TRƯỜNG CHUẨN LIỀU NEUTRON CỦA NGUỒN $^{239}Pu-Be$: THÔNG SỐ ĐO LIỀU CỦA THÀNH PHẦN TỔNG CỘNG

Nguyễn Minh Công[1], Đinh Tiến Hùng[1], Cao Văn Hiệp[1],
Nguyễn Thị Thoa[1], Nguyễn Ngọc Quỳnh[2], Phạm Đức Khuê[2], Lê Ngọc Thiệm[2*]

Tóm tắt: *Nghiên cứu này trình bày quá trình xác định các thông số đo liều của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn liều neutron của nguồn $^{239}Pu-Be$ tại Viện Hóa học Môi trường Quân sự (VHHMTQS, thuộc Binh chủng Hóa học – Bộ Quốc phòng). Các thông số đo liều của thành phần tổng cộng được đánh giá thông qua đo đạc sử dụng hệ phổ kế cầu Bonner và phần mềm tách phổ neutron thương mại quốc tế FRUIT. Cụ thể, các đại lượng sau đây được đo đạc, tính toán: suất thông lượng neutron toàn phổ (Φ_{tot}), suất liều neutron môi trường toàn phổ ($\dot{H}^*_{tot}$), năng lượng neutron trung bình toàn phổ thông lượng ($\bar{E}_{tot}$), năng lượng neutron trung bình toàn phổ liều môi trường ($\tilde{E}_{tot}$), hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang liều môi trường ($\bar{h}^*$). Kết quả cho thấy, trường chuẩn liều neutron của nguồn $^{239}Pu-Be$ (tại VHHMTQS) có thể được sử dụng để hiệu chuẩn các thiết bị đo liều neutron tại dải suất liều môi trường trung bình ($\dot{H}^*_{tot}$ < 50 μSv/h).*

Từ khóa: Nguồn $^{239}PuBe$; Thông số đo liều; Liều môi trường; Thông lượng; Thành phần tổng cộng.

1. GIỚI THIỆU

Các trường chuẩn liều neutron được thiết lập với mục đích hiệu chuẩn các máy đo liều neutron đã và đang được nghiên cứu, phát triển bởi nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới [1-6] và tại Việt Nam [7-10]. Trong các nghiên cứu này, hệ phổ kế cầu Bonner (BSS) [11] và phần mềm tách phổ neutron thương mại FRUIT [12] được áp dụng bởi nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới. Trong một trường chuẩn liều neutron bất kỳ thường bao gồm ba thành phần cơ bản đóng góp vào số đọc của hệ đo, thiết bị đo: (i) thành phần trực tiếp, là thành phần khi đi đến đầu dò mà không tương tác với bất kỳ đối tượng nào khác (đây là thành phần bản chất nguyên khai của nguồn phóng xạ, thành phần này gần như không thể tồn tại độc lập trong thực tế, thường được tính toán sau quá trình đo đạc thực nghiệm); (ii) thành phần tán xạ, là thành phần khi đi đến đầu dò đã tham gia tương tác với các vật chất xung quanh (thành phần này cũng thường được tính toán sau quá trình đo đạc thực nghiệm); và (iii) thành phần tổng cộng của trường neutron (là tổng của hai thành phần kể trên, thường được đo đạc trực tiếp trong quá trình thực nghiệm).

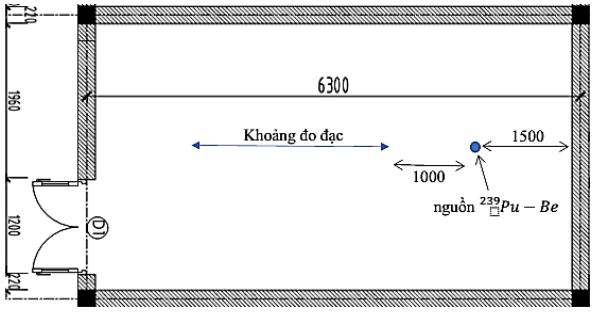
Trong nghiên cứu này, thành phần tổng cộng của trường chuẩn liều neutron sử dụng nguồn $^{239}Pu-Be$ được xác định các đặc trưng đo liều tại năm khoảng cách (cách nguồn neutron từ 1000 mm đến 3000 mm, với bước chạy 500 mm), cụ thể sau: suất thông lượng neutron toàn phổ (Φ_{tot}), suất liều neutron môi trường toàn phổ ($\dot{H}^*_{tot}$), năng lượng neutron trung bình toàn phổ thông lượng $\bar{E}_{tot}$, năng lượng neutron trung bình toàn phổ liều môi trường $\tilde{E}_{tot}$, hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang liều môi trường ($\bar{h}^*$). Các thông số đo liều này được xác định dựa trên đo đạc sử dụng hệ BSS và phần mềm tách phổ neutron FRUIT. Trường chuẩn liều neutron tại VHHMTQS được thiết lập nhằm đáp ứng nhu cầu hiệu chuẩn các thiết bị đo neutron tại Việt Nam, đây là cơ quan thứ hai tại Việt Nam thiết lập thành công trường chuẩn liều neutron và là trường chuẩn neutron duy nhất tại Việt Nam (tính đến nay) sử dụng nguồn $^{239}Pu-Be$.

2. THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Phòng chuẩn và nguồn neutron $^{239}Pu-Be$

Phòng chuẩn liều neutron của VHHMTQS được lắp đặt nguồn $^{239}Pu-Be$ có hiệu suất phát neutron là $4.6\text{x}10^6\ s^{-1}$ vào năm 1981 (với độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn là 8%, độ tin cậy

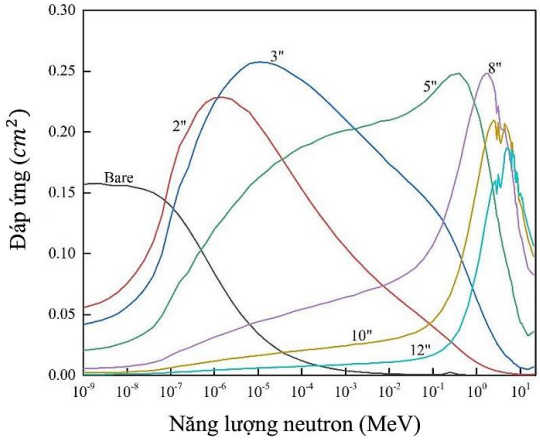
68%), với chu kỳ bán rã 2.41x10^4 năm, hiệu suất phát neutron của nguồn được xem như không thay đổi trong thời gian sử dụng. Nguồn neutron $^{239}Pu - Be$ có dạng hình trụ với đường kính 29 mm và chiều cao 33 mm được lắp đặt tại độ cao 1500 mm, cách bức tường phía sau 1500 mm và cách đều hai bức tường bên cạnh. Khoảng cách khảo sát các thông số đo liều của trường chuẩn neutron nằm trong khoảng cách nguồn từ 1000 mm đến 3000 mm. Kích thước (theo mm) của phòng lắp đặt nguồn được chỉ ra trên hình 1. Phòng lắp đặt nguồn neutron có một tầng với bề dày của các bức tường xung quanh là 220 mm được xây bằng gạch đặc (đảm bảo an toàn đối với nhân viên bức xạ làm việc xung quanh, suất liều môi trường cao nhất bên ngoài phòng lắp đặt nguồn có giá trị $\dot{H}^* < 5\ \mu Sv.h^{-1}$).



Hình 1. *Mặt chiếu bằng của phòng chuẩn liều neutron tại Viện Hóa học Môi trường Quân sự, kích thước ghi trên hình vẽ có đơn vị là mm.*

2.2. Hệ phổ kế cầu Bonner

Hệ phổ kế BSS được trang bị tại VHHMTQS bao gồm một đầu dò neutron nhiệt $^6LiI(Eu)$ (ký hiệu là "bare" trong hình 2) và sáu quả cầu làm chậm sử dụng vật liệu polyethylene mật độ cao (khối lượng riêng, $\sigma = 1\ g.cm^{-3}$) với đường kính lần lượt là 2, 3, 5, 8, 10, và 12 inch. Như một yêu cầu của quá trình hoạt động, đáp ứng thông lượng theo năng lượng của các quả cầu BSS trên một đơn vị thông lượng neutron tới (thường được gọi là hàm đáp ứng thông lượng neutron của quả cầu BSS, có đơn vị là cm^2) phải được xác định. Trong nghiên cứu này, hàm đáp ứng thông lượng neutron của quả cầu BSS được xác định bằng mô phỏng MCNP6 [13] và được biểu diễn trong hình 2. Độ tin cậy của hàm đáp ứng thông lượng neutron đối với các quả cầu BSS được khẳng định trong một nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả [10] thông qua việc so sánh giá trị mô phỏng với các số liệu công bố bởi Cơ quan Năng lượng Nguyên tử quốc tế (IAEA) [14].



Hình 2. *Kết quả mô phỏng đáp ứng thông lượng neutron (cm^2) của các quả cầu BSS (đầu dò neutron nhiệt $^6LiI(Eu)$ (ký hiệu là "bare"), các quả cầu BSS được ký hiệu theo kích thước đường kính tính theo inch của chúng) [14].*

2.3. Tách phổ neutron

Trong nghiên cứu này, phổ thông lượng neutron được xác định tại năm khoảng cách khác nhau (cách nguồn từ 100 cm đến 300 cm với bước chạy 50 cm). Phường trình (1) mô tả mối liên hệ giữa số đọc của quả cầu BSS thứ i (m_i) với phổ thông lượng neutron đi tới (φ_i) và đáp ứng thông lượng của quả cầu BSS đó trong vùng năng lượng thứ j (R_{ij}, j được lựa chọn là 120 vùng trong khoảng năng lượng từ 10^{-9} đến 20 MeV - dựa trên các vùng quy định trong ICRP 116 [16]). Trong đó, m_i có được thông qua thí nghiệm, đơn vị thường là số đếm trên giây (cps), giá trị của m_i được đo đạc trong khoảng thời gian thích hợp sao cho sai số thống kê của chúng đạt dưới 1%; R_{ij} có được từ mô phỏng hoặc từ các số liệu công bố trong các tài liệu tham khảo (trong nghiên cứu này, đây là giá trị mô tả trong hình 2); φ_i là phổ thông lượng neutron, sự phụ thuộc của thông lượng neutron theo năng lượng neutron tới (E_j) cần phải tìm (dạng viết đầy đủ là: $\varphi_i(E_j)$). Trong nghiên cứu này, $\varphi_i(E_j)$ được xác định bằng phần mềm tách phổ thương mại quốc tế FRUIT.

$$\sum_{i=1}^{n} \varphi_i . R_{ij} = m_i \quad (1)$$

Phần mềm FRUIT được phát triển bởi Bedogni R., có giao diện thân thiện với người sử dụng. Phương pháp tách phổ này dựa trên mối quan hệ tuyến tính, theo phương trình (2), giữa phổ thông lượng neutron toàn dải và bốn phổ khác tại: khoảng nhiệt (th), khoảng trên nhiệt (epi), khoảng nhanh (f), và khoảng năng lượng cao (h). Trong đó: $\varphi_{th}(E_j)$ là phổ thông lượng neutron nhiệt (thành phần đóng góp là: P_{th}) có phân bố Maxell; $\varphi_{epi}(E_j)$, $\varphi_f(E_j)$, $\varphi_h(E_j)$ là phổ thông lượng neutron trên nhiệt, nhanh và cao với các thành phần đóng góp lần lượt là P_{epi}, P_f, P_h. Trong nghiên cứu này, $P_h = 0$, do đó, phương trình (2) có thể được viết thành phương trình (3) với chỉ số "c" mô tả cho các thành phần tương ứng còn lại (th, epi, f).

$$\varphi_i(E_j) = P_{th} . \varphi_{th}(E_j) + P_{epi} . \varphi_{epi}(E_j) + P_f . \varphi_f(E_j) + P_h . \varphi_h(E_j) \quad (2)$$

$$\varphi_i(E_j) = \sum_{c=th}^{f} P_c \times \varphi_c(E_j) \quad (3)$$

Tại mỗi khoảng cách, tập hợp bảy số đọc m_i (một giá trị từ đầu dò "bare" và sáu giá trị từ các quả cầu BSS) cùng với bảy hàm đáp ứng thông lượng tương ứng $R_{ij}(E_j)$ (xem hình 2) được sử dụng làm số liệu đầu vào cho phần mềm tách phổ FRUIT để xác định phổ thông lượng neutron tới $\varphi_i(E_j)$ (có đơn vị là: $cm^{-2}.s^{-1}$). Kết quả tách phổ bởi phần mềm FRUIT cho ta giá trị phân bố thông lượng neutron $\varphi_i(E_j)$ theo năng lượng tới E_j (từ nhiệt đến 12 MeV, tùy chọn của người sử dụng), với định dạng $d\varphi/dE$ (đơn vị là: $cm^{-2}.s^{-1}.MeV^{-1}$).

2.4. Tính toán các thông số đo liều của trường chuẩn neutron

Từ giá trị $\varphi_i(E_j)$ xác định được từ phần mềm tách phổ FRUIT, các đại lượng đo liều khác của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutron có thể được xác định theo khuyến cáo của tiêu chuẩn ISO 8529-1 [15], cụ thể như sau:

1) Tổng suất thông lượng neutron trên toàn dải phổ thông lượng neutron của thành phần tổng cộng (Φ_{tot}, đơn vị là: $cm^{-2}.s^{-1}$) được xác định theo công thức (4).

$$\Phi_{tot} = \sum_{c=th}^{f} \varphi_c(E_j) \quad (4)$$

2) Suất liều môi trường gây bởi bức xạ neutron của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutron ($\dot{H}^*$, đơn vị có thể quy đổi về $\mu Sv.h^{-1}$) được tính toán theo công thức (5).

Trong đó, h_c^* là hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang liều môi trường neutron, hệ số này được lấy từ tài liệu tham khảo của Cơ quan An toàn bức xạ quốc tế (ICRP) [16].

$$\dot{H}_{tot}^* = \sum_{c=th}^{f} \dot{H}_c^* = \sum_{c=th}^{f} \varphi_c(E_j) \,.\, h_c^*(E_j) \tag{5}$$

3) Năng lượng neutron trung bình trên toàn phổ thông lượng neutron của thành phần neutron tổng cộng trong trường chuẩn ($\bar{E}_{tot}$, đơn vị là: MeV) có thể được tính toán theo công thức (6).

$$\bar{E}_{tot} = \frac{\sum_{j=1}^{n}[\sum_{c=th}^{f} \varphi_c(E_j).E_j]}{\sum_{c=th}^{f} \varphi_c(E_j)} \tag{6}$$

4) Năng lượng neutron trung bình trên toàn phổ liều môi trường của thành phần neutron tổng cộng trong trường chuẩn ($\tilde{E}_{tot}$, đơn vị là: MeV) có thể được tính toán theo công thức (7).

$$\tilde{E}_{tot} = \frac{\sum_{j=1}^{n}\{\sum_{c=th}^{f}[\varphi_c(E_j).h_c^*(E_j)].E_j\}}{\sum_{c=th}^{f} \varphi_c(E_j) \,.\, h_c^*(E_j)} \tag{7}$$

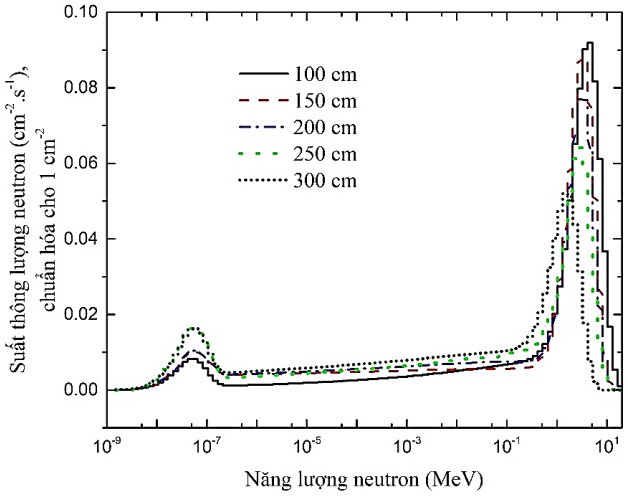
5) Hệ số chuyển đổi từ thông lượng neutron sang liều môi trường của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutron ($\bar{h}^*$, đơn vị có thể chuyển đổi sang $pSv.cm^2$) có thể được tính theo công thức (8).

$$\bar{h}^* = \frac{\dot{H}_{tot}^*}{\Phi_{tot}} \tag{8}$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phổ thông lượng neutron

Hình 3 mô tả phân bố suất thông lượng neutron theo năng lượng (thường gọi là phổ thông lượng neutron) tại các khoảng cách khác nhau trong trường chuẩn neutron của nguồn $^{239}Pu - Be$. Từ hình 3 ta thấy: Phổ thông lượng neutron tại khoảng cách gần nguồn có đỉnh năng lượng cao lớn hơn (do suy giảm theo khoảng cách) và đỉnh năng lượng nhiệt thấp hơn (do nhiệt hóa được ít hơn) so với phổ tại vị trí xa nguồn, phần năng lượng trung bình có xu thế không thay đổi nhiều giữa các khoảng cách khác nhau trong phòng chuẩn.



Hình 3. *Phân bố suất thông lượng neutron theo năng lượng, tại các khoảng cách khác nhau trong trường chuẩn neutron của nguồn* $^{239}Pu - Be$.

3.2. Thông số đo liều của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutron

Các thông số đo liều của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutron của nguồn $^{239}Pu - Be$ được tính toán và cho trong bảng 1. Từ kết quả này cho thấy: Năng lượng neutron trung bình $\bar{E}_{tot}$ giảm từ 2.94 MeV (tại 1000 mm) xuống 0.65 MeV (tại 3000 mm); $\tilde{E}_{tot}$ giảm từ 4.06 MeV (tại 1000 mm) xuống 1.50 MeV (tại 3000 mm) làm cho hệ số $\bar{h}^*$ giảm từ 302 $pSv.cm^2$ (tại 1000 mm) xuống 173 $pSv.cm^2$ (tại 3000 mm). Trường chuẩn liều neutron này có thể dùng để hiệu chuẩn các thiết bị đo $\dot{H}^*_{tot}$ trong khoảng dưới 50 $\mu Sv.h^{-1}$.

Dựa trên nguyên lý dẫn truyền sai số, độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn (với độ tin cậy 68%) của Φ_{tot} và $\dot{H}^*_{tot}$ được ước tính trong khoảng 20% với sự đóng góp từ các nguồn sai số sau: hiệu suất phát neutron của nguồn $^{239}Pu - Be$ (8%, từ chứng chỉ nguồn), sai số thống kê của quá trình đo đạc (1-2%), sai số thống kê của quá trình tách phổ (3-5%, từ kết quả FRUIT), sai số của hệ số chuyển đổi từ thông lượng neutron sang liều môi trường (4%, tài liệu tham khảo [14]), và một số nguồn khác (5%). Với dải liều $\dot{H}^*_{tot}$ trong khoảng trung bình (< 50 $\mu Sv.h^{-1}$) thì độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn trong khoảng 20% là có thể chấp nhận được cho mục đích đánh giá an toàn bức xạ.

Bảng 1. *Thông số đo liều của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn neutroncủa nguồn $^{239}Pu - Be$ cùng với sai số thống kê tương ứng (tính toán từ phần mềm FRUIT).*

Khoảng cách (mm)	$\boldsymbol{\Phi_{tot}}$ ($cm^{-2}.s^{-1}$)	$\boldsymbol{\dot{H}^*_{tot}}$ ($\mu Sv.h^{-1}$)	$\boldsymbol{\bar{E}_{tot}}$ (MeV)	$\boldsymbol{\tilde{E}_{tot}}$ (MeV)	$\boldsymbol{\bar{h}^*}$ ($pSv.cm^2$)
1000	41.3 ± 0.9	44.9 ± 1.4	2.94	4.06	302 ± 6
1500	23.7 ± 0.3	21.8 ± 0.3	1.97	3.16	256 ± 2
2000	18.0 ± 0.2	15.1 ± 0.3	1.70	2.98	233 ± 5
2500	15.0 ± 0.2	11.2 ± 0.2	1.27	2.48	208 ± 3
3000	11.8 ± 0.1	7.4 ± 0.2	0.65	1.50	173 ± 3

Ghi chú: Φ_{tot}: Suất thông lượng neutron toàn phổ
$\dot{H}^*_{tot}$: Suất liều neutron môi trường toàn phổ
$\bar{E}_{tot}$: Năng lượng neutron trung bình toàn phổ thông lượng
$\tilde{E}_{tot}$: Năng lượng neutron trung bình toàn phổ liều môi trường
$\bar{h}^*$: Hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang liều môi trường

4. KẾT LUẬN

Các thông số đo liều của thành phần tổng cộng trong trường chuẩn liều neutron của nguồn $^{239}Pu - Be$ (tại Viện Hóa học Môi trường Quân sự) đã được xác định dựa trên đo đạc bởi hệ phổ kế cầu Bonner và phần mềm tách phổ neutron FRUIT. Kết quả xác định liều môi trường đối với bức xạ neutron nằm trong khoảng nhỏ hơn 50 $\mu Sv.h^{-1}$ (với độ không đảm bảo đo tiêu chuẩn là 20%) cho thấy trường chuẩn liều neutron này có thể dùng cho mục đích hiệu chuẩn và đánh giá an toàn bức xạ. Giá trị năng lượng trung bình theo phổ thông lượng và theo phổ liều môi trường trong trường chuẩn neutron này có giá trị biến thiên dưới 2.94 MeV và dưới 4.06 MeV (tương ứng với hệ số chuyển đổi từ thông lượng sang liều môi trường trong khoảng từ 173 đến 302 $pSv.cm^2$, trong khoảng cách tới nguồn neutron từ 1000 mm đến 3000 mm). Cần thiết phải có biện pháp làm tăng giá trị suất liều môi trường của trường chuẩn neutron này để công tác hiệu chuẩn thiết bị được thuận lợi và có thể được thực hiện trong dải rộng hơn.

Lời cảm ơn: *Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Quốc Phòng với mã số đề tài là: 2308/2019/HĐKHCN. Đề tài được thực hiện tại Viện Hóa học Môi trường Quân sự dưới sự chủ quản của Binh chủng Hóa học.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bedogni, R., Bortot, D., Buonomo, B., Esposito, A., Gömez-Ros, J.M., Introini, M.V., Mazzitelli, G., Moraleda, M., Pola, A., Romero, A.M; *"A single-exposure, multidetector neutron spectrometer for workplace monitoring"*; Radiation Protection and Dosimetry **Vol.170**, 326–330 (2016).

[2]. Bedogni, R., Domingo, C., Roberts, N., Thomas, D.J., Chiti, M., Esposito, A., Garcia, M.J., Gentile, A., Liu, Z.Z., De-San-Pedro, M; *"Investigation of the neutron spectrum of Americium–Beryllium sources by Bonner sphere spectrometry"*; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **Vol.763**, 547–562 (2014).

[3]. Vega-Carrillo, H.R., Gallego, E., Lorente, A., Isabel, P.R., Méndez, R; *"Neutron features at the UPM neutronics hall"*; Applied Radiation and Isotopes, **Vol.70**, 1603–1607 (2012).

[4]. Park, H., Kim, J., Choi, K.O; *"Neutron calibration facility with radioactive neutron sources at KRISS"*. Radiation Protection and Dosimetry, **Vol.126**, 159-162 (2007).

[5]. Liamsuwan, T., Channuie, J., Wonglee, S., Kowatari, M., Nishino, S; *"Characterization of an in-house developed multi-cylindrical moderator's neutron spectrometer*"; Radiation Protection and Dosimetry, **Vol.180** (1-4), 94-97 (2018)

[6]. Thomas, D.J., Alevra, A.V; *"Bonner sphere spectrometers -- Critical review"*; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **Vol.476**,12-20 (2002).

[7]. Le, T.N, Tran, H.N., Nguyen, K.T., Trinh, G.V.; *"Neutron calibration field of a bare ^{252}Cf source in Vietnam"*; Nuclear Engineering and Technology, **Vol.49**, 277–284 (2017).

[8]. Le, T.N, Tran, H.N., Nguyen, Q.N., Trinh, G.V., Nguyen, K.T.; *"Characterization of a neutron calibration field with $^{241}Am-Be$ source using Bonner sphere spectrometers"*; Applied Radiation and Isotopes, **Vol.133**, 68–74 (2018).

[9]. Le, T.N, Hoang, S.M.T., Nguyen, Q.N., Thiansin L., Tran, H.N., "*Simulated workplace neutron fields of $^{241}Am-Be$ source moderated by polyethylene spheres*"; Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry; **Vol.321**, 313–321 (2019).

[10]. Le, T.N,; *"Establishment of Neutron Reference Fields in Vietnam: A Review"*; Philippine Journal of Science; **Vol.149** (3-a), 947-954 (2020).

[11]. Cruzate, J.A., Carelli, J., Gregori, B.; *"Bonner sphere spectrometer"*, In: Workshop on Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry: a Comparison of Approaches. Bologna, Italia, 8–10 October (2007).

[12]. Bedogni, R., C. Domingo, A. Esposito, and F. Fernéndez; *"FRUIT: An operational tool for multisphere neutron spectrometry in workplaces"*; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, **Vol.580** (3), 1301–1309 (2007).

[13]. C.J. Werner (ed.), MCNP User's Manual, Code Version 6.2 (Los Alamos National Laboratory, USA (2017)

[14]. IAEA Technical Reports Series No.403; *"Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes – Supplement to technical reports series No. 318"*; International Atomic Energy Agency, Technical Report 403 (2001).

[15]. ISO 8529-1:2001 (E); *"Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production"*; International Standard Organization, Technical Report (2001).

[16]. ICRP Publication 116; *"Conversion Coefficients for Radiological Protection for External Radiation Exposures"*; Annal of ICRP 40 (2–5) (2010).

ABSTRACT

NEUTRON CALIBRATION FIELD OF $^{239}Pu-Be$ SOURCE: DOSIMETRIC QUANTITIES OF THE TOTAL COMPONENT

This paper presents the determination of the dosimetric parameters of the total component in the neutron calibration field using a $^{239}Pu-Be$ source established at the Military Institute of Chemical and Environmental Engineering, MICEE (belonging to the High Command of Chemistry – Ministry of National Defense). The dosimetric parameters of the total component are evaluated through measurements using the Bonner sphere spectrometer (BSS) and the international commercial neutron unfolding code (FRUIT). Specifically, the following quantities are measured and calculated: total neutron fluence rates Φ_{tot}, total neutron ambient dose rates $\dot{H}^*_{tot}$, neutron fluence-averaged energies $\bar{E}_{tot}$, neutron ambient dose-averaged energies $\tilde{E}_{tot}$, neutron fluence-to-ambient dose conversion coefficients $\bar{h}^*$. The experimental results show that the neutron calibration field of $^{239}Pu-Be$ (at MICEE) can be used to calibrate the neutron ambient dose rate meters within the range $\dot{H}^*_{tot}$ < 50 µSv/h.

Keywords: $^{239}PuBe$ source; Dosimetric quantities; Ambient dose; Fluence; Total component.

Nhận bài ngày 03 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 28 tháng 6 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 29 tháng 7 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Hóa học Môi trường Quân Sự, An Khánh, Hoài Đức, Hà Nội;
[2]Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, Cầu Giấy, Hà Nội.
*Email: lengocthiem@vinatom.gov.vn.