV),  $^{137}\text{Cs}$ (662 keV),  $^{22}\text{Na}$ (1274 keV) và  $^{60}\text{Co}$ (1173 keV và 1332 keV).

Việc hiệu chuẩn nhằm xác định các hệ số hiệu chuẩn  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$  và  $c_1, c_2, c_3$  cho các hàm hiệu chuẩn sau:

$\text{chn} = a_1 + a_2 \cdot E + a_3 \cdot E^2$       Kênh theo năng lượng (E có đơn vị là keV)

$E = b_1 + b_2 \cdot \text{chn} + b_3 \cdot \text{chn}^2$       Năng lượng theo kênh (E có đơn vị là keV)

$\text{FWHM} = c_1 + c_2 \cdot E + c_3 \cdot E^2$       Độ phân giải nửa chiều cao theo năng lượng (E và FWHM có đơn vị là keV)

Thư viện đồng vị phóng xạ trong phần mềm của thiết bị có thể bao gồm 8 đồng vị phóng xạ cơ bản như bảng 1.

Bảng 1

| Đồng vị | Năng lượng (keV) |
|---------|------------------|
| Cd-109  | 88               |
| Co-57   | 122              |
| U-235   | 185              |
| I-131   | 364              |
| Cs-137  | 662              |
| Mn-54   | 835              |
| Co-60   | 1173             |
| Na-22   | 1274             |

Các hàm số hiệu chuẩn này được tích hợp trong phần mềm của thiết bị như là phép hiệu chuẩn mặc định. Khi thiết bị hoạt động, phần mềm sử dụng các hàm này để xác định vị trí của đỉnh phổ gamma.

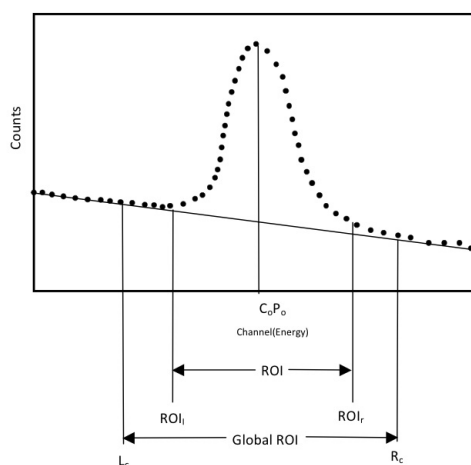
Người sử dụng có thể dùng nguồn  $^{137}\text{Cs}$ (662 keV) để kiểm tra phép hiệu chuẩn mặc định. Nếu vị trí đỉnh 662 keV không trùng với kênh như đã được tính toán trong phép hiệu chuẩn mặc định thì phần mềm sẽ thay đổi các hệ số khuếch đại  $a_2$  và  $b_2$  để bù trừ vào sự thay đổi đó. Phép hiệu chuẩn mới này sẽ trở thành phép hiệu chuẩn mặc định.

## Tìm đỉnh tự động và nhận diện đồng vị

Thư viện về đồng vị phóng xạ của thiết bị có chứa sẵn 8 đồng vị. Mỗi khi thư viện hay phép hiệu chuẩn năng lượng bị thay đổi, thiết bị sẽ tự tính lại vị trí kênh của đỉnh  $P_0$  và độ rộng đỉnh (FWHM) cho mỗi loại đồng vị trong thư viện theo các hàm sau:

$$P_0 = a_1 + a_2 \cdot E + a_3 \cdot E^2 \text{ và } \text{FWHM} = c_1 + c_2 \cdot E + c_3 \cdot E^2$$

Trong đó, E là năng lượng tương ứng với đỉnh gamma của đồng vị và  $a_1, a_2, a_3$  là các hệ số hiệu chuẩn được lưu giữ trong thiết bị. Khi thiết bị ở trong chế độ thu nhận, nó sẽ tìm toàn bộ các đỉnh có trong thư viện trong khoảng thời gian 6 giây một lần. Thủ tục chi tiết cho việc tìm đỉnh đối với mỗi đồng vị được cụ thể hóa theo các bước dưới đây. Hình 2 thể hiện một đỉnh phổ có kênh là  $P_0$ , số đếm  $C_0$ , các vị trí kênh trái  $\text{ROI}_l$  và phải  $\text{ROI}_r$  của vùng quan tâm ROI.



Hình 2: vùng quan tâm ROI

**Bước 1.** Làm trơn dữ liệu thô của phổ thu nhận theo 5 điểm liên tiếp nhau:

$$\text{Smooth}[ii] = (-3 \cdot \text{raw}[ii-2] + 12 \cdot \text{raw}[ii-1] + 17 \cdot \text{raw}[ii] + 12 \cdot \text{raw}[ii+1] - 3 \cdot \text{raw}[ii+2]) / 35$$

Trong đó,  $\text{raw}[ii]$  là số đếm tại kênh  $ii$ .

**Bước 2.** Từ giá trị kênh của đỉnh  $P_0$  tính được theo năng lượng ở công thức trên, tìm kênh của đỉnh  $C_0$ , bằng cách tìm kênh có số đếm cực đại trong dữ liệu đã được làm trơn trong dải ( $P_0 \pm 0,5 \cdot \text{FWHM}$ ).

**Bước 3.** Thiết lập các vị trí kênh toàn cục của vùng quan tâm ROI theo vị trí kênh của đỉnh  $C_0$  tìm thấy ở trên theo các công thức sau:

$$L_c = P_0 - 1,5 \cdot \text{FWHM} \text{ và } R_c = P_0 + 1,5 \cdot \text{FWHM}$$

**Bước 4.** Thiết lập các vị trí kênh trái  $\text{ROI}_l$  và phải  $\text{ROI}_r$  thực sự cho vùng quan tâm ROI:

- Giá trị kênh trái  $\text{ROI}_l$  được xác định bằng việc tìm giá trị nhỏ nhất trong dữ liệu làm trơn trong dải từ kênh  $L_c$  đến kênh ( $P_0 - 0,5 \cdot \text{FWHM}$ ).

- Giá trị kênh phải  $\text{ROI}_r$  được xác định bằng việc tìm giá trị nhỏ nhất trong dữ liệu làm trơn trong dải

từ kênh ( $P_o + 0,5.FWHM$ ) đến kênh  $R_c$ .

**Bước 5.** Tính cửa sổ độ rộng kênh của vùng quan tâm ROI:  $W = ROI_r - ROI_l + 1$ .

**Bước 6.** Thiết lập giá trị  $m$  theo  $P_o$ ,  $m$  là số kênh được sử dụng để tính giá trị trung bình của phòng trong khoảng ROI.

Nếu  $0 \leq P_o < 180$ ,  $m = 1$ ;  $180 \leq P_o < 380$ ,  $m = 3$ ;  $380 \leq P_o < 640$ ,  $m = 5$ ; trường hợp khác  $m = 7$ .

**Bước 7.** Tính độ dốc (Slope) của đường phòng:

$$\text{Slope} = \frac{N_r - N_l}{ROI_r - ROI_l}$$

Trong đó  $N_l$  là số đếm trung bình tại kênh  $ROI_l$  và  $N_r$  là số đếm trung bình tại kênh  $ROI_r$  được tính như sau:

$$N_l = \frac{(N.[chn_l - 3] + N.[chn_l - 2] + N.[chn_l - 1])}{3}$$

$$N_r = \frac{(N.[chn_r + 1] + N.[chn_r + 2] + N.[chn_r + 3])}{3}$$

**Bước 8.** Tính giá trị phòng (BKG) trong vùng của sổ ROI đã xác định theo nguyên tắc tính diện tích hình thang:

$$BKG = (N_r + N_l).W/2$$

**Bước 9.** Tính tổng số đếm thực sự (NET\_SUM) trong vùng cửa sổ bằng cách lấy tổng số đếm dữ liệu thô từ vị trí kênh  $ROI_l$  đến vị trí kênh  $ROI_r$  và trừ đi giá trị phòng:

$$NET\_SUM = \sum raw[i] - BKG$$

**Bước 10.** Tính hệ số tỷ lệ  $D$  giữa số đếm thực sự và phòng:

$$D = \frac{NET\_SUM^2}{2,7.BKG \left(1 + \frac{W}{2m}\right)}$$

**Bước 11.** Tính số đếm thực sự tại mỗi vị trí kênh trong vùng cửa sổ ROI:

$$net[i] = raw[i] - (\text{slope} \cdot (i - ROI_l) + N_l)$$

nếu  $net[i] < 0$  thì đặt  $net[i] = 0$ .

**Bước 12.** Tính mảng dữ liệu Gauss trong vùng cửa sổ:

$$G[i] = \exp[-(i - P_o)^2 / \delta^2], \text{ trong đó } \delta = FWHM/2,355$$

**Bước 13.** Tính giá trị  $\theta$  - hệ số tương quan (correlation coefficient) giữa giá trị của đỉnh phổ đo được (NET) với giá trị lý thuyết theo hàm Gauss (G) tại vị trí đỉnh nhận biết.

Toàn bộ các phép tính tổng số đếm được tính từ kênh  $ROI_l$  đến kênh  $ROI_r$ .

$$\theta = \frac{(NET.G)^2}{|NET|^2 \cdot |G|^2}$$

Trong đó:  $NET.G = \sum net[i] \cdot G[i]$  và biên độ:

$$|NET|^2 = \sum net[i]^2, |G|^2 = \sum G[i]^2$$

**Bước 14.** Nếu thỏa mãn các điều kiện sau đây: hệ số tương quan đủ lớn, tức là  $\theta > 0,5$ ; tỷ số giữa số đếm thực và phòng  $D > 1$ ; tổng số đếm thực  $NET\_SUM > 20$  thì xem như đồng vị đã được nhận biết.

Các bước tìm đỉnh tự động và nhận diện đồng vị phóng xạ theo thư viện có sẵn nêu trên sẽ được cụ thể hóa thành thuật toán và được triển khai thực thi trong module phần mềm cho CPU của thiết bị.

## Đo suất liều môi trường

### Tổng quan về phương pháp JAERI

Phương pháp JAERI được phát triển bởi Moriuchi và Miyanaga năm 1966 [1]. Thủ tục chuyển đổi từ phổ biên độ sang tốc độ phơi nhiễm được biểu diễn bằng phương trình (1) dưới đây [1]. Dòng đầu tiên là viết tắt của các khái niệm cơ bản của phương pháp JAERI, trong khi dòng thứ hai thể hiện các thủ tục tính toán cụ thể khi thực hiện phương pháp được áp dụng cho một phổ biên độ thu nhận được từ bộ phân tích đa kênh.

$$X = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} N(E) G(E) dE \quad (1)$$

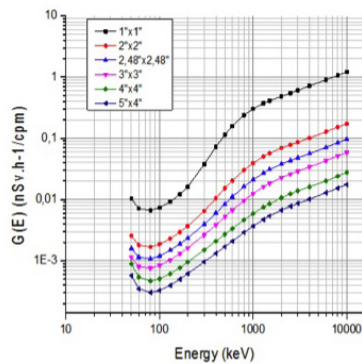
$$= \sum_{I_{\min}}^{I_{\max}} N(I) G(I)$$

Trong đó:  $X$  = Suất liều chiếu ( $2,58.10^{-10} \text{ Ckg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  hoặc  $\mu\text{R} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $N(E)$  = Phổ biên độ theo năng lượng (tốc độ đếm cpm theo keV);  $N(I)$  = Phổ biên độ theo kênh (tốc độ đếm cpm theo kênh);  $E$  = Năng lượng (keV);  $I$  = Số kênh;  $E_{\min}$  = Mức năng lượng phân biệt được (keV);  $E_{\max}$  = Năng lượng tối đa để đánh giá suất liều (keV);  $I_{\min}$  = Số kênh tương ứng  $E_{\min}$ ;  $I_{\max}$  = Số kênh tương ứng với  $E_{\max}$ ;  $G(E)$ ,  $G(I)$  = Toán tử biến đổi phổ - liều ( $2,58.10^{-10} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$  trên cpm) cho năng lượng  $E$  hoặc kênh  $I$ .

Phương trình 1 cho ta xác định được liều chiếu do tia gamma trong dải năng lượng từ 0 đến 3 MeV. Phương pháp này có thể áp dụng cho bất kỳ đầu dò nào tạo ra phổ năng lượng tương ứng. Đối với trường hợp đầu dò nhấp nháy NaI(Tl), hình dạng và kích thước của tinh thể là nhân tố chính cho việc xác định



hàm đáp ứng  $G(E)$ . Hàm  $G(E)$  cho các loại đầu dò nhấp nháy NaI có kích thước khác nhau được chỉ ra ở hình 3. Do đó, khi hàm  $G(E)$  cho một loại đầu dò NaI(Tl) đã tính được, nó có thể áp dụng cho bất kỳ đầu dò NaI(Tl) có cùng kiểu.



Hình 3: hàm  $G(E)$  của các đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) có kích thước khác nhau

Phương pháp hàm  $G(E)$  là một phương pháp nổi tiếng cho việc chuyển đổi sang liều từ một phổ biến độ đo được. Sự phù hợp của ứng dụng dựa trên việc đánh giá giá trị suất liều với độ chính xác khá cao thông qua thủ tục chuyển đổi phổ một cách đơn giản.

Giá trị suất liều có thể đạt được bằng cách nhân số đếm trên kênh với giá trị hàm  $G(E)$  tương ứng với mức năng lượng của mỗi kênh và cộng dồn tất cả lại. Một phép chuyển đổi theo thời gian thực có thể thực hiện được bởi thủ tục đơn giản nêu trên.

### Thủ tục tính toán cụ thể xác định hàm $G(E)$

Kích thước của các đầu dò nhấp nháy đã được khảo sát bao gồm 1" x 1", 2" x 2", 3" x 3", 4" x 4", 5" x 4" đối với loại hình trụ và 2"φ, 3"φ, 5"φ đối với loại hình cầu [2]. Các cấu hình chiếu xạ bao gồm: 4 loại kerma, 4 loại liều tương đương ở độ sâu 1 cm và tương đương liều hiệu dụng với 5 cấu hình hình học khác nhau [2]. Dải năng lượng của tia gamma là từ 50 keV đến 10 MeV. Hàm đáp ứng của đầu dò được tính toán mô phỏng Monte Carlo bởi chương trình MARTHA [2].

Hàm  $G(E)$  có thể được xác định thông qua phương trình đa thức xấp xỉ (2) sau [2]:

$$G(E) = \sum_{K=1}^{K_{\max}} A(K) \cdot \langle \log_{10}(E) \rangle^{K-M-1} \quad (2)$$

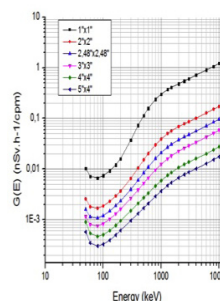
Trong đó:  $K_{\max}$  = Số bậc của đa thức;  $A(K)$  = Hệ số sẽ được xác định theo  $K$ ;  $E$  = Năng lượng với đơn vị là keV;  $M$  = Số nguyên sẽ được xác định theo loại detector.

Các hệ số  $A(K)$  của phương trình đa thức xấp xỉ đối với hàm  $G(E)$  ứng với đại lượng liều tương đương ở cấu hình chiếu theo mặt phẳng song song (dose equivalent in plane parallel irradiation) ( $H'(10)$ ) được chỉ ra ở bảng 2 [2] (JAERI-M, 91-204).

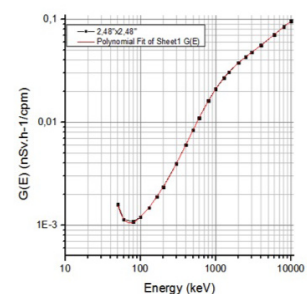
Để xác định giá trị hàm  $G(E)$  cụ thể cho cho đầu dò sử dụng có kích thước 63 x 63 mm (tương đương với 2,48" x 2,48"), chúng tôi dùng phương pháp nội suy trên cơ sở các số liệu đã có của hàm  $G(E)$  đã được tính cho các đầu dò có kích thước 1", 2", 3", 4", 5" để tạo ra các giá trị cần thiết cho đầu dò của mình. Các bước tiến hành như sau:

**Bước 1.** Tính các giá trị nội suy cho đầu dò có kích thước 2,48" sử dụng các giá trị kết quả của hàm  $G(E)$  (theo bảng kết quả tính của phương pháp JAERI) của các đầu dò có kích thước 1", 2", 3", 4", 5" tại các mức năng lượng 50, 60, 80, 100, 130, 165, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1.000, 1.290, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000, 4.000, 6.000, 8.000, 10.000 keV.

**Bước 2.** Sử dụng các giá trị nội suy tính được từ bước 1 và công cụ phần mềm OriginLab Pro, phân tích các dữ liệu thực nghiệm nội suy và tạo hàm khớp đa thức mới theo phương pháp bình phương tối thiểu cho đầu dò 2,48", chính là hàm  $G(E)$ . Kết quả biểu diễn đồ thị hàm  $G(E)$  ở hình 4 và 5, bảng 1 là biểu thức của hàm  $G(E)$  với hệ số tương quan đạt 0,99999.



Hình 4



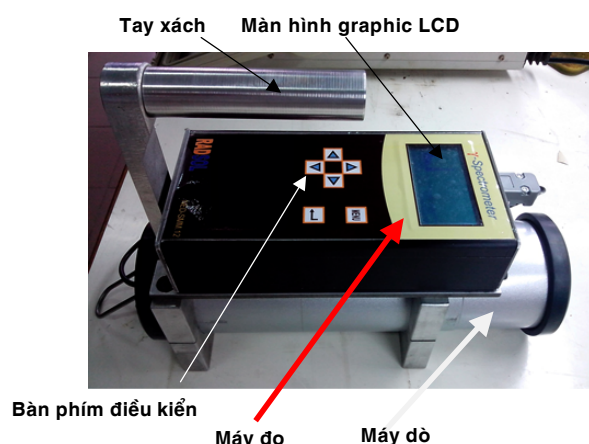
Hình 5

Bảng 1

| Phương trình đa thức của hàm $G(E)$ | $G(E) = B_0 + B_1.E + B_2.E^2 + B_3.E^3 + B_4.E^4 + B_5.E^5 + B_6.E^6 + B_7.E^7 + B_8.E^8$ |           |              |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|
| Hàm                                 | Hệ số                                                                                      | Giá trị   | Sai số chuẩn |
| $G(E)$                              | $B_0$                                                                                      | 1510,6659 | 96,42088     |
|                                     | $B_1$                                                                                      | -4405,049 | 294,10606    |
|                                     | $B_2$                                                                                      | 5546,4069 | 387,56292    |
|                                     | $B_3$                                                                                      | -3944,231 | 288,22439    |
|                                     | $B_4$                                                                                      | 1731,5689 | 132,33566    |
|                                     | $B_5$                                                                                      | -480,3098 | 38,42331     |
|                                     | $B_6$                                                                                      | 82,19757  | 6,89158      |
|                                     | $B_7$                                                                                      | -7,93659  | 0,69836      |
|                                     | $B_8$                                                                                      | 0,33118   | 0,03062      |

Dựa vào hàm  $G(E)$  mới này, ta có thể tính ra các giá trị cụ thể của hàm tại các mức năng lượng tương ứng với giá trị kênh ghi nhận được từ bộ phân tích đa kênh MCA, từ đó có thể tính ra được giá trị suất liều sau cùng mong muốn. Phương pháp nội suy này có thể áp dụng để tính các giá trị của hàm  $G(E)$  cho các đầu dò có kích thước bất kỳ trong dải từ 1"-5".

## Kết quả



Hình 6: phổ kế gamma xách tay

Phổ kế gamma xách tay đã được thiết kế chế tạo hoàn chỉnh như hình 6 với các đặc trưng kỹ thuật sau:

- Đầu dò nhấp nháy NaI: 2,48" x 2,48", dải năng lượng: 50 keV-3 MeV, độ phân giải năng lượng: 6,3% tại 662 keV ( $^{137}\text{Cs}$ ), độ nhạy: 1.960 cps/ $\mu\text{Sv/h}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ).

- Đầu dò Geiger-Mueller (tích hợp bên trong thiết bị): ống đếm chứa khí loại Ne + Halogen, độ nhạy Gamma ( $^{60}\text{Co}$ ): 0,26 cps/mR/h.

- Phân tích biên độ đa kênh: độ phân giải 2.048 kênh, dung lượng: 4 bytes/kênh.

- Màn hình hiển thị Graphic LCD: 128 x 64 pixels.

- Khả năng lưu trữ: 8 phổ, có thể mở rộng.

- Dải đo suất liều (DOSE RATE EQUIVALENT  $H^*(10)$ ):

Đầu dò nhấp nháy NaI: 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ -80  $\mu\text{Sv/h}$

Đầu dò Geiger-Mueller: 10  $\mu\text{Sv/h}$ -100 mSv/h

- Dải đo liều tích lũy (TOTAL DOSE EQUIVALENT  $H^*(10)$ ): 100 nSv-1 Sv.

- Khả năng nhận diện đồng vị phóng xạ:  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ .

- Giao tiếp máy tính: thông qua cổng Ethernet.

- Dải nhiệt độ hoạt động: từ 0°C đến +50°C, độ ẩm hoạt động từ 30% đến 95%.

- Nguồn nuôi: pin sạc Li-ion với thời gian hoạt động liên tục 12 giờ.

- Kích thước: 2" x 4" x 8" (máy đo),  $\varnothing$  88x315 mm (đầu dò).

- Tổng trọng lượng (máy đo + đầu dò): 5 kg.

Kết quả đo đặc hiệu chuẩn với đầu dò nhấp nháy NaI của phổ kế gamma xách tay dựa theo hàm chuyển đổi phổ sang liều  $G(E)$  nêu trên được chỉ ra ở bảng 2 với sai số nhỏ hơn 10%.

Bảng 2

| Suất liều chuẩn ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Lần đo 1 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Lần đo 2 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Lần đo 3 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Giá trị trung bình ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Giá trị TB trừ phòng ( $\mu\text{Sv/h}$ ) | Sai số (%) |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------|
| 0,68                                 | 0,77                          | 0,72                          | 0,8                           | 0,76                                    | 0,66                                      | 2,5        |
| 0,77                                 | 0,8                           | 0,85                          | 0,87                          | 0,84                                    | 0,74                                      | 3,9        |
| 2,7                                  | 2,61                          | 2,65                          | 2,69                          | 2,65                                    | 2,55                                      | 5,6        |
| 3,06                                 | 2,97                          | 3,03                          | 3,09                          | 3,03                                    | 2,93                                      | 4,2        |
| 10                                   | 10,08                         | 10,27                         | 10,17                         | 10,17                                   | 10,07                                     | 0,7        |
| 15                                   | 15                            | 15,01                         | 15,1                          | 15,04                                   | 14,94                                     | 0,4        |
| 20                                   | 20,12                         | 20,36                         | 19,79                         | 20,09                                   | 19,99                                     | 0,1        |
| 25                                   | 25,46                         | 24,68                         | 24,92                         | 25,02                                   | 24,92                                     | 0,3        |
| 30                                   | 30,59                         | 31,11                         | 29,55                         | 30,42                                   | 30,32                                     | 1,1        |
| 35                                   | 35,04                         | 35,42                         | 34,67                         | 35,04                                   | 34,94                                     | 0,2        |
| 40                                   | 41,69                         | 39,71                         | 39,86                         | 40,42                                   | 40,32                                     | 0,8        |
| 45                                   | 46,72                         | 45,53                         | 45,97                         | 46,07                                   | 45,97                                     | 2,2        |
| 50                                   | 52,77                         | 53,73                         | 52,9                          | 53,13                                   | 53,03                                     | 6,1        |

## Kết luận

Phổ kế gamma xách tay đã được thiết kế chế tạo hoàn chỉnh. Kết quả của việc nghiên cứu phát triển đã tạo nên một thiết bị với những tính năng đạt được theo yêu cầu để ra cùng với giá thành thấp, kích thước nhỏ gọn và sử dụng thân thiện. Các đặc trưng của thiết bị đáp ứng được đòi hỏi cho những hoạt động diễn ra ở hiện trường, bao gồm việc dò tìm nguồn phóng xạ, tự động nhận diện đồng vị và đo tổng suất liều gamma dựa trên phổ thu nhận được ■

## Tài liệu tham khảo

[1] Intercomparison between EML method and JAERI method for the measurement of environmental gamma ray exposure rates- Radiation Protection Dosimetry, Vol. 18 No 2 pp.81-88 (1987)

[2] JAERI-M 91-204.