

# NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ CHẾ TẠO MÁY ĐO LIỀU NEUTRON

**Mai Văn Điện\*, Nguyễn Đức Tuấn, Nguyễn Ngọc Quỳnh  
Vũ Trung Tân, Vũ Văn Tiến**

*Viện Khoa học và kỹ thuật Hạt nhân, 179 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội  
Email: maivandien.inst@gmail.com*

**Tóm tắt:** Báo cáo trình bày các kết quả nghiên cứu trong việc thiết kế, chế tạo máy đo suất tương đương liều neutron môi trường bao gồm các tính toán mô phỏng tối ưu cấu hình khối làm chậm và thiết kế hệ điện tử ghi nhận đi kèm. Khả năng đo đặc suất tương đương liều neutron môi trường,  $H^*(10)$ , của thiết bị đo được kiểm chứng tại phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân. Các kết quả mô phỏng và khảo sát cho thấy thiết bị đo có độ nhạy cao ( $2.84 \text{ cps}/\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ) với dải năng lượng đo đặc từ 0.025 eV tới 15 MeV. Thiết bị được chế tạo có đặc trưng về đáp ứng liều tương đối và đáp ứng góc thỏa mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn quốc tế IEC 61005-2014 dành cho các thiết bị đo liều neutron

**Từ khóa:** *Máy đo liều neutron, MCNP5, tương đương liều neutron môi trường  $H^*(10)$*

## I. GIỚI THIỆU

Theo khuyến cáo của tổ chức ICRP (năm 2010) cho mục đích kiểm soát môi trường, đại lượng tương đương liều môi trường  $H^*(10)$  (Ambient dose equivalent) được sử dụng nhằm đánh giá ảnh hưởng của các bức xạ chiếu ngoài. Việc kiểm soát tương đương liều môi trường sẽ cung cấp các thông tin cần thiết cho các cơ sở ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong việc giám sát, phân chia các khu vực làm việc hợp lý. Tại Việt Nam, cùng với sự tăng cường sử dụng các nguồn phóng xạ, đặc biệt là ứng dụng của bức xạ neutron trong công nghiệp và y tế, vấn đề về kiểm soát liều lượng đối với bức xạ neutron ngày càng trở thành chủ đề được quan tâm. Các nguồn phát neutron được sử dụng tại nước ta chủ yếu là từ các máy gia tốc hạt năng lượng cao, lò phản ứng và các nguồn đồng vị phóng xạ ( $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{241}\text{Am-Be}$ ,...). Việc đo đặc, kiểm soát liều lượng gây bởi bức xạ neutron không phải là vấn đề mới nhưng nó luôn hiện diện rất nhiều khó khăn trong việc xác định chính xác giá trị liều thực tế [1]. Trong an toàn bức xạ, các máy đo tương đương liều neutron môi trường thường được sử dụng một cách phổ biến do có cấu hình đo đơn giản và đáp ứng được dải đo rộng từ 0.025 eV tới MeV [2]. Các thiết bị này được chế tạo dựa trên các kỹ thuật đo đặc được phát triển từ những năm 1960 [3]. Bằng cách sử dụng các hệ làm chậm bao quanh đầu dò neutron nhiệt nhằm tạo ra một cấu hình đầu dò có đáp ứng thông lượng (fluence response) tương tự như đường chuyển đổi liều cho bởi ICRP74 (International Commission on Radiological Protection, publication 74) [4]. Các xu hướng thiết kế của các thiết bị đo ngày nay là sử dụng thêm các thành phần hấp thụ (như Boron, Cadmium) và các kim loại nặng (Pb, Cu,...) nhằm tăng cường độ chính xác của phép đo và mở rộng dải đo dựa trên nguyên lý của các phản ứng sinh neutron ( $n,2n$ ), ( $n,3n$ ). [5, 6].

Để đáp ứng nhu cầu ngày một tăng lên trong việc giám sát an toàn đối với bức xạ neutron tại các cơ sở ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong nước, nghiên cứu này hướng tới mục

tiêu phát triển một thiết bị đo liều neutron sử dụng ống đếm tỷ lệ  $^3\text{He}$ . Trong nghiên cứu này, các tính toán mô phỏng đã được thực hiện nhằm xác định cấu hình làm chậm tối ưu cho thiết bị đo. Hệ điện tử được chế tạo với chức năng xử lý tín hiệu và truyền dữ liệu tới máy tính thông qua giao thức RS-232. Các đặc trưng về độ nhạy, độ tuyến tính, đáp ứng góc và khả năng đo đặc suất tương đương liều neutron môi trường đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm tại phòng chuẩn neutron của viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân.

## II. NỘI DUNG

### 1. Thiết kế cấu hình khối đầu dò

Tương đương liều neutron môi trường  $H^*(10)$  được xác định bởi công thức (1):

$$H^*(10) = \sum_{k=1}^n (\phi(E_k) \cdot h(E_k)) \quad (1)$$

Trong đó:  $\phi(E_k)$  (neutron/cm<sup>2</sup>) là thông lượng của neutron tại vị trí đo,  $h(E_k)$  (pSv.cm<sup>2</sup>) là hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang tương đương liều neutron môi trường và được cung cấp bởi ICRP 74 [7]

Để có thể xác định được tương đương liều neutron môi trường,  $H^*(10)$ , ta cần phải xác định các đại lượng bao gồm: thông lượng neutron tới và hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang tương đương liều neutron môi trường tương ứng với năng lượng của bức xạ tới. Trong thực tế, tồn tại một số phương pháp có thể xác định năng lượng của bức xạ neutron tới như: TOF (time of flight) hoặc sử dụng các hệ phổ kế lồng nhau (điển hình là hệ phổ kế cầu Bonner, BSS). Tuy nhiên, các phương pháp này cần thời gian đo dài và yêu cầu về hệ thống điện tử cùng thuật toán tách phổ phức tạp. Một phương pháp thay thế và được áp dụng cho hầu hết các thiết bị đo tương đương liều neutron môi trường, đó là thiết kế cấu hình đầu dò để có hàm đáp ứng có dạng tương tự như hàm chuyển đổi liều  $h(E_k)$ . Phương pháp này cho phép xác định giá trị của  $H^*(10)$  một cách đơn giản qua số đếm ghi nhận được mà không cần phải quan tâm tới năng lượng của bức xạ tới.

Giả sử rằng:  $M$  và  $R(E)$  lần lượt là số đọc và đáp ứng thông lượng (fluence response) của thiết bị đo. Ta có thể biểu diễn mối quan hệ giữa số đọc của thiết bị đo và thông lượng của chùm bức xạ tới thông qua công thức (2):

$$M = \sum_{k=1}^n \phi(E_k) R(E_k) \quad (2)$$

Từ (1), (2) ta có:

$$\frac{H^*(10)}{M} = \sum_{k=1}^n \frac{h(E_k)}{R(E_k)} \quad (3)$$

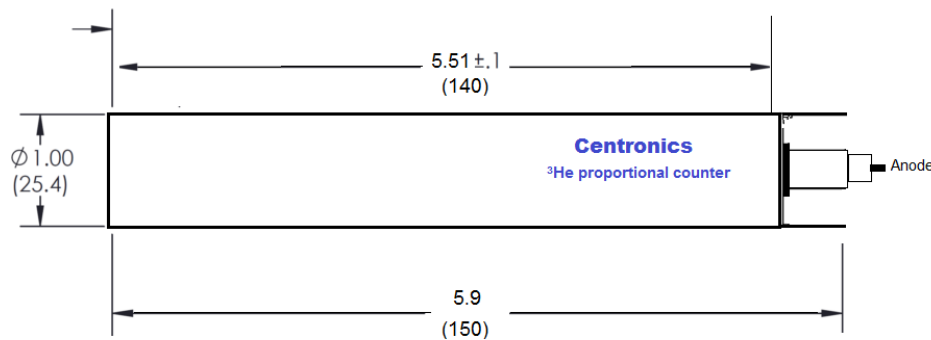
Trong trường hợp lý tưởng, đáp ứng thông lượng của thiết bị đo có dạng tương tự như đường chuyển đổi liều, khi đó tỷ số giữa  $h(E_k)$  và  $R(E_k)$  là một hằng số.

$$\sum_{k=1}^n \frac{h(E_k)}{R(E_k)} = c \quad (c \text{ là hằng số}) \quad (4)$$

Và do đó:

$$H^*(10) = c \cdot M \quad (5)$$

Để đạt được cấu hình đầu dò theo nguyên lý nêu trên, các tính toán mô phỏng được thực hiện nhằm đánh giá đáp ứng thông lượng của ống đếm tỷ lệ  $^3\text{He}$  với các cấu hình làm chậm khác nhau sử dụng chương trình MCNP5 [8]. Mô hình tính toán được thực hiện với đầu dò hình trụ có kích thước 15 x 2.54 (cm) do hãng Centronics (UK) chế tạo. Bên trong chứa khí  $^3\text{He}$  với áp suất khí là 2 atm, tương ứng với  $5.02 \times 10^{19}$  nguyên tử/cm<sup>3</sup> tại nhiệt độ phòng. Vỏ Cathode của ống đếm được cấu thành từ thép không gỉ (loại stl.304), có bề dày là 1mm. Cấu trúc của ống đếm được mô tả trong hình 1. Nguồn phát sử dụng trong mô phỏng có dạng hình chữ nhật, phát ra bức xạ neutron đơn năng với dải năng lượng phân bố trong khoảng từ 0.001 eV tới 15 MeV theo khuyến cáo của IEC 61005-2014 [9]. Kích thước của nguồn sẽ được điều chỉnh để có diện tích bằng với kích thước của khối làm chậm. Thư viện tiết diện sử dụng trong MCNP5 là ENDF/B-VI. Để giảm sai số và thời gian tính toán, các kỹ thuật giảm phương sai cũng đã được áp dụng.



Hình 1. Cấu trúc của ống đếm tỷ lệ  $^3\text{He}$

Giả sử rằng: Số phản ứng  $^3\text{He}(n,p)t$  ghi nhận trong vùng hoạt của đầu dò là tương quan với số đọc  $M$  của thiết bị đo. Khi đó ta có thể ước lượng được giá trị của đáp ứng thông lượng theo số phản ứng (n,p) sinh ra trong đầu dò ( $N$ ) theo công thức (6):

$$R(E_k) = \frac{N}{\Phi(E_k)} \quad (6)$$

Trong MCNP5, kết quả của tally F4 cho phép xác định thông lượng của neutron trong vùng hoạt của đầu dò,  $\Phi_j$  (cm<sup>-2</sup>), theo công thức (7). Số phản ứng (n,p) sinh ra sẽ được tính toán thông qua công thức (8):

$$\Phi_j = \frac{1}{KV} \sum_1^K l_k(E_j) \quad (7)$$

$$N = \sum_j \Phi_j \cdot n_{\text{He}} \cdot V \cdot \sigma_{n,p}(E_j) \quad (8)$$

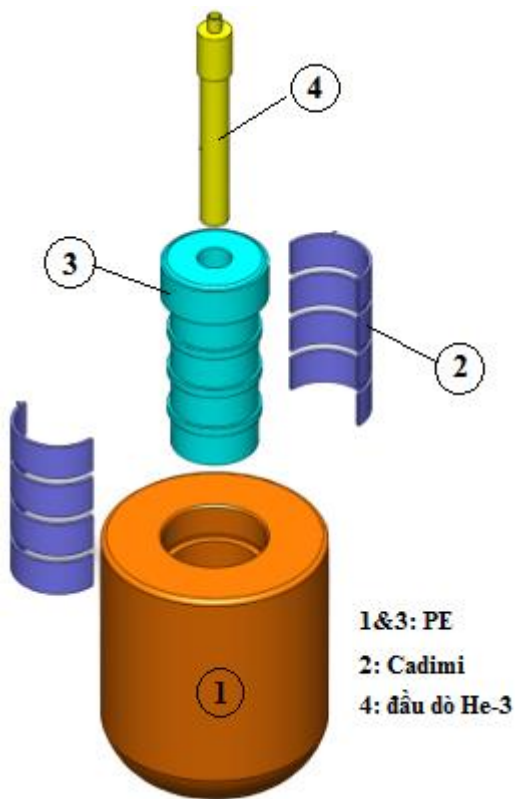
Với  $l_k$  là chiều dài đường đi của hạt (cm) và  $V$  là thể tích vùng hoạt (cm<sup>3</sup>) và  $K$  là hệ số tương quan,  $n_{\text{He}}$  là mật độ  $^3\text{He}$  trong ống đếm (cm<sup>-3</sup>),  $V$  là thể tích vùng hoạt của ống đếm (cm<sup>3</sup>),  $\sigma_{n,p}(E_j)$  là tiết diện tương tác của phản ứng  $^3\text{He}(n,p)t$  tại năng lượng  $E_j$

Như vậy, đáp ứng thông lượng của đầu dò đối với chùm neutron tới có năng lượng trung bình  $E_k$  sẽ được xác định bởi công thức (9) như sau:

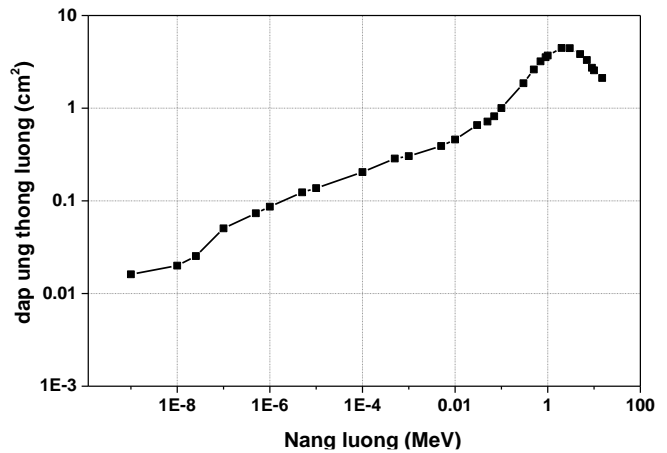
$$R(E_k) = \sum_j \Phi_j \cdot a_s \cdot n_{He} \cdot V \cdot \sigma_{n,p}(E_j) \quad (9)$$

Trong đó:  $R(E_k)$  là đáp ứng thông lượng của đầu dò tại năng lượng  $E_k$  ( $\text{cm}^2$ ),  $a_s$  là diện tích mặt nguồn neutron ( $\text{cm}^2$ )

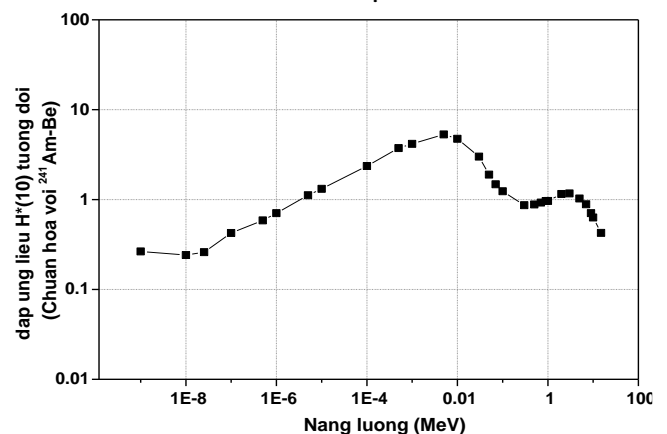
Kết quả mô phỏng tối ưu thu được với cấu hình khối đầu dò được mô tả trong hình 2. Hệ đo có kích thước là  $20.5 \times 24.5$  cm, bao gồm 2 lớp polyethylene mật độ cao được bố trí bên trong và ngoài, có bề dày lần lượt là 6 cm và 2.7 cm, ở giữa là lớp Cadmium có bề dày 3 mm. Để tăng cường đáp ứng tại vùng neutron nhiệt, lớp Cd được áp dụng kỹ thuật đục lỗ với diện tích mở bằng 10% diện tích đầu dò và được bố trí tại 3 vị trí cách đều nhau nhằm cải thiện đáp ứng góc của thiết bị đo. Các kết quả mô phỏng thu được trong việc khảo sát đáp ứng thông lượng (fluence response) và đáp ứng liều tương đối (Relative  $H^*(10)$  response) được biểu diễn trong hình 3, 4.



Hình 2: Cấu hình khối đầu dò



Hình 3. Đáp ứng thông lượng (fluence response) của thiết bị đo



Hình 4. Đáp ứng liều  $H^*(10)$  tương đối (chuẩn hóa tại  $^{241}\text{Am-Be}$ )

Thiết bị đo có đặc trưng về đáp ứng thông lượng có dạng tương tự như đường chuyển đổi liều cho bởi ICRP74. Đáp ứng liều tương đối (chuẩn hóa tại  $^{241}\text{Am-Be}$ ) có giá trị  $r(E)$ :

$$0.24 < r(E) < 5.3, \quad \text{Trong dải năng lượng: } 0.025 \text{ eV} < E < 50 \text{ keV}$$

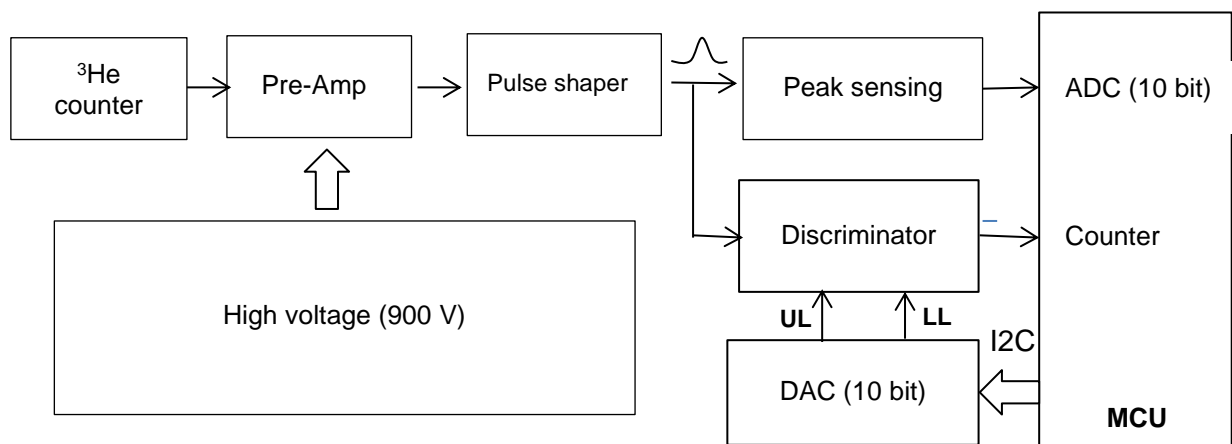
$0.64 < r(E) < 1.5$ , Trong dải năng lượng:  $50 \text{ keV} < E < 10 \text{ MeV}$

$0.40 r(E) < 0.7$ , Trong dải năng lượng trên  $10 \text{ MeV}$

Sự thăng giáng của đáp ứng liều tương đối (chuẩn hóa tại Am-Be) thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn quốc tế IEC 61005-2014 về độ lệch cho phép của các thiết bị đo tại các dải năng lượng khác nhau. Các kết quả mô phỏng này sẽ được kiểm chứng bằng thực nghiệm tại phòng chuẩn liều neutron.

## 2. Thiết kế hệ điện tử

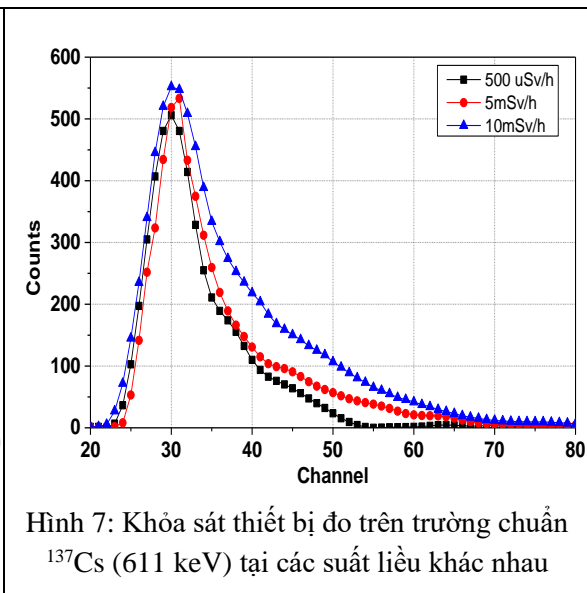
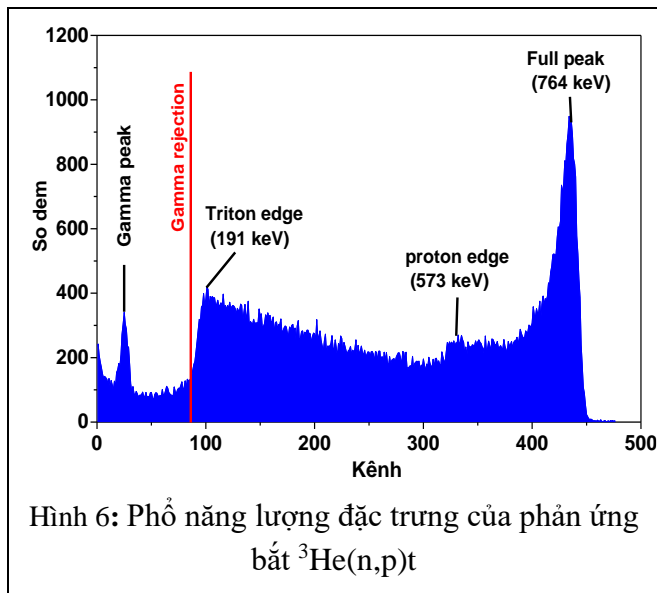
Các thiết bị đo neutron thường sử dụng ống đếm tỷ lệ  $^3\text{He}$  do chúng có độ nhạy cao và khả năng phân biệt neutron-gamma tốt. Trong quá trình ghi đo, các bức xạ gamma tương tác với vỏ cathode của đầu dò có thể tạo ra các điện tích tham gia vào quá trình ion hóa khí của ống đếm, tạo thành một tín hiệu có biên độ nhỏ tại lối ra. Các tín hiệu sinh ra bởi bức xạ gamma và nhiễu điện tử cần phải được loại trừ. Tuy nhiên, việc cắt ngưỡng quá cao sẽ làm giảm hiệu suất ghi của thiết bị đo và làm thay đổi dạng của đường cong đáp ứng. Trong nghiên cứu này, khối điện tử được thiết kế tích hợp một MCA (1024 kênh) và một SCA cho phép loại trừ hầu hết tín hiệu gamma và nhiễu mà vẫn duy trì được hiệu suất ghi nhận đối với bức xạ neutron. Hình 5 mô tả sơ đồ khối và hình ảnh của hệ điện tử đã được chế tạo.



Hình 5. Sơ đồ khối và hình ảnh của hệ điện tử đã được chế tạo

Các thành phần chính của thiết bị đo bao gồm: cao thế, tiền khuếch đại, khối hình thành xung, MCA (1024 kênh) và SCA. Trong đó, tiền khuếch đại có hệ số khuếch đại là  $1400 \text{ mV/pC}$ , được chế tạo dựa trên kỹ thuật hybrid cho phép tăng cường tốc độ ghi nhận và xử lý tín hiệu.

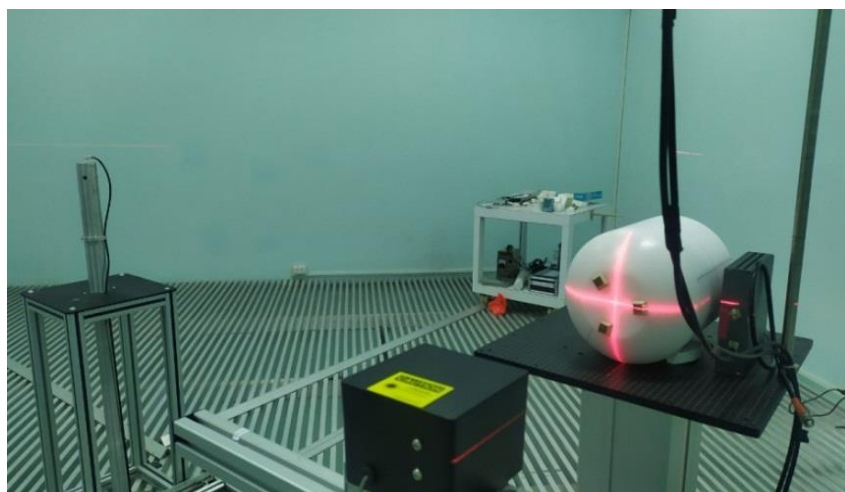
Khởi hình thành xung có nhiệm vụ khuếch đại và hình thành xung với biên độ lỗi ra có giá trị từ 0-5V. Các xung này sau đó sẽ được đưa vào MCA và SCA. Hệ đo sử dụng một MCA đơn giản với chức năng ADC của vi điều khiển pic16F877A. Chức năng MCA của hệ đo đóng vai trò như một thành phần phụ được sử dụng để khảo sát phổ năng lượng của phản ứng (n, p) và xác định ngưỡng cắt cho SCA. Các giá trị ngưỡng này sẽ được thiết lập thông qua việc điều khiển một DAC-10bit (MCP4912). Hình 6 là phổ năng lượng đặc trưng của phản ứng bắt  ${}^3\text{He}(n,p)t$  được ghi nhận bởi thiết bị đo khi chiếu với nguồn  ${}^{241}\text{Am-Be}$ .



Để loại trừ các đóng góp của gamma và nhiễu trong số đếm tổng. Ngưỡng thấp của bộ SCA sẽ được lựa chọn gần đỉnh thoát của proton sao cho hệ thống ghi nhận có thể loại trừ hầu hết các bức xạ gamma ở suất liều 10mSv/h tại năng lượng 661 keV của  ${}^{137}\text{Cs}$  (hình 7).

### III. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

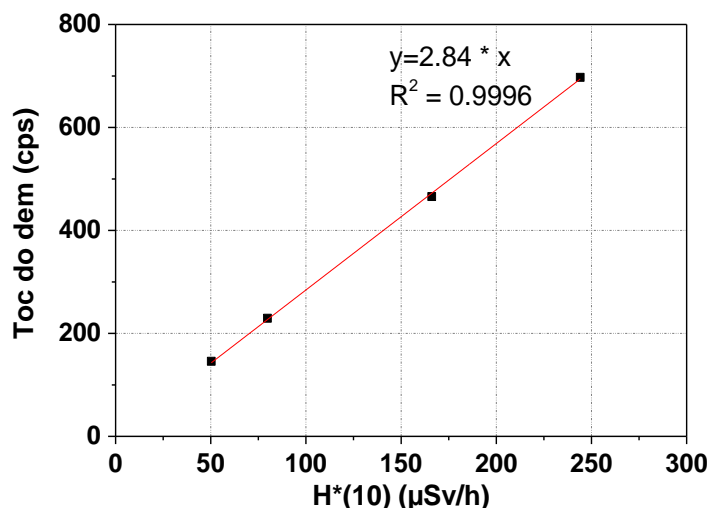
Nhằm kiểm chứng kết quả mô phỏng cũng như khảo sát độ nhạy và đáp ứng góc của hệ đo, các phép đo được tiến hành tại phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân. Hệ đo được chiếu chuẩn với nguồn  ${}^{241}\text{Am-Be}$  có năng lượng trung bình là 4.2 MeV và thông lượng ban đầu là  $1.299 \times 10^7$  n/s với độ lệch chuẩn  $2\sigma$  là 2.9% (được xác định vào tháng 1/2015).



Hình 7. Bố trí thí nghiệm tại phòng chuẩn neutron viện KH&KT hạt nhân

### - Độ tuyến tính của thiết bị đo

Các phép đo được thực hiện tại khoảng cách 80 cm, 100 cm, 150 cm và 200 cm nhằm đánh giá độ tuyến tính của thiết bị đo trong dải liều từ 50  $\mu\text{Sv/h}$  tới 300  $\mu\text{Sv/h}$ . Hình 8 là đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa tốc độ đếm mà thiết bị ghi nhận được và tương đương liều môi trường tại vị trí khảo sát. Các kết quả cho thấy hệ đo có độ nhạy cao ( $2.84 \text{ cps}/\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ) và độ tuyến tính tốt trong toàn dải đo.



Hình 8. Mối liên hệ giữa tốc độ đếm và tương đương liều môi trường -  $H^*(10)$ .

Đáp ứng thông lượng được xác định bởi tỉ số giữa tốc độ đếm và thông lượng neutron tới. Thực nghiệm xác định đáp ứng thông lượng của hệ đo với nguồn  $^{241}\text{Am-Be}$  có độ lệch là 5.3 % so với kết quả mô phỏng (xem bảng 1). Sự tương khớp giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm minh chứng cho độ tin cậy của mô hình mô phỏng và số liệu tính toán đưa ra trong phần II.

Bảng 1. So sánh kết quả mô phỏng đáp ứng thông lượng và kết quả đo thực nghiệm với nguồn  $^{241}\text{Am-Be}$

Nguồn neutron	Đáp ứng thông lượng( $\text{cm}^2$ ) (MCNP5)	Đáp ứng thông lượng ( $\text{cm}^2$ ) (Đo thực nghiệm)
$^{241}\text{Am-Be}$	$3.6 \pm 0.07$	$3.42 \pm 0.11$

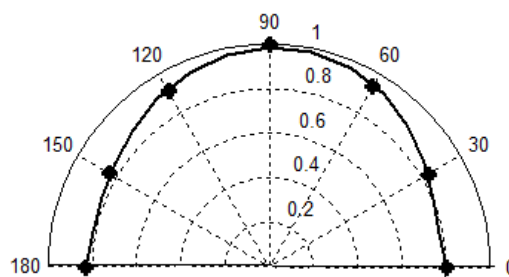
### - Đáp ứng góc của hệ đo

Đáp ứng góc của hệ đo được khảo sát với nguồn  $^{241}\text{Am-Be}$  tại vị trí cách nguồn 150 cm. Các kết quả cho thấy, đáp ứng góc của thiết bị đo trong khoảng từ  $0^\circ$ - $180^\circ$  có độ lệch nhỏ hơn 20% so với góc chiếu tại  $90^\circ$  ( xem bảng 2). Kết quả này thỏa mãn tiêu chuẩn IEC 61005-2014 về độ lệch cho phép đối với đáp ứng góc của các thiết bị đo tương đương liều neutron môi trường.



Bảng 2. Đáp ứng góc của thiết bị đo

Góc (độ)	H*(10) (uSv/h)	Đáp ứng góc tương đối (chuẩn hóa tại 90°)
0°	67.67	0.81
30°	70.04	0.83
60°	78.98	0.94
<b>90°</b>	<b>84.21</b>	<b>1</b>
120°	76.99	0.91
150°	70.42	0.84
180°	70.11	0.83



Hình 8. Đáp ứng góc của hệ đo với nguồn  $^{241}\text{Am-Be}$

**- Khả năng làm việc của thiết bị đo trong các trường neutron giả lập thực tế**

Trong trường bức xạ thực tế, neutron thường có phân bố năng lượng phức tạp. Việc khảo sát thiết bị đo với các trường biến điệu của  $^{241}\text{Am-Be}$  sử dụng các khối làm chậm có đường kính 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, cho phép đánh giá khả năng làm việc của thiết bị đo trong trường thực tế. Các kết quả ghi nhận bởi thiết bị đo sẽ được so sánh với suất liều chuẩn do phòng chuẩn cung cấp và kết quả ghi nhận bởi thiết bị Aloka TPS-451C trên cùng một cấu hình đo. Bảng 3 trình bày các kết quả đo ghi nhận được.

Hầu hết các kết quả đo đều cho sai số nhỏ hơn 12% so với giá trị liều chuẩn. Các kết quả này cũng tương tự như kết quả ghi nhận bởi hệ Aloka TPS-451C do hãng Hitachi (Nhật Bản) chế tạo.

Bảng 3. Kết quả đo đặc tương đương liều neutron môi trường tại một số trường biến điệu của  $^{241}\text{Am-Be}$

Nguồn neutron	khoảng cách (cm)	Suất liều phát (uSv/h)	Suất liều đọc bởi TB đo (uSv/h)	Độ lệch tương đối (%)	Suất liều ghi nhận bởi ALOKA TPS-451C (uSv/h)
$^{241}\text{Am-Be}$ với 20cm PE	80	131.6	144.29	9.6	143.2
	100	88.2	96.61	9.5	95.1
	150	43.4	48.30	11.3	46.9
	200	28.6	31.08	8.7	30.5
$^{241}\text{Am-Be}$ với 25cm PE	80	108.3	112.25	3.6	112.9
	100	71.6	74.91	4.6	75.1
	150	35.6	37.95	6.6	37
	200	23.0	24.74	7.6	23.9
$^{241}\text{Am-Be}$ với 30cm PE	80	83.5	85.91	2.9	84.8
	100	55.0	55.92	1.7	57.2
	150	27.4	29.17	6.4	28.8
	200	17.8	18.74	5.3	19
$^{241}\text{Am-Be}$ với 35cm PE	80	64.8	64.58	0.3	65.3
	100	43.6	43.43	0.4	43.6
	150	21.3	21.91	2.8	22.8
	200	13.8	14.39	4.3	13.9



#### IV. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu trong việc chế tạo thiết bị đo tương đương liều neutron. Hệ đo được chế tạo có kích thước 20.5 x 24.5 cm với trọng lượng nhỏ hơn 6 kg, cấu hình hệ đo được tính toán tối ưu dựa trên các kết quả mô phỏng sử dụng chương trình MCNP5. Thiết bị đo có độ nhạy là 2.84 cps/ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  và có đáp ứng thông lượng tuân theo khuyến cáo của ICRP74. Sự thăng giáng của đáp ứng liều tương đối (chuẩn hóa tại Am-Be) và đáp ứng góc theo năng lượng của bức xạ tới nằm trong phạm vi cho phép của tiêu chuẩn IEC 61005-2014 dành cho các thiết bị đo tương đương liều neutron.

#### V. LỜI CẢM ƠN

Các kết quả trình bày trong báo cáo thuộc khuôn khổ nghiên cứu của ĐTCS 2020, mã số CS/20/04-02 do Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam và Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân tài trợ

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] RJ Tanner et al., “Practical Implications of neutron survey instrument performance”, *Radiation Protection Dosimetry*, HPA-RPD-016, 2016
- [2] IAEA, “Neutron monitoring for radiological protection”, *IAEA Technique report*, 1985
- [3] T. M. Oakes et al., “An accurate and portable solid state neutron rem meter” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 719, 6-12.
- [4] J. Saegusa et al., “Evaluation of energy responses for neutron dose-equivalent meters made in Japan”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 516 (2004), p.p 193–202
- [5] Nesrine Dinar, “*Development of neutron detectors for use in radiation protection*”, Université Paris-Saclay, 2019.
- [6] M.N.T.Nhân, “Tính toán hiệu suất ghi của detector đo neutron Bonner sphere bằng phần mềm mô phỏng MCNP5”, Khóa luận tốt nghiệp, *Đại học Đà Lạt*, 2016.
- [7] ICRP & ICRU, “Operational quantities for External radiation exposure report”, ICRP 74
- [8] Briesmeister “MCNP:A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version5 “, *Manual, Los Alamos, USA*, 1977
- [9] IEC international standard, “Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters”, *IEC-61005 (2014)*

# STUDY ON DESIGN AND CONSTRUCTION OF NEUTRON SURVEY METER

Mai Van Dien\*, Nguyen Duc Tuan, Nguyen Ngoc Quynh  
Vu Trung Tan, Vu Van Tien

*Institute for Nuclear Science and Technology, 179 Hoang Quoc Viet, Ha Noi*

*Email: [maivandien.inst@gmail.com](mailto:maivandien.inst@gmail.com)*

**Abstract:** The paper presents the design of a neutron area monitoring system using the  $^3\text{He}$  proportional counter. In this study, the simulations were performed to evaluate the fluence response of the  $^3\text{He}$  proportional counter with various moderator configurations by using MCNP5 code. The design of the electronic system is also introduced. The self-developed instrument was conducted through experimental measurements in the neutron calibration laboratory of Institute for Nuclear Science and Technology. The instrument has a high sensitivity ( $2.84 \text{ cps}/\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ) and good performance in the workplace. The results of relative  $\text{H}^*(10)$  response and angular response over the whole range of energies meet the requirements of the international standard IEC61005-2014.

**Keywords:** *Neutron survey meter, Ambient dose equivalent, MCNP5*