

# TÍNH TOÁN THIẾT KẾ DÒNG NOTRON NHIỆT TẠI KÊNH NGANG SỐ 1 Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT

Phạm Ngọc Sơn, Trần Tuấn Anh, Phan Bảo Quốc Hiếu  
*Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt*  
*pnsn.nri@gmail.com*

**Tóm tắt:** Nghiên cứu tính toán và thiết kế phát triển mới dòng notron nhiệt đã được thực hiện tại kênh ngang số No.1 lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt, phục vụ các nghiên cứu cơ bản và đào tạo về vật lý hạt nhân thực nghiệm. Các nghiên cứu thiết kế cải tiến và mô phỏng Monte Carlo đã được thực hiện nhằm thu được kênh notron nhiệt có chất lượng tốt nhất về thông lượng notron và an toàn bức xạ. Các mô hình thiết kế, số liệu tính toán mô phỏng được trình bày trong báo cáo này.

**Từ khóa:** *Thermal neutron beam, Dalat nuclear research reactor.*

## CALCULATION AND DESIGN OF A THERMAL NEUTRON BEAM AT THE CHANNEL No.1 OF DALAT RESEARCH REACTOR

**Abstract:** Calculations and design for development of a new thermal neutron beam have been carried out at the horizontal channel No.1 of the Dalat research reactor. This thermal neutron beam is expected to be opened for research and education on experimental nuclear physics at the Dalat Nuclear Research Institute. The results of optimal beam design and Monte Carlo simulations are presented in this report.

### 1. Mở đầu

Nghiên cứu phát triển các chùm notron tại các kênh ngang của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và sử dụng các chùm notron này trong nghiên cứu cơ bản và ứng dụng về vật lý hạt nhân, che chắn bức xạ và đào tạo nhân lực là nhiệm vụ quan trọng đã được triển khai tại Viện Nghiên cứu hạt nhân (NCHN). Thiết kế của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt có 4 kênh ngang dẫn dòng notron ra ngoài để xây dựng các hệ thiết bị thực nghiệm phục vụ các mục đích nêu trên. Tuy nhiên, cho đến nay chỉ có 3 kênh ngang được đưa vào sử dụng đó là kênh tiếp tuyến số 3, kênh xuyên tâm số 2 và kênh xuyên tâm số 4; còn kênh xuyên tâm số 1 đang được đóng kín bởi các nút đóng kênh và chưa được đưa vào sử dụng. Hiện nay, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam (NLNTVN) đang có kế hoạch tăng cường tiềm lực nghiên cứu khoa học và đào tạo nguồn nhân lực nhằm thực hiện vai trò đóng góp của ngành NLNT vào phát triển kinh tế - xã hội và trước mắt là triển khai thực hiện dự án Trung tâm Nghiên cứu khoa học và công nghệ hạt nhân (RCNEST) [12] với lò phản ứng nghiên cứu mới. Xuất phát từ các yêu cầu thực tế nêu trên, nội dung nghiên cứu này đã được triển khai thực hiện với mục tiêu chính là phát triển chùm notron nhiệt tại kênh ngang số 1, một số khối thiết bị điện tử và các thành phần của hệ phổ kế để có thể đưa kênh ngang này vào sử dụng phục vụ các hoạt động nghiên cứu thực nghiệm và đào tạo nhân lực tại Viện NCHN. Báo cáo này trình bày các kết quả thu được trong thời gian qua về nghiên cứu tính toán mô phỏng và thiết kế hệ dẫn dòng notron nhiệt từ vùng hoạt của phản ứng bằng kỹ thuật sử dụng các tinh thể phin lọc. Ngoài ra, các thiết kế về cấu hình chuẩn trực và che chắn bảo đảm an toàn bức xạ cho người sử dụng cũng được trình bày.

## 2. Thiết kế hệ dẫn dòng neutron và chuẩn trực lắp đặt bên trong kênh ngang số 1

Trên cơ sở các số liệu về cấu trúc thiết kế của kênh ngang xuyên tâm số 1 của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và kết quả tính toán số liệu tiết diện phản ứng của neutron đối với tinh thể Sapphire và Bismuth, mô hình thiết kế hệ dẫn dòng neutron tại kênh ngang số 1 đã được đề xuất. Trên cơ sở mô hình thiết kế tổng quát về các thông số như tỷ lệ thành phần vật liệu, cấu trúc hình học và kích thước của các yếu tố thành phần, việc chuyển đổi thành mô hình số và mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo đã được thực hiện. Quá trình tính toán mô phỏng được thực hiện lặp lại nhiều lần để điều chỉnh và chính xác hoá các yếu tố chi tiết của mô hình thiết kế. Sau khi tất cả các tham số đã được tính toán điều chỉnh phù hợp, mô hình thiết kế đã được tối ưu hoá trên cơ sở thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Suất liều gamma và neutron bên ngoài cấu trúc che chắn bức xạ của kênh trong gian nhà lò phản ứng  $< 10 \mu\text{Sv/h}$ ,
- Thông lượng neutron nhiệt tại lõi ra (vị trí chiếu mẫu)  $\geq 10^6 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ ,
- Tiết diện ngang của chùm neutron tại vị trí mẫu chiếu có đường kính 3 cm,
- Giảm thiểu được cấu trúc che chắn phức tạp bên ngoài kênh,
- Có cơ chế tháo lắp dễ dàng,

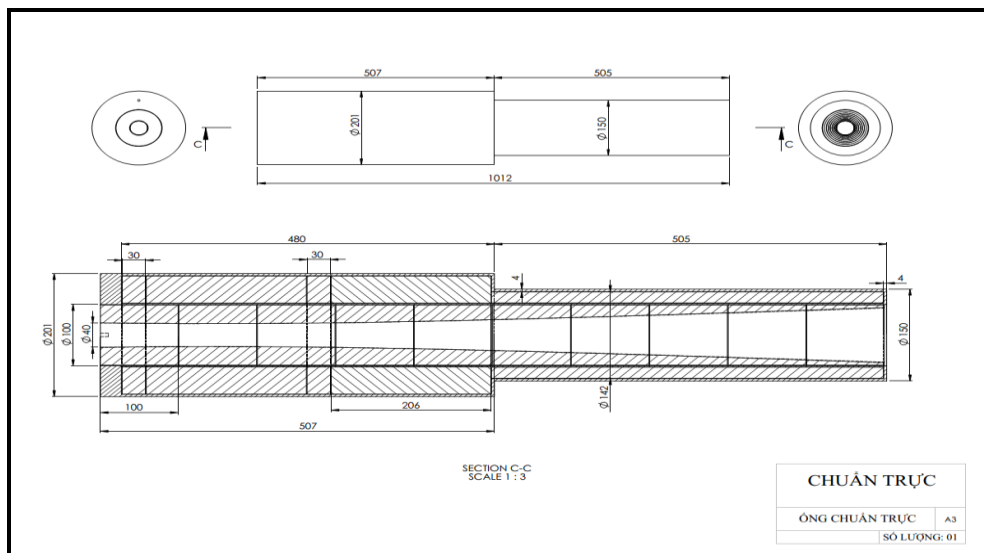
Hệ dẫn dòng neutron có dạng hình trụ; tổng chiều dài là 101 cm; đường kính trong là 10 cm; đường kính ngoài gồm 2 phần liên kết cố định với nhau: phần thứ nhất (hướng vào phía vành phản xạ của lò phản ứng) có chiều dài 50 cm với đường kính ngoài là 15 cm khớp với đường kính trong ( $\phi = 15,2 \text{ cm}$ ) của ống dẫn kênh số 1 bằng nhôm (inner part) và phần thứ 2 có chiều dài 51 cm với đường kính ngoài là 20,1cm khớp với phần đường kính trong ( $\phi = 20,3 \text{ cm}$ ) của ống dẫn kênh số 1 bằng thép (outer part).

Mặt ngoài của hệ dẫn dòng là một vỏ bọc được chế tạo bằng vật liệu nhôm dày 4mm; mặt trong là một ống nhôm dày 2,5 mm. Mặt đáy trong là một vành bằng nhôm dày 3cm có dạng hình côn có tác dụng dẫn hướng, thuận tiện trong quá trình lắp đặt. Mặt đáy trong ngoài chức năng dẫn hướng, còn có chức năng chính là tạo ra sự liên kết kín giữa mặt trong và mặt ngoài, chốt phin lọc và ống chuẩn trực không vượt ra khỏi hệ dẫn dòng. Mặt đáy ngoài là một vành tròn bằng nhôm dày 2,7cm, đường kính ngoài 15cm khớp với mặt ngoài bằng ren vặn, đường kính trong là 10 cm khớp và chuẩn tâm cho mặt trong. Trên mặt đáy ngoài này có hai lỗ ren  $\phi = 8\text{mm}$  và khe tiện theo rãnh hình chữ L có tác dụng để tạo ra sự liên kết với thanh đáy trong quá trình lắp đặt hoặc tháo ra. Ngoài ra mặt đáy ngoài cũng có chức năng tạo ra sự liên kết kín và vững chắc giữa mặt ngoài và mặt trong.

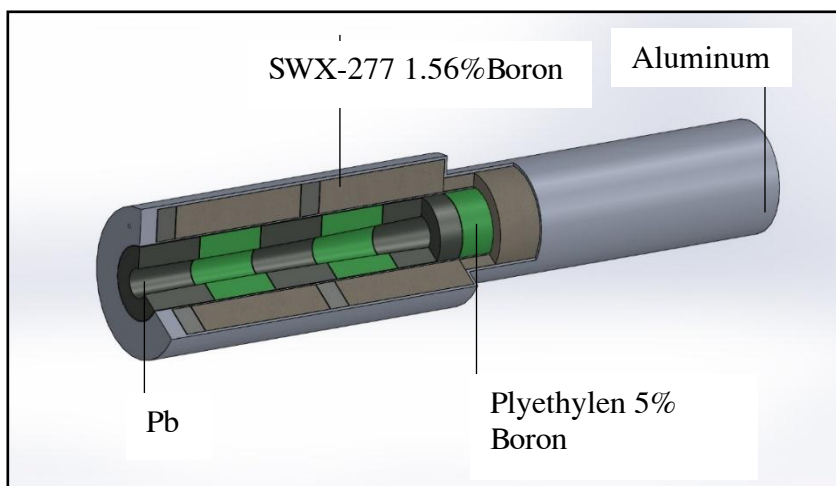
Phần không gian của hình trụ giữa các mặt trong và mặt ngoài được lấp đầy bằng hợp chất hấp thụ neutron SWX-277 (chứa 1,56% Bo,  $3,44 \times 10^{22}$  nguyên tử Hydro/cm<sup>3</sup>) và 2 vành bằng chì (3 cm) tiếp giáp với mặt đáy ngoài (xem Hình 2). Phần không gian hình trụ

bên trong và đồng trục với hệ dẫn dòng có đường kính 10 cm được sử dụng để lắp ống chứa các phin lọc neutron là một ống bằng nhôm dài 100 cm, đường kính ngoài 9,8cm, đường kính trong 9,2 cm. Ở phía sát mặt trong của ống đựng phin lọc có gia công một chốt chặn để cố định vị trí phin lọc và chuẩn trục và ở sát mặt đáy ngoài có gia công một lỗ khoan sử dụng khi tháo lắp hoặc thay đổi phin lọc neutron và chuẩn trục.

Trong thiết kế mới này với kênh ngang số 1, có sự cải tiến đánh kể so với thiết kế trước đây trên các kênh ngang số 2, 3 và 4. Các ống chuẩn trục neutron lắp bên trong kênh có dạng hình cone (trước đây là dạng hình trụ thẳng) tăng cường được thông lượng neutron tại lõi ra. Vật liệu phin lọc được chọn là Bismuth và Sapphire có ưu điểm là hiệu quả che chắn thành phần bức xạ gamma trong kênh và tỉ số truyền neutron nhiệt tốt hơn so với các cấu hình hiện tại bao gồm: Bismuth và Silic tại kênh ngang số 2; Silic tại kênh ngang số 3; Silic, Surfure và Titan tại kênh ngang số 4.



**Hình 1:** Bản vẽ thiết kế hệ dẫn dòng neutron cho kênh ngang số 1



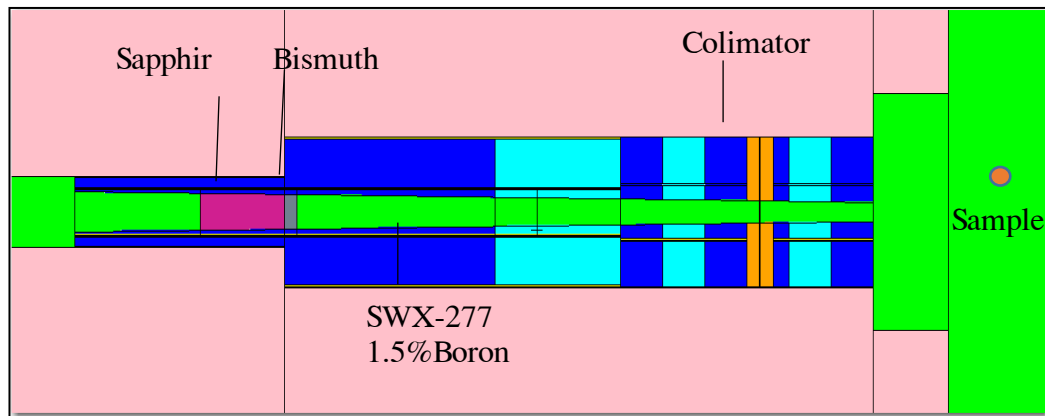
**Hình 2:** Mô hình thiết kế hệ dẫn dòng neutron phin lọc cho kênh ngang số 1

### 3. Tính toán thông lượng neutron và suất liều bức xạ

Mô hình thiết kế hệ dẫn dòng neutron cho kênh ngang số 1 đã được mô phỏng bằng chương trình MCNP5, và được mô tả trong Hình 3. Với cấu hình phin lọc là 15 cm Sapphire và 6 cm Bismuth, thông lượng neutron nhiệt tại vị trí chiếu mẫu tính được là  $2,11 \times 10^6$  n/cm<sup>2</sup>/s. Suất liều trung bình tại các điểm cách buồng chiếu mẫu 1m là 5,3  $\mu$ Sv/h với neutron và 2,4  $\mu$ Sv/h với gamma. Các thông số mô phỏng và tính toán chi tiết phổ năng lượng neutron, tỉ số neutron nhiệt trên neutron nhanh, phân bố suất liều neutron và gamma tại nhiều điểm khác nhau bên ngoài kênh đã được thực hiện.

**Bảng 1 : Kết quả tính toán thông lượng neutron và tỉ số thông lượng neutron nhiệt/nhanh theo chiều dài phin lọc Bismuth và Sapphire**

Sapphire		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bismuth												
N_Flux	0	1.32E+07	1.15E+07	1.01E+07	8.84E+06	7.80E+06	6.90E+06	6.11E+06	5.43E+06	4.82E+06	4.29E+06	3.83E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		6	18	51	138	352	836	1844	3782	7276	13297	23371
N_Flux	1	1.02E+07	1.01E+07	8.83E+06	7.77E+06	6.86E+06	6.07E+06	5.38E+06	4.77E+06	4.24E+06	3.78E+06	3.37E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		6	19	55	148	376	887	1941	3952	7562	13768	24147
N_Flux	2	1.02E+07	8.91E+06	7.80E+06	6.87E+06	6.06E+06	5.36E+06	4.75E+06	4.22E+06	3.75E+06	3.34E+06	2.98E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		7	21	59	159	400	938	2039	4128	7863	14276	24993
N_Flux	3	9.11E+06	7.92E+06	6.93E+06	6.10E+06	5.38E+06	4.76E+06	4.22E+06	3.74E+06	3.33E+06	2.96E+06	2.64E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		7	22	63	169	425	991	2142	4314	8185	14821	25909
N_Flux	4	8.15E+06	7.08E+06	6.19E+06	5.44E+06	4.80E+06	4.25E+06	3.76E+06	3.34E+06	2.97E+06	2.64E+06	2.36E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		8	24	67	181	452	1048	2252	4514	8534	15417	26916
N_Flux	5	7.33E+06	6.36E+06	5.56E+06	4.88E+06	4.30E+06	3.81E+06	3.37E+06	2.99E+06	2.66E+06	2.37E+06	2.11E+06
$\phi_{th}/\phi_{epi}$		8	25	72	193	480	1108	2370	4730	8913	16069	28026

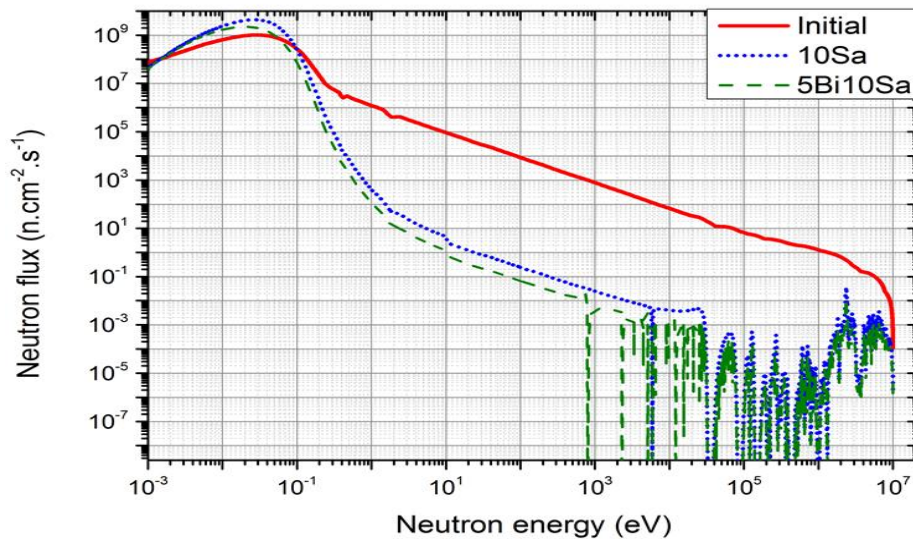


**Hình 3:** Mô hình mô phỏng hệ dẫn dòng neutron phin lọc tại kênh ngang số 1

Bảng 1. Kết quả tính toán suất liều neutron và gamma tương ứng với các vị trí XYZ (gốc toạ độ (0,0,0) tại vị trí tâm lối ra của kênh ngang số 1).

Vị trí	Cell	Tọa độ (cm)			Suất liều neutron ( $\mu$ Sv/h)	Suất liều gamma ( $\mu$ Sv/h)
		X	Y	Z		
1	380	-35	0	275	47	1.5
2	381	35	0	280	35	0.8
3	382	0	35	280	36	0.6
4	383	0	-35	280	31	0.1
5	384	0	35	400	10	31
6	385	35	0	400	4.3	26

7	386	-35	0	535	7.7	1.7
8	387	35	0	535	5.3	2.4
9	388	0	35	535	6.8	0.6
10	389	0	-35	535	2.4	0.1
11	390	690	15		1.0	0.1
12	391	-135	0	400	1.7	1.9
13	392	-95.4	0	304.6	4.6	1.0
14	393	-95.4	0	495.4	3.3	4.8
15	394	-135	40	400	3.1	1.5
16	395	-95.4	40	304.6	0.7	0.7
17	396	-95.4	40	495.4	2.6	6.1
18	397	0	135	280	0.4	0.3
19	398	135	0	280	1.0	0.2
20	399	0	135	400	1.2	1.7
21	400	135	0	400	1.3	1.3
22	401	0	135	525	1.9	7.8
23	402	135	0	525	0.6	4.2



Hình 4. Kết quả tính toán phổ neutron trước và sau khi truyền qua phin lọc Bismuth và Sapphire

#### 4. Kết luận

Bài báo trình bày các kết quả về tính toán bổ sung số liệu tiết diện neutron nhiệt cho các tinh thể phin lọc Sapphire và Bismuth, thiết kế hệ dẫn dòng neutron dự kiến để lắp đặt cho kênh ngang số 1, tiến hành tính toán thông lượng neutron và suất liều bức xạ. Kết quả tính toán số liệu tiết diện tương tác với neutron nhiệt đối với các tinh thể phin lọc Sapphire và Bismuth là rất cần thiết để đưa vào mô phỏng phin lọc và xác định giá trị thông lượng neutron nhiệt tại vị trí chiếu mẫu. Các kết quả tính toán và mô phỏng cho thấy mô hình thiết kế mới đạt được các yêu cầu đặt ra về thông lượng neutron nhiệt và giá trị suất liều là đảm bảo an toàn bức xạ cho người sử dụng.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. 30 năm Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt: Những thành tựu, Tạp chí TiaSáng, 05/03/2014.
- [2]. N. N. Dien, et al, Results of Operation and Utilization of the Dalat Nuclear Research Reactor, Nuclear Science and Technology, Vol. 4, No. 1 (2014), pp. 01-09
- [3]. INDC International Nuclear Data Committee, “Specific Applications of Research Reactors: Provision of Nuclear Data”, INDC(NDS)-0574 (2009).
- [4]. R.C Block and R.M. Brugger, Filtered neutron beams, Neutron Sources for Basic Physics and Applications, OECD/NEA Report, Pergamon Press, (1983).
- [5]. P.P. Ember , T. Belgya, J.L. Weil, G.L. Molnar, A practical test of a gamma-gamma coincidence measurement setup for PGAA, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 213 (2004) 406–409.
- [6]. O. Gritzay, V. Koloty, V. Pshenichnyi, M. Gnidak, O. Kalchenko, N. Klimova, V. Libman, V. Razbudey, A. Kyslytskyi, V. Venediktov, O. Korol, “Neutron Filter Technique And Its Use for Fundamental and Applied Investigations”, 6th Conference on Nuclear and Particle Physics 17-21 Nov. 2007 Luxor, Egypt.
- [7]. Danyal J. Turkoglu, Design, *Construction and Characterization of an External Neutron Beam Facility at The Ohio State University Nuclear Reactor Laboratory*, Master thesis of Science in the Graduate School of The Ohio State University, 2012
- [8]. Vuong Huu Tan, Pham Ngoc Son, et al., Progress of Filtered Neutron Beams Development and Applications at the Horizontal Channels No.2 and No.4 of Dalat Nuclear Research Reactor, Nuclear Science and Technology, Vol. 4, No. 1 (2014), pp. 62-69.
- [9]. Vuong Huu Tan, Pham Dinh Khang, et al., The gamma two-step cascade method at Dalat Nuclear Research Reactor, Nuclear Science and Technology, Vol. 4, No. 1 (2014), pp. 57-61.
- [10]. Robert M. Brugger, A Single Crystal Silicon Thermal Neutron Filter, Nuclear Instruments and Methods 135 (1976) 289-291.
- [11]. M. Adib, M. Kilany, N. Habib and M. Fathallah, Neutron transmission of Single-Crystal Sapphire Filters, 4th Conference on Nuclear and Particle Physic, 11-15 Oct. 20003, Fayoumi , Egypt.
- [12]. Trần Ngọc Toàn, *Nhiệm vụ trọng tâm và định hướng nghiên cứu triển khai của Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam phục vụ phát triển kinh tế xã hội*, Tạp chí thông tin khoa học và công nghệ hạt nhân, số 57 12/2018.