

Hiệu chỉnh hình học đối với các thiết bị đo neutron hình trụ với nguồn Am-Be

Nguyễn Ngọc Quỳnh*, Bùi Đức Kỳ, Hồ Quang Tuấn, Dương Văn Triệu, Bùi Thị Ánh Dương, Trần Thanh Hà

*Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân
179, Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam
Email*: nnquynh.inst@gmail.com*

Tóm tắt: Trong phép hiệu chuẩn thiết bị đo neutron, hiệu chỉnh hình học do kích thước của thiết bị đo neutron cần phải được thực hiện. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây đều chỉ đưa ra hệ số hiệu chỉnh hình học cho các thiết bị đo neutron có chất làm chậm hình cầu. Trong nghiên cứu này, hệ số hiệu chỉnh hình học sẽ được tính toán cho các thiết bị đo neutron có chất làm chậm hình trụ với đầu dò chủ động ${}^6\text{Li}(\text{Eu})$ bằng chương trình mô phỏng MCNP. Kết quả mô phỏng sẽ được áp dụng trong các phép hiệu chuẩn thiết bị đo neutron tại phòng chuẩn neutron tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân.

Từ khóa: Hiệu chỉnh hình học, thiết bị đo neutron hình trụ, MCNP6

I. MỞ ĐẦU

Việc hiệu chuẩn các thiết bị ghi đo bức xạ trước khi sử dụng là yêu cầu bắt buộc phải thực hiện. Các thiết bị ghi đó bức xạ được hiệu chuẩn sẽ giúp đánh giá liều/suất liều được chính xác hơn và kết quả đo đạc cũng tin cậy hơn. Từ đó, các biện pháp đảm bảo an toàn bức xạ cho dân chúng và nhân viên bức xạ được áp dụng một cách phù hợp và dựa trên các phép đo tin cậy.

Để hiệu chuẩn thiết bị đo neutron, trường chuẩn neutron cần phải được thiết lập. Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân đã xây dựng và thiết lập trường chuẩn neutron trên nguồn ${}^{241}\text{Am-Be}$ [1]. Trong trường chuẩn này, sự đóng góp về suất liều của thành phần gamma chiếm khoảng 2,3%-3,3% so với suất liều neutron tổng cộng [2].

Quá trình hiệu chuẩn các thiết bị đo neutron trong trường chuẩn đòi hỏi phải thực hiện một số hiệu hiệu chỉnh [3]: hiệu chỉnh neutron tán xạ, hiệu chỉnh sự không đẳng hướng của nguồn, hiệu chỉnh hình học của thiết bị đo,

Theo tiêu chuẩn ISO 8529-2 [4], hệ số hiệu chỉnh hình học cho các thiết bị neutron hình cầu được xác định theo phương trình sau:

$$F_1(d) = 1 + \delta \left\{ \frac{2d^2}{r_D^2} \left[1 - \left(1 - \frac{r_D^2}{d^2} \right)^{1/2} \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

trong đó, $F_1(d)$ là hệ số hiệu chỉnh hình học tại khoảng cách d , δ là hệ số hiệu dụng neutron ($\delta = 0,5 \pm 0,1$), d là khoảng cách từ nguồn đến tâm detector, r_D là bán kính thiết bị đo neutron. Theo đó, hệ số hình học sẽ được tính cho tất cả các thiết bị đo có dạng hình cầu, không phân biệt chất làm chậm và loại đầu dò sử dụng (chủ động hoặc thụ động). Phương trình (1) ở trên được đề xuất bởi J.B. Hunt [5] dựa trên lý thuyết của Axton [6].

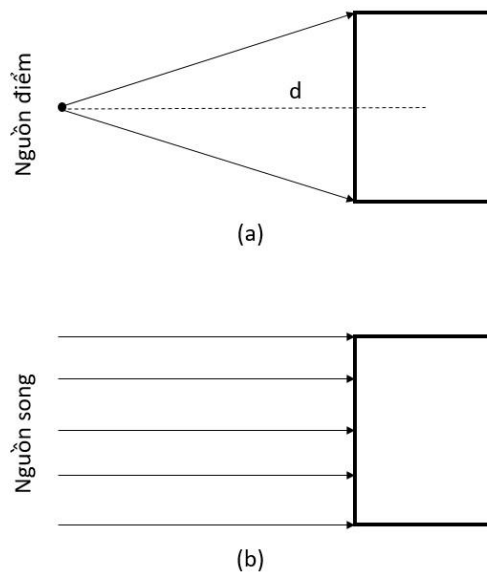
Tuy nhiên, đối với các thiết bị đo neutron không phải hình cầu, tiêu chuẩn ISO 8529-2 chỉ đưa ra khuyến cáo rằng thiết bị phải được hiệu chuẩn ở khoảng cách đủ xa để hệ số hiệu chỉnh hình học xấp xỉ 1 hoặc độ không đảm bảo đo cần phải được tăng thêm. Sự thiếu sót này trong tiêu chuẩn ISO 8529-2 đã được nhận biết nhưng có rất ít các công trình khoa học công bố về vấn đề này. Hiệu chỉnh hình học cho các thiết bị đo neutron hình trụ khi được chiếu song song với trục đối xứng đã được nghiên cứu bởi Pulpan [7]. Taylor [8] đã sử dụng phương pháp Monte Carlo để xác định hệ số hiệu chỉnh hình học cho các thiết bị đo neutron hình trụ khi được chiếu vuông góc với trục đối xứng trên nguồn neutron ^{252}Cf .

Nghiên cứu này trình bày kết quả tính toán hệ số hiệu chỉnh hình học cho thiết bị neutron hình trụ có kích thước khác nhau khi được chiếu vuông góc với trục đối xứng trên nguồn $^{241}\text{Am-Be}$. Nghiên cứu này là cần thiết bởi trường chuẩn tại VKHKTHN là nguồn $^{241}\text{Am-Be}$, và các thiết bị neutron hình trụ sẽ được hiệu chuẩn với nguồn neutron chiếu vuông góc với trục đối xứng

II. NỘI DUNG

1. Đối tượng và phương pháp

Đối với các thiết bị đo neutron hình trụ được chiếu vuông góc với trục đối xứng, phương pháp xác định hệ số hiệu chỉnh hình học sẽ dựa trên lý thuyết của Axton [6]. Theo đó, thiết bị đo neutron được chiếu bởi 2 chùm neutron: chùm neutron song song (hình 1.b) và chùm neutron phân kỳ phát ra từ nguồn điểm (hình 1.a). Trong cả hai trường hợp, thông lượng neutron tại tâm thiết bị (điểm O) khi không có thiết bị là bằng nhau.



Hình 1: Thiết bị đo neutron được chiếu bởi 2 trường neutron khác nhau:
(a) trường phân kỳ, (b) trường song song

Chùm neutron song song gây ra số đọc M_P trên thiết bị và chùm neutron phân kỳ gây ra số đọc M_S trên thiết bị. Mặc dù thông lượng neutron tại tâm thiết bị là bằng nhau trong cả hai trường hợp nhưng số đọc của thiết bị là khác nhau ($M_P \neq M_S$). Do đó, hệ số hiệu chỉnh hình học sẽ được xác định bằng phương trình sau:

$$F_1(d) = \frac{M_P}{M_S} \quad (2)$$

Số đọc của thiết bị (M_p và M_s) sẽ được tính toán bằng chương trình mô phỏng MCNP. Phiên bản MCNP sử dụng trong nghiên cứu này là phiên bản 6.1 [9], được viết tắt là MCNP6. Trong phiên bản này, thư viện tiết diện tương tác mới hơn ENDF/B-VII [10] đã được đóng gói kèm.

Thiết bị đo neutron hình trụ bao gồm đầu dò neutron nhiệt ${}^6\text{LiI}$ hình trụ (4mm x 4mm) và chất làm chậm polyethylene hình trụ. Đầu dò neutron nhiệt ${}^6\text{LiI}$ có khối lượng riêng $3,84 \text{ g/cm}^3$, thành phần bao gồm ${}^6\text{Li}$ (4,34% khối lượng), ${}^7\text{Li}$ (0,21% khối lượng) và ${}^{127}\text{I}$ (95,45% khối lượng). Chất làm chậm polyethylene có khối lượng riêng $0,95 \text{ g/cm}^3$, thành phần bao gồm H (14,37% khối lượng) và C (85,63% khối lượng). Đường kính và chiều dài của các khối làm chậm khác nhau được liệt kê trong bảng 1.

Bảng 1: Kích thước khối làm chậm hình trụ polyethylene

Tên	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Chiều cao	2,7	4,1	6,2	10,4	16,6	20,7	24,8
Đường kính	3,0	4,6	6,9	11,5	18,4	23,0	27,6

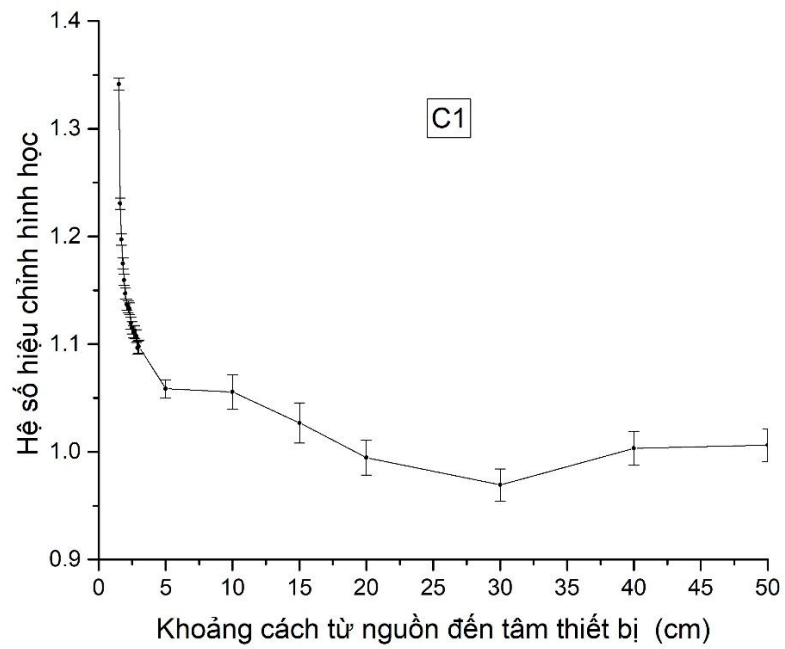
Đối với trường neutron song song, nguồn neutron là mặt phẳng hình hộp chữ nhật, phát neutron vuông góc với trục đối xứng của thiết bị. Đối với trường neutron phân kỳ, nguồn neutron là nguồn điểm, phát đẳng hướng.

Số đọc của thiết bị là số phản ứng (n, α) xảy ra trong tinh thể ${}^6\text{LiI}$. Số phản ứng này được tính toán thông qua tally F4 và thẻ FM trong chương trình MCNP.

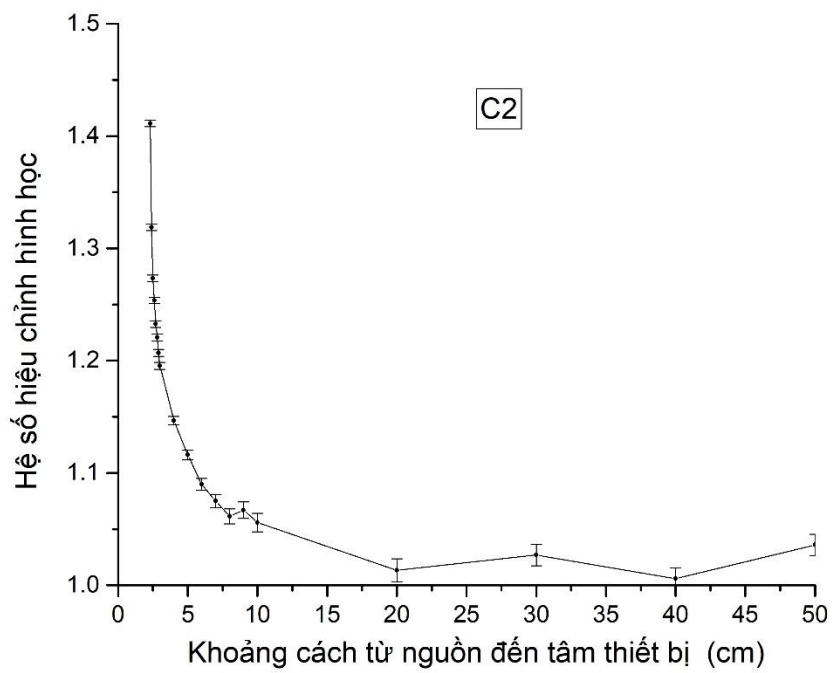
Đối với neutron năng lượng thấp, tiết diện tương tác neutron đối với nguyên tố hydro trong polyethylene được lấy trong thư viện poly.20t. Thư viện tiết diện này tính đến cấu trúc tinh thể của polyethylene.

2. Kết quả

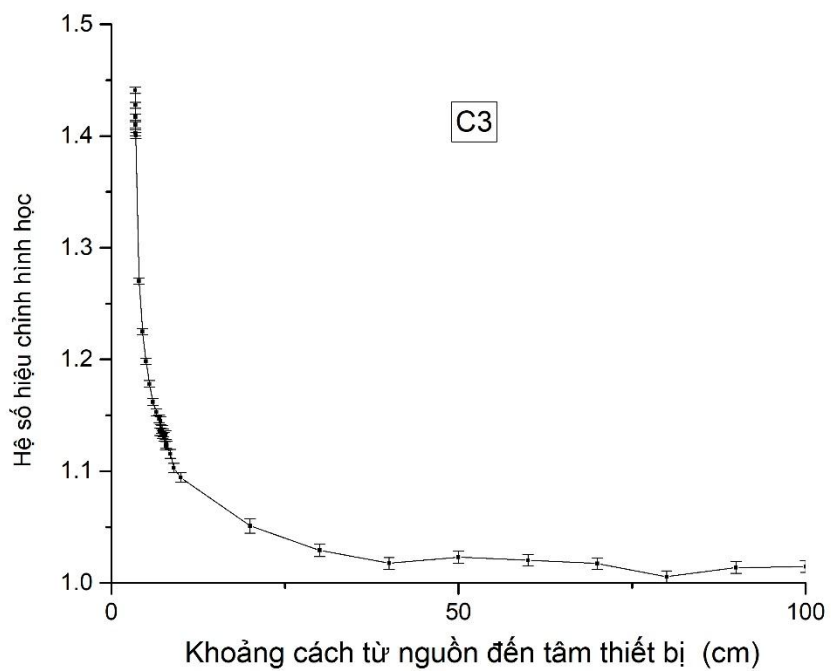
Hệ số hiệu chỉnh hình học tại các khoảng cách đối với các thiết bị đo hình trụ C1, C2, C3, C4, C5, C6 và C7 được biểu diễn ở các hình sau.



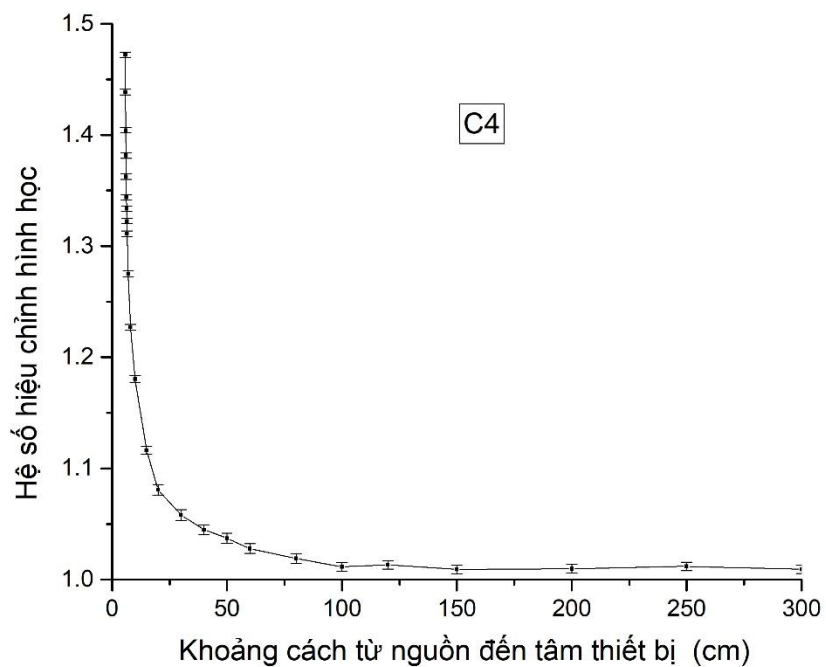
Hình 2: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C1 (chiều cao 2,7 cm, đường kính 3,0 cm)



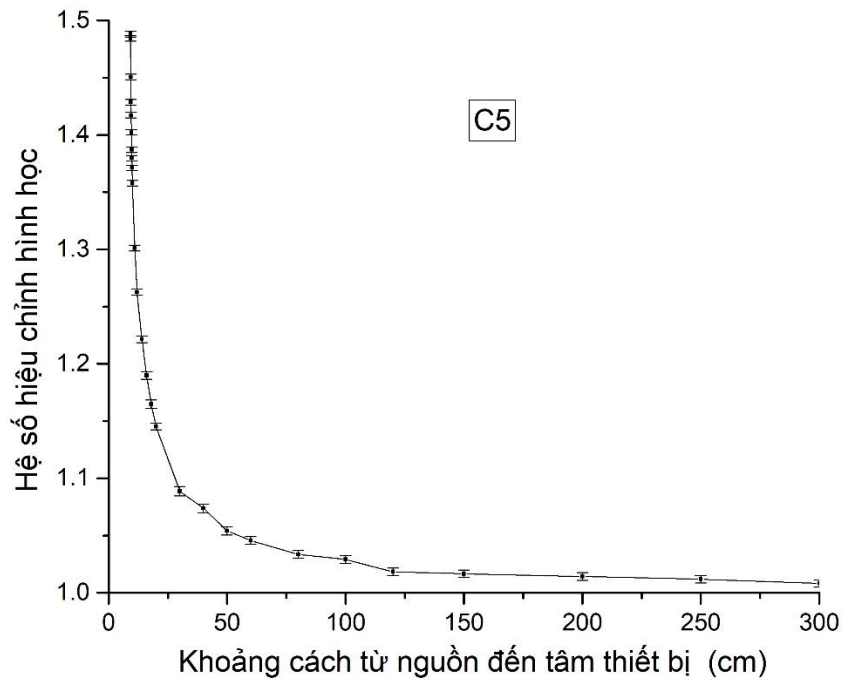
Hình 3: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C2 (chiều cao 4,1 cm, đường kính 4,6 cm)



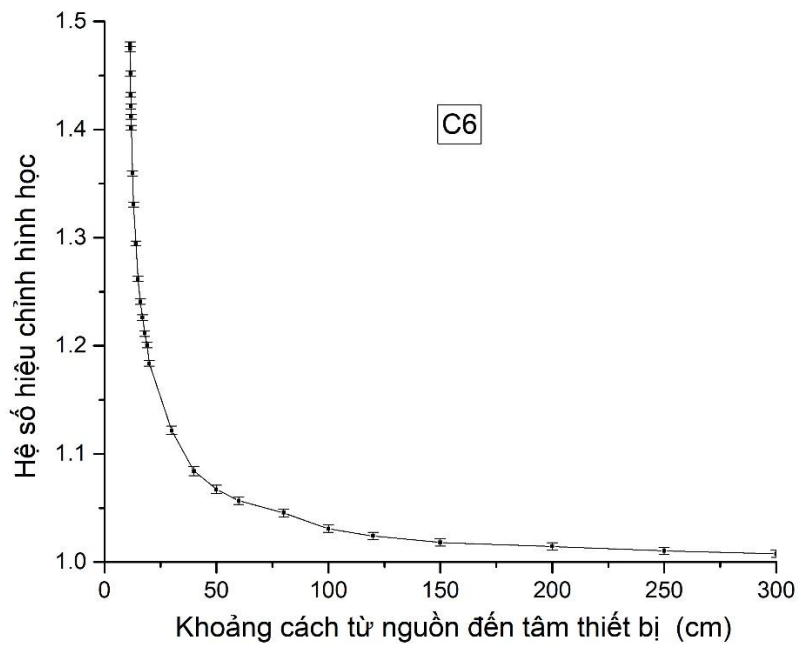
Hình 4: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C3 (chiều cao 6,2 cm, đường kính 6,9 cm)



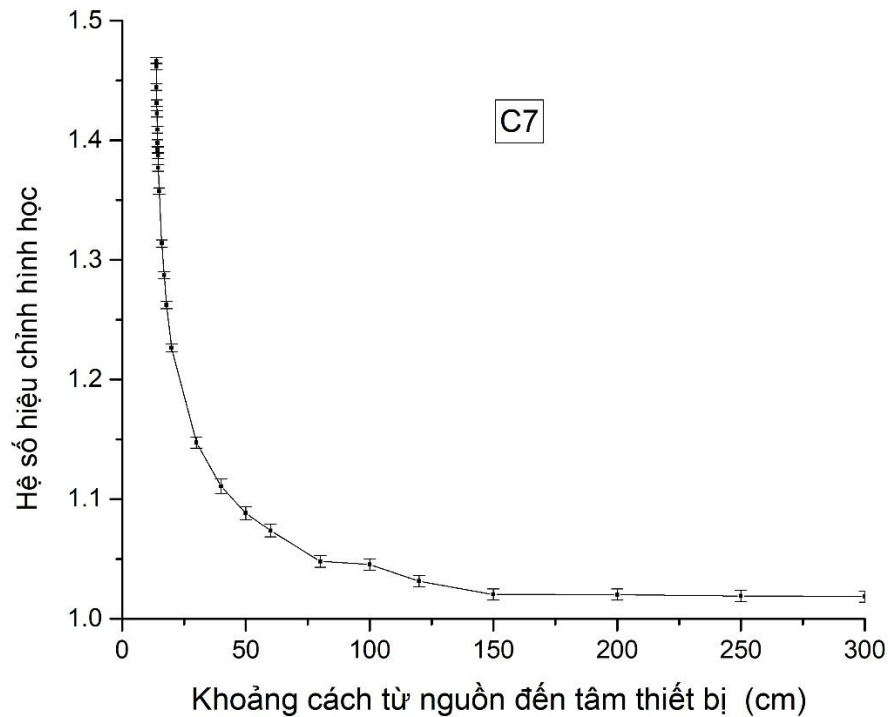
Hình 5: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C4 (chiều cao 10,4 cm, đường kính 11,5 cm)



Hình 6: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C5 (chiều cao 16,6 cm, đường kính 18,4 cm)



Hình 7: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C6 (chiều cao 20,7 cm, đường kính 23,0 cm)



Hình 8: Hệ số hiệu chỉnh hình học đối với hình trụ C7 (chiều cao 24,8 cm, đường kính 27,6 cm)

3. Bàn luận

Đối với mỗi thiết bị, hệ số hiệu chỉnh hình học có giá trị cực đại khi thiết bị đặt sát nguồn neutron (từ 1,34 đối với thiết bị C1 đến 1,49 đối với thiết bị C5). Giá trị cực đại này xấp xỉ với giá trị cực đại của hệ số hiệu chỉnh hình học đối với thiết bị hình cầu ($1,5 \pm 0,3$).

Khi thiết bị được đặt xa nguồn hơn, hệ số hiệu chỉnh hình học giảm dần về 1. Điều này có thể giải thích bởi khi càng xa nguồn, trường neutron phát ra từ nguồn điểm đến thiết bị càng gần giống với trường song song. Khi khoảng cách giữa tâm thiết bị và nguồn lớn hơn ba lần kích thước lớn nhất của thiết bị (chiều cao hoặc đường kính), hệ số hiệu chỉnh hình học sẽ nhỏ hơn 1,05. Khi đó, hệ số hiệu chỉnh hình học có thể coi bằng 1.

Tại cùng một khoảng cách so với nguồn, thiết bị có kích thước lớn hơn sẽ có hệ số hiệu chỉnh hình học lớn hơn.

Các kết quả tính toán hệ số hiệu chỉnh hình học trên sẽ giúp cho việc hiệu chuẩn các thiết bị đo neutron hình trụ có thể được thực hiện ở khoảng cách gần mà không làm tăng độ không đảm bảo đo của hệ số hiệu chuẩn. Đồng thời, các kết quả này cũng khẳng định việc hiệu chuẩn thiết bị tại các khoảng cách xa với nguồn (lớn hơn ba lần kích thước lớn nhất của thiết bị) có không cần đến hiệu chỉnh hình học.

Kết quả trong nghiên cứu này sẽ được áp dụng trong quá trình hiệu chuẩn các thiết bị đo neutron hình trụ tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân.

III. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, hệ số hiệu chỉnh hình học đối với các thiết bị đo neutron hình trụ đã được tính toán tại các khoảng cách khác nhau. Các kết quả này sẽ giúp cho việc hiệu chỉnh hình học trong quá trình hiệu chuẩn các thiết bị đo neutron hình trụ được chính xác hơn. Đây cũng là một yêu cầu quan trọng trong quá trình hiệu chuẩn thiết bị được khuyến cáo bởi tiêu chuẩn ISO 8529-2. Kết quả của nghiên cứu sẽ được áp dụng trực tiếp tại phòng chuẩn neutron tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin cảm ơn Trung tâm đào tạo (Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam) đã giúp đỡ máy tính chạy các bài toán mô phỏng. Các tác giả cũng xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học Công nghệ đã cung cấp kinh phí cho nghiên cứu này (mã số CS/18/04-02)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] LE Ngoc Thiem et. al., Characterization of a Neutron Calibration Field with $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ Source using Bonner Sphere Spectrometer, Applied Radiation and Isotopes, vol. 133, 2017
- [2] LE Ngoc Thiem et. al., Evaluation of Gamma Contribution in a Neutron Calibration Field of $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ Source, Applied Radiation and Isotopes, vol. 133, 2018
- [3] V. Gressier et. al., Calibration of neutron-sensitive devices, Metrologia, vol. 48, 2011
- [4] ISO 8529-2, Reference neutron radiations -- Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field, 2000
- [5] J.B. Hunt, The Calibration of Neutron Sensitive Spherical Devices, Radiation Protection Dosimetry, vol. 8, 1984
- [6] E.J. Axton, The Effective Centre of a Moderating sphere When Used as an Instrument for fast neutron Flux Measurement, Journal of Nuclear Energy, vol. 26, 1972
- [7] J. Pulpan, Geometrical Correction Factor, Radiation Protection Dosimetry, vol. 35, 1991
- [8] G.C. Taylor, Geometry Corrections for Cylindrical neutron Area Survey Meter, Applied Radiation and Isotopes, vol. 68, 2010
- [9] Goorley et. al., Initial MCNP6 Release Overview - MCNP6 version 1.0, 2013
- [10] Colin et. al., Continuous Energy Neutron Cross Section Data Tables Based upon ENDF/B-VII.1

Geometry corrections for cylindrical neutron measuring devices with Am-Be source

Abstract: In calibration of neutron sensitive devices, geometry correction need to be performed due to finite size of source and/or devices. Geometry correction factor for device with spherical moderating is well studied but not for other shape of moderating. In this study, geometry correction for cylindrical neutron devices with ^6LiI detector were simulated using MCNP code. The results will be applied for neutron calibration procedure in Institute for Nuclear Science and Technology (INST).

Keywords: Geometry correction, cylindrical neutron device, MCNP6