

Trường chuẩn liều neutron tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân

Lê Ngọc Thiêm^{1*}, Nguyễn Ngọc Quỳnh¹, Trịnh Văn Giáp¹, Nguyễn Tuấn Khải¹

¹*Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân*

Số 179, đường Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, Hà Nội.

Email: Lnthiem@vinatom.gov.vn*

Tóm tắt : Tất cả các máy đo liều neutron đều phải được hiệu chuẩn trước sử dụng để đảm bảo tính tin cậy. Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân (INST) là cơ quan duy nhất ở Việt Nam có phòng chuẩn liều bức xạ nằm trong mạng lưới phòng chuẩn cấp 2 của cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (SSDL - IAEA). Trong nghiên cứu này, phòng chuẩn neutron đã được xây dựng với nguồn chuẩn ²⁴¹Am-Be. Hệ đo phổ Bonner với đầu dò neutron nhiệt ⁶Li(Eu) và các phương pháp khuyến cáo trong tiêu chuẩn ISO 8529 được sử dụng để xác định các đặc tính của trường chuẩn neutron trên phương diện phổ năng lượng neutron và tương đương liều neutron. Thành phần neutron trực tiếp và thành phần neutron tán xạ xác định bởi các phương pháp khớp hàm tổng quát và phương pháp bán thực nghiệm. Kết quả tương đương liều trường neutron trực tiếp phù hợp với nhau trong khoảng 2%.

Từ khóa : trường chuẩn neutron, nguồn ²⁴¹Am-Be, ISO 8529, tách phổ, phương pháp khớp hàm tổng quát, phương pháp bán thực nghiệm

I. MỞ ĐẦU

Một trong những khó khăn lớn nhất của việc thiết lập trường chuẩn neutron đó là xác định phổ năng lượng neutron. Bởi trường neutron thường có dải năng lượng rộng và hệ số chuyển đổi thông lượng-liều neutron biến thiên lớn theo năng lượng neutron. Từ phổ năng lượng neutron, các đại lượng khác (như tương đương liều môi trường ...) có thể xác định được bằng cách sử dụng các hệ số chuyển đổi sang liều đã được công bố.

Trong các phương pháp xác định phổ năng lượng neutron, phương pháp sử dụng hệ đo phổ Bonner được sử dụng rộng rãi hơn cả [1]. Hệ BSS có một số điểm hạn chế như độ phân giải năng lượng kém, phổ năng lượng nhận được từ quá trình tách phổ không phải là nghiệm duy nhất. Tuy nhiên, hệ BSS lại có rất nhiều ưu điểm như : phương pháp duy nhất xác định được phổ trong khoảng năng lượng từ vùng nhiệt đến hàng GeV; độ nhạy cao; tiến hành thí nghiệm đơn giản, không cần hệ điện tử phức tạp; hàm đáp ứng đẳng hướng, rất phù hợp cho việc xác định tương đương liều môi trường; có khả năng loại trừ được photon kể cả trong trường photon mạnh.

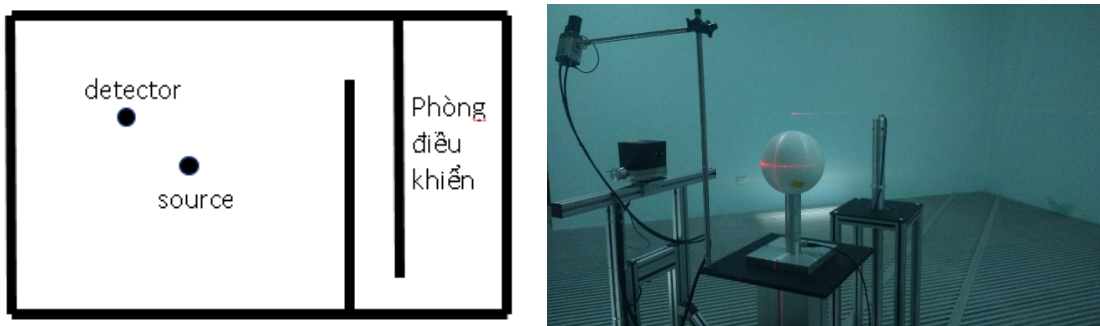
Hệ số chuẩn của thiết bị đo neutron chỉ nên phụ thuộc vào đặc tính của thiết bị đo mà không phụ thuộc vào các phương pháp được sử dụng, cũng như các điều kiện khác nhau của từng cơ sở hiệu chuẩn [2]. Điều kiện này có thể đạt được khi thiết bị đo đặt trong trường neutron tự do, nơi chỉ có các neutron trực tiếp đến từ nguồn mà không có bất kỳ neutron tán xạ nào. Tuy nhiên, tại các cơ sở hiệu chuẩn khác nhau, ảnh hưởng của neutron tán xạ lên số đọc của thiết bị luôn có và khác nhau theo từng cơ sở. Do đó, số đọc của thiết bị cần phải được hiệu chỉnh cho tất cả các yếu tố có thể ảnh hưởng đến thiết bị, bao gồm neutron tán xạ bởi không khí, neutron tán xạ bởi tường, trần và sàn của phòng hiệu chuẩn. Các phương pháp khớp hàm theo khuyến cáo của tiêu chuẩn ISO 8529 được áp dụng cho các số đọc của hệ cầu Bonner để xác định : phần đóng góp bởi neutron trực tiếp và phần đóng góp bởi neutron tán xạ.

II. HỆ THIẾT BỊ ĐO VÀ PHƯƠNG PHÁP

II.1 Hệ thiết bị đo

Phòng chuẩn neutron tại INST có kích thước 700cm x 700cm x 700cm. Nguồn neutron $^{241}\text{Am-Be}$ đặt ở giữa sàn, có hệ thống thủy lực để đẩy nguồn lên tới vị trí trung tâm của phòng chuẩn. Nguồn neutron có cường độ $1,299.10^7$ neutron/s với sai số 2,9% ($k=2$) vào ngày 23/01/2015, được chứng nhận bởi phòng thí nghiệm NIST (National Institute of Standards and Technology), Hoa Kỳ.

Trong nghiên cứu này, quá trình đo phổ neutron sử dụng hệ cầu Bonner do hãng Ludlum chế tạo. Hệ đo bao gồm 6 quả cầu polyethylene (đường kính 5,1; 7,6; 12,7; 20,3; 25,4; 30,5 cm) và detector neutron nhiệt $^6\text{Li(Eu)}$ hình trụ kích thước 4mm x 4mm gắn liền với ống nhân quang [3]. Tín hiệu từ detector được nối với bộ đếm xung Ludlum model 2200, có thể điều khiển bằng máy tính ở ngoài phòng điều khiển. Quá trình đo đặc được thực hiện trên đường chéo của phòng chuẩn nhằm tận dụng tối đa không gian chiếu và làm giảm ảnh hưởng của neutron tán xạ [4] (xem hình 1).



Hình 1 : sơ đồ bố trí hệ thiết bị đo trong phòng chuẩn

II.2 Quá trình đo đặc

Hệ cầu Bonner cùng detector $^6\text{Li(Eu)}$ được đo tại các khoảng cách cách nguồn từ 60 cm đến 250 cm, bước đo 10 cm. Tâm của detector được điều chỉnh sao cho có cùng độ cao với nguồn neutron khi chiếu.

II.3 Phương pháp khớp hàm

a. Phương pháp khớp hàm tổng quát

Trong phương pháp này, số đọc của detector trong trường neutron tổng cộng phụ thuộc khoảng cách được biểu diễn bằng phương trình :

$$M_T(l) = \frac{k}{l^2} \cdot \left(\frac{1 + \delta \cdot \left(\frac{r_D}{2l}\right)^2}{e^{\Sigma \cdot l}} + A'l + sl^2 \right)$$

(1)

với :

- $M_T(l)$: số đọc tổng cộng của detector
- l : khoảng cách giữa nguồn và tâm detector
- k : hằng số đặc trưng cho nguồn-detector
- $\delta = 0,5$: hằng số theo khuyến cáo
- r_D : bán kính của detector
- $\Sigma = 890.10^{-7} \text{ cm}^{-1}$: hệ số suy giảm tuyến tính trung bình của neutron từ nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ trong không khí

- A' : hệ số hiệu chỉnh sự tán xạ neutron trong không khí đến detector và có thể cả các thành phần tán xạ khác tỉ lệ với $\frac{1}{l}$
- s : hệ số hiệu chỉnh sự tán xạ neutron phòng vào số đọc của hệ đo

Số đọc tổng cộng của detector phụ thuộc vào khoảng cách sẽ được khớp theo phương trình (1) với các tham số k , A' và s .

b. Phương pháp bán thực nghiệm

Trong phương pháp này, thành phần neutron tán xạ có thể suy ra từ độ lệch của số đọc của detector so với quy luật giảm theo nghịch đảo bình phương khoảng cách. Theo đó, số đọc tổng cộng của detector được biểu diễn bằng phương trình :

$$M_T(l) = \frac{k}{l^2} \cdot F_1(l) \cdot (1 + Al) \cdot (1 + Sl^2) \quad (2)$$

Với :

- A : hệ số hiệu chỉnh sự tán xạ neutron trong không khí vào số đọc của hệ đo
- S : hệ số hiệu chỉnh sự tán xạ neutron từ tường, sàn và trần vào số đọc của hệ đo

Số đọc tổng cộng phụ thuộc vào khoảng cách sẽ được khớp theo phương trình (2) với các tham số k , A , S .

II.4 Phương pháp tách phổ

Để xác định phổ neutron từ các số đọc, chương trình tách phổ MAXED [5] được sử dụng. Chương trình này áp dụng nguyên lý entropy cực đại để tính phổ năng lượng neutron. Hàm đáp ứng của hệ cầu Bonner và detector ${}^6\text{Li(Eu)}$ được lấy trong tài liệu của IAEA [6]. Phổ năng lượng neutron dự đoán ban đầu được tính toán bằng chương trình mô phỏng MCNP [7].

III. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

III.1 Kết quả khớp hàm

Tốc độ đếm của các quả cầu Bonner được khớp theo hai phương pháp đã trình bày ở trên. Bảng 1 trình bày các kết quả nhận được.

Bảng 1: Kết quả khớp hàm theo phương pháp khớp hàm tổng quát và phương pháp bán thực nghiệm đối với từng quả cầu Bonner

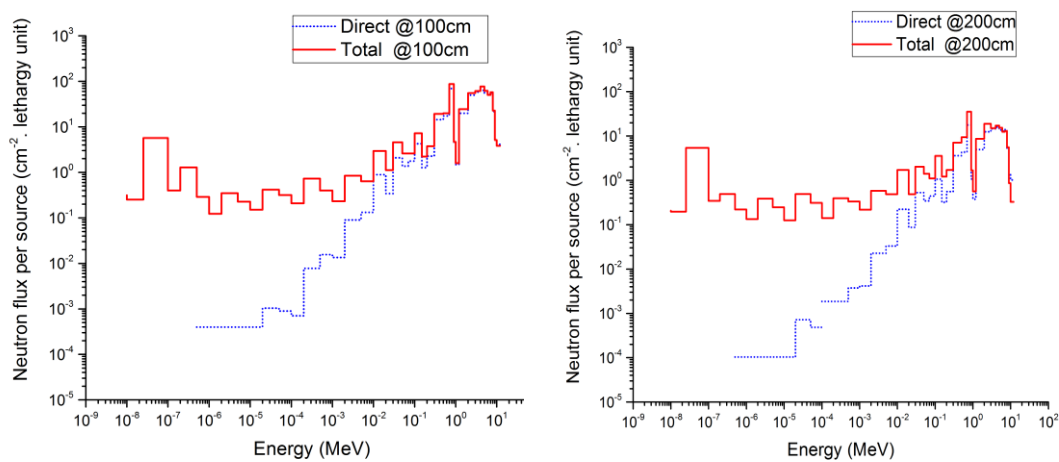
Quả cầu Bonner	Phương pháp khớp hàm tổng quát			Phương pháp bán thực nghiệm		
	k	$A' \cdot (10^4)$	$s \cdot (10^5)$	k	$A \cdot (10^4)$	$S \cdot (10^5)$
Không đặt cầu Bonner	6952	-14,20	22,83	6486	1,7	23,27
2 inch	13789	-13,80	18,21	12847	0,93	18,50
3 inch	43384	6,64	7,75	45224	-0,89	7,90
5 inch	138172	11,20	2,75	126709	34,6	1,20
8 inch	202669	4,23	1,29	198503	8,49	0,95
10 inch	178597	6,98	0,81	176224	9,45	0,58
12 inch	147722	4,74	0,62	146854	5,34	0,51

Các hệ số đặc trưng nguồn-detector, k , giữa hai phương pháp chênh lệch nhau từ 1,5% đến 8%. Sai khác lớn nhất đối với quả cầu 5 inch. Điều này cần được quan tâm trong quá trình tách phổ.

Giá trị âm của các hệ số A' , trong phương pháp khớp hàm tổng quát, và các hệ số A , trong phương pháp bán thực nghiệm, cho đến thời điểm bài viết này, vẫn chưa được giải thích.

II.2 Kết quả tách phổ neutron

Từ kết quả ở trên, phổ neutron theo các thành phần tại từng điểm đo được xác định. Phổ neutron tổng cộng và trực tiếp tại khoảng cách 100 cm và 200 cm được biểu diễn ở Hình 2. Trong phổ thông lượng neutron tổng cộng, thấy xuất hiện đỉnh phổ tại các giá trị năng lượng thấp. Các đỉnh này hình thành do neutron sau khi tương tác với các vật liệu trong phòng chuẩn, năng lượng bị giảm, mới đến detector và được ghi nhận.



Hình 2 : Phổ thông lượng neutron tại khoảng cách 100 cm và 200 cm

II.3 Tương đương liều môi trường neutron

Từ phổ neutron xác định ở trên, hệ số chuyển đổi thông lượng-liều trong ICRP-74[8] được sử dụng để tính toán suất liều neutron theo công thức (3).

$$H^*(10) = \sum_E \Phi_E \cdot h_E^* \quad (3)$$

Tương đương liều môi trường của thành phần neutron trực tiếp tại một số khoảng cách được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2 : Suất liều neutron trực tiếp tại một số khoảng cách

Khoảng cách (cm)	Suất liều neutron trực tiếp ($\mu\text{Sv/h}$)		
	Phương pháp khớp hàm tổng quát	Phương pháp bán thực nghiệm	Trường neutron tự do
100	147	149	145
150	65,4	66,1	64,6
200	36,8	37,2	36,3
250	23,5	23,8	23,2

Kết quả cho thấy, tại tất cả các khoảng cách đo, suất liều neutron xác định bằng hai phương pháp sai khác nhau trong khoảng 2 % và phù hợp với giá trị tính theo lý thuyết trong trường neutron tự do trong khoảng 5% . Điều này cho thấy, phương pháp khớp hàm

sử dụng trong nghiên cứu này cho kết quả phù hợp và có thể sử dụng trong quá trình chuẩn thiết bị đo neutron.

III. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phổ năng lượng neutron tại từng vị trí được tách biệt theo các thành phần (tổng cộng, trực tiếp và tán xạ). Do đó, suất tương đương liều neutron theo các thành phần khác nhau có thể được xác định. Thành phần neutron trực tiếp là quan trọng nhất trong quá trình chuẩn thiết bị. Vì vậy, suất liều của trường neutron trực tiếp của nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ tại các vị trí khác nhau trong phòng chuẩn neutron được xác định và so sánh bằng các phương pháp khác nhau. Khi áp dụng hai phương pháp được khuyến cáo trong tiêu chuẩn ISO 8529, suất liều của trường neutron trực tiếp đo được phù hợp với nhau trong khoảng sai số 2%. Từ kết quả của nghiên cứu này, các máy đo liều/suất liều neutron hoàn toàn có thể được hiệu chuẩn tại phòng chuẩn neutron của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. D.J. Thomas, A.V. Alevra. “Bonner sphere spectrometers – a critical review”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 476 12-20, 2002
- [2]. International Standard, ISO 8529, “Reference neutron radiations”, 2001
- [3]. Ludlum measurements Inc., Neutron detector – Model 42-5 specifications
- [4]. Haider Meriaty, “Characterisation of the neutron field at the ANSTO Instrument Calibration Facility”, ANSTO report No. E-773, 2009
- [5]. M.Reginato and P. Goldhagen, "MAXED, A Computer Code For Maximum Entropy Deconvolution Of Multisphere Neutron Spectrometer Data", Health Phys. 77, 579, 1999
- [6]. IAEA, “Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes”, Technical Reports Series No.403, 2001
- [7]. X-5 Monte Carlo Team, “MCNP – A General N-Particle Transport Code, Version 5”, 2003
- [8]. ICRP, “Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4), 1996

Neutron Calibration Field in Institute for Nuclear Science and Technology

Abstract : Neutron measuring devices must be calibrated before use to ensure the reliability. Institute for Nuclear Science and Technology (INST), the unique facility in Vietnam, has a standard dosimetry laboratory, which is a member of the network of secondary standards dosimetry laboratories (SSDL-IAEA). In this study, the neutron calibration room is established with a standard source $^{241}\text{Am-Be}$. Bonner sphere spectrometers with a thermal neutron detector $^6\text{Li(Eu)}$ and the fitting method recommended by ISO 8529 are used to determine the neutron reference field in terms of neutron spectrum and neutron ambient dose equivalent. The direct and scatter neutron component are determined by generalized-fit method and semi-empirical method. As results, ambient dose equivalent of direct neutron field were consistent to within 2%.

Keywords : *neutron reference field, ²⁴¹Am-Be source, ISO 8529, unfolding, generalized-fit method, semi-empirical method*