

PHẠM THỊ NGÂN

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Thị Ngân

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CÁC LỚP CHẤT
LÀM CHẬM VÀ XÁC ĐỊNH HÀM ĐÁP ỨNG CỦA HỆ PHỔ KÊ
BONNER-CYLINDER VỚI BỨC XẠ NEUTRON**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ
VẬT LÝ**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

Hà Nội - 2023

Hà Nội – 2023

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Thị Ngân

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CÁC LỚP CHẤT
LÀM CHẬM VÀ XÁC ĐỊNH HÀM ĐÁP ỨNG CỦA HỆ PHỔ KẾ
BONNER-CYLINDER VỚI BỨC XẠ NEUTRON**

Chuyên ngành : Vật lý nguyên tử và hạt nhân

Mã số : 8440106

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC :

1. TS. Phạm Ngọc Sơn
2. PGS.TS. Nguyễn Văn Hùng

Hà Nội – 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đề tài nghiên cứu trong luận văn này là do tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của TS. Phạm Ngọc Sơn và PGS.TS. Nguyễn Văn Hùng. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn được tiến hành tại Trung tâm Vật lý và Điện tử hạt nhân, Viện Nghiên cứu hạt nhân (Đà Lạt). Chính vì vậy, các kết quả nghiên cứu đảm bảo trung thực và khách quan nhất. Đồng thời, kết quả này chưa từng xuất hiện trong bất cứ một nghiên cứu nào khác. Nếu không đúng như đã nêu trên, tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm về đề tài của mình.

Tác giả luận văn

Phạm Thị Ngân

LỜI CẢM ƠN

Sau một thời gian nghiên cứu miệt mài và nghiêm túc, luận văn đã được hoàn thành tại Viện Nghiên cứu hạt nhân. Tôi xin trân trọng cảm ơn Lãnh đạo Viện, Lãnh đạo Trung tâm Vật lý và Điện tử hạt nhân của Viện Nghiên cứu hạt nhân, các anh chị em ở Trung tâm Vật lý và Điện tử hạt nhân đã luôn quan tâm, tạo điều kiện, giúp đỡ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận văn.

Tôi xin chân thành cảm ơn quý thầy, cô giáo, các Khoa, Phòng của Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tận tình giảng dạy và tạo điều kiện để tôi hoàn thành chương trình thạc sĩ.

Tôi xin chân thành cảm ơn quý thầy, cô giáo của Viện nghiên cứu và Ứng dụng Công nghệ Nha Trang đã nhiệt tình và tạo điều kiện thuận lợi để giúp tôi hoàn thành khóa học.

Đặc biệt, tôi xin bày tỏ lòng kính trọng, biết ơn sâu sắc nhất tới TS. Phạm Ngọc Sơn và PGS.TS Nguyễn Văn Hùng, những người thầy đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ tôi trong suốt thời gian nghiên cứu và thực hiện luận văn. Sự tâm huyết và động viên của hai thầy đã giúp tôi tập trung vào đúng hướng, tự tin và kiên định hơn trong nghiên cứu, giúp luận văn thành công tốt đẹp.

Bên cạnh đó, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới gia đình, bạn bè thân hữu và các đồng nghiệp tại đơn vị công tác đã luôn bên cạnh động viên, chia sẻ, hỗ trợ và tạo điều kiện tốt nhất cho tôi trong quá trình học tập và hoàn thành luận văn.

Trong quá trình làm luận văn không thể tránh khỏi những hạn chế, thiếu sót, tôi rất mong nhận được sự góp ý và chỉ dẫn của quý thầy, cô, bạn bè và đồng nghiệp để luận văn hoàn thiện hơn.

Chân thành cảm ơn!

Hà Nội, tháng 6 năm 2023

Phạm Thị Ngân

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ADC	Analog to Digital Converter	Bộ/khối biến đổi tương tự sang số
AMP	Amplifier	Bộ/khối khuếch đại
BCS	Bonner-Cylinder Spectrometer	Hệ phổ kế hình trụ Bonner (dùng các khối làm chậm hình trụ)
BSS	Bonner-Sphere Spectrometer	Hệ phổ kế quả cầu Bonner (dùng các khối làm chậm hình cầu)
DAC	Digital to Analog Convertor	Bộ/khối biến đổi số sang tương tự
GEANT	Geometry And Tracking	Chương trình mô phỏng hình học và quá trình chuyển động
IAEA	International Atomic Energy Agency	Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế
MCM	Monte Carlo Method	Phương pháp Monte Carlo
MCA	Multi Channel Analyser	Bộ/khối phân tích đa kênh
MCD	Multi Channel Data Processing	Xử lý dữ liệu đa kênh
MCNP	Monte Carlo N Particle	Chương trình mô phỏng Monte Carlo cho N hạt
NCHN	Nuclear Research	Nghiên cứu hạt nhân
P.Amp	Pre-Amplifier	Bộ/khối tiền khuếch đại
PE	Polyethylene	Nhựa Polyethylene
PHITS	Particle and Heavy Ion Transport code System	Chương trình mô phỏng vận chuyển hạt và ion nặng bằng phương pháp Monte – Carlo

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Nguồn neutron phân hạch tự phát	12
Bảng 1.2. Các nguồn neutron theo phản ứng (α,n) [4].....	16
Bảng 1.3. Bảng so sánh các chương trình PHITS với các chương trình mô phỏng Monte Carlo khác	37
Bảng 2.1. Kích thước các ống hình trụ PE	42
Bảng 2.2. Bảng kết quả giá trị hàm đáp ứng của hệ BCS (từ PE0 đến PE7) .	49
Bảng 2.3. Thông số kỹ thuật ống đếm ^3He 2528	52
Bảng 3.1. Bảng kết quả giá trị các hàm đáp ứng của hệ Bonner-Cylinder (từ PE0 đến PE15), đơn vị hàm đáp ứng là cm^2	62
Bảng 3.2. Kết quả so sánh số liệu tốc độ đếm mô phỏng và thực nghiệm ở khoảng cách 60 cm đối với nguồn ^{252}Cf	68

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Sự phụ thuộc năng lượng của hệ số trọng số bức xạ đối với neutron [3]	10
Hình 1.2. Phân bố năng lượng neutron của lò phản ứng hạt nhân [6]	11
Hình 1.3. Cơ chế phân rã của đồng vị ^{252}Cf	13
Hình 1.4. Phổ năng lượng neutron từ phân hạch tự phát của ^{252}Cf [8]	14
Hình 1.5. Phổ năng lượng neutron phân hạch ^{252}Cf được đo bằng phổ kế n-ToF [9], (a) phổ đo được so sánh với hình dạng thu được khi sử dụng hàm phân bố Maxwell-Boltzmann, (b) phổ đo được so sánh với hình dạng thu được khi sử dụng hàm phân bố Watt.....	15
Hình 1.6. Sự phụ thuộc tiết diện neutron nhiệt theo năng lượng đối với các phản ứng $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ [1]	23
Hình 1.7. Phản ứng bắt bức xạ (n, γ)	25
Hình 1.8. Các bước tạo xung đầu ra của ống đếm ^3He	27
Hình 1.9. Tiết diện phản ứng bắt bức xạ neutron của ^3He	28
Hình 1.10. Phổ biên độ xung của ống đếm ^3He	28
Hình 1.11. Sơ đồ khối nguyên lý hoạt động của hệ phổ kế đa kênh	29
.....	30
Hình 1.12. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điện tử hạt nhân cơ bản	30
Hình 1.13. Đồ thị hàm đáp ứng của một hệ phổ kế Bonner-Cylinder với các lớp PE có độ dày khác nhau [3].....	33
Hình 1.14. Sơ đồ thuật toán Monte Carlo tính toán quá trình tương tác của neutron trong vật liệu	35
Hình 1.15. Hình ảnh mô phỏng bố trí thực nghiệm nguồn ^{60}Co	39
Hình 1.16. Hình ảnh mô phỏng nguồn ^{60}Co bằng phần mềm PHITS	40
Hình 2.1. Bản vẽ kỹ thuật ống đếm ^3He LND 2528 (giá trị ghi phía trên dùng đơn vị inch, giá trị ghi bên dưới dùng đơn vị mm).....	41
Hình 2.2. Thiết kế các ống PE của hệ BCS, (a). Mô phỏng 3D hệ BCS, (b). Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 01, (c). Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 15.....	44

Hình 2.3. Bản vẽ kích thước các ống trụ PE (đơn vị mm)	45
Hình 2.4. 15 ống trụ PE đã được chế tạo với kích thước theo thiết kế.....	46
Hình 2.5. Hệ BCS gồm 15 lớp PE lồng vào nhau với ống đếm ^3He lắp đặt ở trung tâm.....	46
Hình 2.6. Mặt cắt của hệ phổ kế Bonner-Cylinder mô phỏng bằng phần mềm PHITS	48
Hình 2.7. Phổ mô phỏng năng lượng hấp thụ của ống đếm ^3He đặt trong lớp PE 10,225 cm với nguồn phát neutron có năng lượng $6,31\text{E}-04$ MeV	49
Hình 2.8. Sáu hàm đáp ứng của hệ BCS khi đo với ống đếm trần ^3He (PE0) và tăng dần bề dày (từ PE1 đến PE5).....	51
Hình 2.9. Ống đếm ^3He LND 2528 sử dụng trong thí nghiệm.....	52
Hình 2.10. Hình học nguồn neutron $^{241}\text{Am-Be}$ theo kích thước thực.....	53
Hình 2.11. Howitzer chứa nguồn $^{241}\text{Am-Be}$	54
Hình 2.12. Howitzer chứa nguồn ^{252}Cf	55
Hình 2.13. Hình học nguồn neutron ^{252}Cf theo kích thước thực	56
Hình 2.14. Các khối điện tử hệ phổ kế đa kênh Multiport II (Canberra)	56
Hình 2.15. Sơ đồ mạch điện tử hệ phổ kế đa kênh	57
Hình 2.16. Phổ neutron thu được trong thí nghiệm đo nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ sử dụng chương trình Gennie2000	57
Hình 2.17. Bố trí thí nghiệm sử dụng hệ BCS đo phổ neutron của nguồn $^{241}\text{Am-Be}$	58
Hình 2.18. Phổ năng lượng neutron thu được của nguồn ^{252}Cf từ thực nghiệm (dùng lớp PE dày 10,225 cm của hệ BCS ở khoảng cách 60 cm so với nguồn)	59
Hình 2.19. Sử dụng thước laser định vị hỗ trợ điều chỉnh vị trí hệ Bonner... ..	59
Hình 2.20. Phổ mô phỏng năng lượng hấp thụ của ống đếm ^3He đặt trong lớp PE dày 10,225 cm ở khoảng cách 60 cm so với nguồn phát neutron ^{252}Cf	60
Hình 3.1. Kết quả thiết kế mô hình các ống trụ PE và giá đỡ của hệ phổ kế Bonner-Cylinder.....	61

Hình 3.2. 15 ống trụ làm chậm neutron bằng PE của hệ Bonner-Cylinder đã được chế tạo	62
Hình 3.3. Kết quả số liệu các hàm đáp ứng của hệ Bonner-Cylinder (từ PE0 đến PE10) được xác định bằng mô phỏng PHITS.....	67
Hình 3.4. Đồ thị so sánh tốc độ đếm mô phỏng và thực nghiệm ở khoảng cách 60 cm từ nguồn ²⁵² Cf đến hệ đo.....	69

MỤC LỤC

Trang

LỜI CAM ĐOAN	
LỜI CẢM ƠN	
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	
DANH MỤC CÁC BẢNG	
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	
MỤC LỤC	1
MỞ ĐẦU	4
Chương 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU .	7
1.1. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA NEUTRON	7
1.1.1. Neutron.....	7
1.1.2. Các đại lượng đặc trưng cho trường bức xạ neutron.....	8
1.1.2.1. Các đại lượng vật lý cơ bản.....	8
1.1.2.2. Các đại lượng an toàn	9
1.2. CÁC LOẠI NGUỒN NEUTRON	10
1.2.1. Nguồn neutron từ lò phản ứng hạt nhân	11
1.2.2. Nguồn neutron từ máy gia tốc.....	12
1.2.3. Nguồn neutron đồng vị	12
1.2.3.1. Nguồn phân hạch tự phát ^{252}Cf	12
1.2.3.2. Nguồn alpha-neutron (α,n).....	15
1.2.3.3. Nguồn photon-neutron (γ,n).....	16
1.3. TƯƠNG TÁC CỦA NEUTRON VỚI VẬT CHẤT.....	17
1.3.1. Các loại tương tác của neutron với vật chất.....	17
1.3.2. Sự suy giảm chùm neutron khi đi qua vật chất.....	18
1.3.3. Sự làm chậm neutron do tán xạ đàn hồi	18
1.3.3.1. Khả năng làm chậm của các vật liệu	18
1.3.3.2. Độ dài làm chậm và độ dài khuếch tán của neutron.....	19
1.3.4. Sự hấp thụ neutron.....	21
1.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP GHI ĐO PHỔ NĂNG LƯỢNG NEUTRON	21
1.4.1. Các phương pháp đo neutron nhiệt.....	22
1.4.1.1. Phản ứng $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$	22
1.4.1.2. Phản ứng $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$	23

1.4.1.3. Phản ứng ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$	24
1.4.1.4. Phản ứng phân hạch do neutron gây ra.....	24
1.4.1.5. Phản ứng bắt bức xạ (n, γ)	25
1.4.2. Các phương pháp đo neutron trên nhiệt và neutron nhanh.....	26
1.5. PHỔ KẾ ĐA KÊNH SỬ DỤNG ỐNG ĐẾM ${}^3\text{He}$	27
1.5.1. Ống đếm ${}^3\text{He}$	27
1.5.2. Phổ biên độ xung	28
1.5.3. Sơ đồ khối hệ phổ kế đa kênh	29
1.6. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHỔ NĂNG LƯỢNG NEUTRON BẰNG KỸ THUẬT LÀM CHẬM NEUTRON (BONNER).....	30
1.6.1. Lý thuyết hàm đáp ứng của hệ phổ kế Bonner-Cylinder	32
1.6.2. Các phương pháp giải cuộn (Unfolding).....	34
1.6.3. Phương pháp Monte Carlo	34
1.7. CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHÒNG PHITS	36
Chương 2. THỰC NGHIỆM VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU	41
2.1. THIẾT KẾ CẤU TRÚC HÌNH HỌC CỦA CÁC LỚP CHẤT LÀM CHẬM NEUTRON BẰNG PE CỦA HỆ BCS.....	41
2.2. CHẾ TẠO CÁC LỚP CHẤT LÀM CHẬM NEUTRON BẰNG PE CỦA HỆ BCS THEO THIẾT KẾ.....	46
2.3. MÔ PHÒNG MONTE CARLO ĐỂ XÁC ĐỊNH MA TRẬN SỐ LIỆU CÁC HÀM ĐÁP ỨNG TƯƠNG ỨNG THEO NĂNG LƯỢNG NEUTRON VÀ THEO ĐỘ DÀY CÁC LỚP LÀM CHẬM NEUTRON BẰNG PE ĐÃ CHẾ TẠO	47
2.4. THIẾT LẬP CẤU HÌNH PHỔ KẾ ĐO THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG ỐNG ĐẾM ${}^3\text{He}$ VÀ CÁC LỚP LÀM CHẬM BẰNG PE ĐÃ CHẾ TẠO	51
2.4.1. Trang thiết bị thực nghiệm.....	51
2.4.1.1. Thiết bị ghi đo neutron nhiệt	51
2.4.1.2. Nguồn neutron ${}^{241}\text{Am-Be}$ và ${}^{252}\text{Cf}$	53
2.4.1.3. Thiết bị điện tử hệ phổ kế đa kênh	56
2.4.2. Bố trí thiết lập cấu hình thực nghiệm	58
2.5. MÔ PHÒNG MONTE CARLO HỆ NNS VỚI NGUỒN BỨC XẠ NEUTRON (${}^{252}\text{Cf}$).....	60
Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	61
3.1. MÔ HÌNH THIẾT KẾ VÀ KẾT QUẢ CHẾ TẠO HỆ BONNER-CYLINDER	61

3.2. KẾT QUẢ XÁC ĐỊNH HÀM ĐÁP ỨNG CỦA HỆ PHỔ KẾ BONNER-CYLINDER	62
3.3. KẾT QUẢ ĐO THỰC NGHIỆM VÀ SO SÁNH VỚI MÔ PHỎNG. 67	
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	70
KẾT LUẬN.....	70
KIẾN NGHỊ	71
TÀI LIỆU THAM KHẢO	72
PHỤ LỤC	

MỞ ĐẦU

Vật lý hạt nhân ngày càng có nhiều ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực khoa học, công nghệ, kỹ thuật và đời sống. Vì vậy các phương pháp, thiết bị ghi đo bức xạ nói chung cũng như ghi đo neutron nói riêng ngày càng được quan tâm, phát triển. Nhằm đáp ứng yêu cầu thực tiễn ngày càng cao về cải tiến độ nhạy, độ phân giải, hiệu suất ghi và chất lượng xử lý số liệu. Đặc biệt là các ứng dụng và bảo đảm an toàn bức xạ neutron trong các lĩnh vực bảo vệ, kiểm tra, giám sát an ninh, an toàn bức xạ; lĩnh vực nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ bức xạ, năng lượng hạt nhân, nghiên cứu cơ bản và đào tạo về vật lý hạt nhân và nhiều lĩnh vực ứng dụng liên quan khác như bức xạ vũ trụ, phóng xạ môi trường, khai thác quặng Urani, xạ trị trong y tế, kiểm tra chất lượng công trình,... Đặc biệt tại các cơ sở hạt nhân hoặc cơ sở bức xạ có sử dụng nguồn bức xạ hạt neutron như lò phản ứng hạt nhân, máy gia tốc, nguồn đồng vị phát neutron, các thiết bị ghi đo neutron là rất cần thiết và cần được chuẩn hóa theo các quy định và tiêu chuẩn hiện hành. Trên thế giới và ở Việt Nam, hoạt động nghiên cứu khoa học nhằm hiểu rõ hơn về tương tác của neutron với vật chất, về các phương pháp thực nghiệm ghi đo bức xạ neutron là luôn có tính cấp thiết cao với mục tiêu chế tạo ra được các thiết bị ghi đo phổ năng lượng và định liều bức xạ neutron với độ chính xác cao và tiện dụng trong thực tiễn và chi phí vận hành thấp.

Trong lĩnh vực ghi đo và định liều bức xạ neutron, liều kế cá nhân thụ động thường được sử dụng trong tất cả các cơ sở bức xạ khác nhau, nhưng hạn chế cơ bản của loại liều kế này là phụ thuộc mạnh vào năng lượng neutron và ngưỡng phát hiện cao. Để đạt được độ chính xác cao trong các phép đo liều bức xạ neutron, các máy đo liều neutron cần thiết được sử dụng. Trong đó, yêu cầu thông tin về phổ năng lượng neutron cần được xác định để định lượng liều lượng neutron chính xác. Kết quả là, phép đo phổ năng lượng neutron là tiền thân để xác định các đại lượng đo liều, và do đó phương pháp đo phổ năng lượng neutron nhằm cung cấp thông tin về cường độ bức xạ và phổ năng lượng là rất quan trọng để xác định và mô tả đặc điểm của các trường bức xạ neutron hoặc bao gồm cả neutron và gamma. Một trong các phương pháp hiệu quả và đáp ứng các yêu cầu nêu trên là phương pháp làm chậm neutron sử dụng các quả cầu Bonner có đường kính khác nhau làm bằng vật liệu PE (Polyethylene)

và sử dụng một hệ đo neutron nhiệt dùng ống đếm ^3He hoặc ống đếm nhấp nháy $^6\text{Li(Eu)}$. Phương pháp này có nhiều ưu điểm như đo được phổ neutron với dải năng lượng rộng (từ năng lượng nhiệt tới vài chục MeV, thậm chí có thể lên đến hơn 2 GeV) và nguyên tắc vận hành đơn giản. Tuy nhiên, nhược điểm của các quả cầu Bonner có khối lượng tương đối nặng, trong quá trình đo phải tháo lắp ống đếm nhiều lần, và đặc biệt là khó chế tạo hoặc phải mua với chi phí cao.

Để nâng cao chất lượng và chủ động trong việc đo liều bức xạ, hiện tại Viện Nghiên cứu hạt nhân (NCHN) đang thực hiện nhiệm vụ nghiên cứu chế tạo một loại liều kế mới (dùng vật liệu nhiệt phát quang $\text{K}_2\text{GdF}_5:\text{Tb}$) có khả năng đồng thời định liều bức xạ neutron và gamma. Trong đó việc thiết kế chế tạo thiết bị phổ kế ghi đo phổ năng lượng neutron có khả năng đáp ứng trong một dải rộng năng lượng neutron từ 10^{-9} MeV đến 13 MeV là nội dung nghiên cứu rất cần thiết phải được thực hiện trong luận văn này. Trên cơ sở nghiên cứu tài liệu, các ưu điểm và giới hạn của các phương pháp ghi đo phổ neutron khác nhau và điều kiện thực tế, phương pháp làm chậm neutron bằng các lớp vật liệu PE hình trụ kết hợp đo neutron bằng đầu dò chứa khí ^3He , hay còn gọi là phương pháp Bonner-Cylinder, được lựa chọn để tiến hành nghiên cứu xác định phổ năng lượng neutron của nguồn chuẩn $^{241}\text{Am-Be}$ và ^{252}Cf . Phổ kế Bonner-Cylinder (BCS) hoạt động theo nguyên tắc tương tự như phổ kế Bonner-Sphere (BSS), ngoại trừ các lớp PE hình trụ là được sắp xếp bên trong nhau trong khi các hình cầu PE được chế tạo độc lập.

Ở Việt Nam, hệ phổ kế Bonner đã được phát triển và ứng dụng trong hoạt động đo chuẩn liều neutron tại Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân, Hà Nội. Tại Viện NCHN, cho đến hiện nay vẫn sử dụng liều kế và một số máy đo liều neutron chuyên dụng; việc đo phổ neutron trong lò phản ứng chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp kích hoạt neutron thông qua các phản ứng (n,γ) , (n,p) , (n,α) , (n,n') và (n,f) ; hoặc phương pháp xác định năng lượng proton giật lùi. Các phép đo đối với nguồn neutron đồng vị như $^{241}\text{Am-Be}$, ^{252}Cf chủ yếu mới được nghiên cứu bằng đầu dò nhấp nháy lỏng nhưng cũng mới ở giai đoạn phát triển các kỹ thuật phân biệt tín hiệu giữa neutron và gamma.

Mục đích của luận văn là: (i) thiết kế chế tạo các lớp làm chậm neutron bằng vật liệu PE có cấu trúc hình trụ có thể lồng ghép vào nhau nhằm tăng độ

dày làm chậm neutron qua mỗi phép đo, (ii) thiết lập phổ kế đa kênh dùng ống đếm ^3He và (iii) mô phỏng Monte Carlo xác định ma trận các hàm đáp ứng theo năng lượng, tương ứng với mỗi độ dày tăng dần của các lớp PE.

Nội dung của luận văn bao gồm phần mở đầu và ba chương với nội dung chính sau đây:

Chương 1. Tổng quan tài liệu và phương pháp nghiên cứu trình bày về: các đặc trưng cơ bản của neutron; các loại nguồn neutron; tương tác của neutron với vật chất; các phương pháp ghi đo phổ năng lượng neutron; phương pháp xác định phổ năng lượng neutron bằng kỹ thuật làm chậm neutron (Bonner-Cylinder); phương pháp mô phỏng xác định hàm đáp ứng (response function); phổ kế đa kênh sử dụng ống đếm ^3He .

Chương 2. Thực nghiệm và xử lý số liệu: Trình bày về thiết kế cấu trúc hình học của các lớp chất làm chậm neutron bằng PE; chế tạo các lớp chất làm chậm neutron bằng PE theo cấu trúc thiết kế; mô phỏng Monte Carlo để xác định ma trận số liệu các hàm đáp ứng tương ứng theo năng lượng neutron và theo độ dày các lớp làm chậm neutron đã chế tạo; mô phỏng Monte Carlo toàn hệ phổ kế Bonner-Cylinder theo cấu hình thực nghiệm với một nguồn bức xạ neutron loại ^{252}Cf ; thiết lập một cấu hình phổ kế đo thực nghiệm sử dụng ống đếm ^3He và các lớp làm chậm bằng PE đã chế tạo và so sánh với kết quả mô phỏng nhằm kiểm chứng các kết quả hàm đáp ứng.

Chương 3. Kết quả và thảo luận: trình bày kết quả đạt được và thảo luận, so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả mô phỏng, đề xuất hướng khắc phục những vấn đề còn tồn tại.

Những đóng góp của luận văn: thông qua việc nghiên cứu giải quyết bài toán này sẽ cung cấp một hệ phổ kế mới phục vụ ghi đo và đánh giá phổ năng lượng neutron đối với các nguồn neutron đồng vị.

Chương 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1.1. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA NEUTRON

1.1.1. Neutron

Neutron và proton là các hạt cơ bản cấu tạo nên hạt nhân nguyên tử được gọi chung là các nucleon, chúng tương tác với nhau thông qua lực tương tác mạnh trong phạm vi kích thước hạt nhân.

Các tính chất cơ bản của neutron là:

- Khối lượng nghỉ: $m_n \approx 1,008662 \text{ u} \approx 939,573 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \approx 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$;
- Điện tích: $q_n = 0 \text{ C}$;
- Thời gian sống trung bình: $\tau = 886 \text{ s}$;
- Spin: $s = 1/2$.

Vì neutron không mang điện nên không có tương tác điện với các electron ở vỏ nguyên tử và các proton trong hạt nhân; đồng thời có độ xuyên sâu đáng kể trong vật chất cho đến khi xảy ra va chạm hoặc tương tác với hạt nhân nguyên tử trong môi trường tương tác thông qua quá trình tán xạ hoặc bắt giữ. Các neutron thường là hạt rất bền khi chúng được liên kết chặt chẽ trong hạt nhân nguyên tử; trong khi các neutron tự do bên ngoài hạt nhân nguyên tử phân rã thành một proton, một điện tử và một phản neutrino điện tử ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$) với chu kỳ bán rã 10,6 phút [1]. Neutron tự do được giải phóng nhờ sự phân hạch hạt nhân hoặc phản ứng tổng hợp hạt nhân, sau đó các neutron này xảy ra phản ứng với các hạt nhân của các nguyên tử khác để tạo thành các đồng vị mới.

Bức xạ neutron là một dạng bức xạ ion hóa gián tiếp. Hiệu ứng ion hóa phát sinh chủ yếu thông qua va chạm với các hạt nhân nguyên tử nhẹ hoặc các thành phần của chúng, trong giai đoạn này neutron truyền năng lượng của chúng cho các hạt mang điện thứ cấp và làm cho các neutron chậm dần. Sau đó, các hạt hình thành thứ cấp này chuyển năng lượng của chúng sang vật chất bằng phương pháp ion hóa hoặc kích thích.

Xác suất xảy ra tương tác giữa một neutron tới và hạt nhân bia được biểu thị thông qua tiết diện phản ứng (σ), đơn vị là barn ($1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$). Khi một số lượng lớn các neutron có cùng năng lượng hướng về một lớp vật liệu nhất

định thì có thể xảy ra ba trường hợp khác nhau: đi xuyên qua vật liệu mà không tương tác; tương tác làm thay đổi hướng và năng lượng; bị bắt giữ.

Các nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực vật lý neutron ngày càng phổ biến và đa dạng đi kèm với công tác ghi đo neutron và vấn đề bảo vệ an toàn đối với bức xạ neutron càng được quan tâm và chú trọng phát triển. Với mục tiêu của đề tài là thiết kế một thiết bị phổ kế đa kênh để nâng cao chất lượng và chủ động trong việc đo liều bức xạ neutron. Các đặc trưng cơ bản của trường neutron sẽ được trình bày trong phần tổng quan của luận văn.

1.1.2. Các đại lượng đặc trưng cho trường bức xạ neutron

Các đại lượng được sử dụng trong bảo vệ bức xạ được xác định bởi Ủy ban Quốc tế về Đơn vị Bức xạ và Đo lường (ICRU) và được khuyến nghị bởi Ủy ban Quốc tế về An toàn bức xạ (ICRP) [2]. Trong bảo vệ bức xạ có thể phân biệt ba đại lượng khác nhau: đại lượng vật lý cơ bản, đại lượng an toàn và đại lượng thực hành.

1.1.2.1. Các đại lượng vật lý cơ bản

- Thông lượng neutron và suất lượng neutron:

+ Thông lượng neutron (thường gọi là thông lượng tổng/tích lũy – Fluence), Φ : tại một điểm nhất định trong trường bức xạ được định nghĩa bằng thương số giữa số neutron đến dN và diện tích mặt cắt ngang tương ứng dA :

$$\Phi = \frac{dN}{dA} \quad (1.1).$$

Đơn vị của thông lượng neutron là $n.m^{-2}$; đơn vị thường dùng là $n.cm^{-2}$.

+ Suất lượng neutron (thường gọi là thông lượng – Flux), φ : mô tả sự phụ thuộc vào thời gian của thông lượng neutron và được tính bằng độ biến thiên thông lượng $d\Phi$ trên một đơn vị thời gian (hoặc đạo hàm của thông lượng theo thời gian):

$$\varphi = \Phi' = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2).$$

Đơn vị của suất lượng neutron là $n.m^{-2}.s^{-1}$ (hoặc $n.cm^{-2}.s^{-1}$).

- Kerma, K : động năng được giải phóng trên mỗi đơn vị khối lượng, mô tả sự truyền năng lượng giữa các hạt không tích điện (như photon hoặc neutron) và các hạt mang điện thứ cấp được tạo ra bởi bức xạ ion hóa gián tiếp này. Kerma được định nghĩa bằng công thức (1.3).

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (1.3),$$

trong đó dE_{tr} là tổng trung bình của động năng ban đầu của tất cả các hạt mang điện được giải phóng bởi bức xạ ion hóa gián tiếp (các hạt không tích điện) trong vật liệu có khối lượng dm . Điều này bao gồm sự mất mát năng lượng do sự phát xạ của các hạt mang điện thứ cấp. Đơn vị của Kerma là $J.kg^{-1}$, còn gọi là Gray (Gy).

- Liều hấp thụ (Absorbed dose), D : là đại lượng đo liều cơ bản và mô tả sự truyền năng lượng từ hạt mang điện cho vật chất. Nó được định nghĩa là thương số giữa năng lượng trung bình $d\bar{\varepsilon}$ được hấp thụ bởi một vật liệu với khối lượng dm của vật liệu đó theo công thức (1.4):

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (1.4).$$

Đơn vị của liều hấp thụ là $J.kg^{-1}$, gọi là Gray (Gy).

1.1.2.2. Các đại lượng an toàn

- Tương đương liều (còn gọi là liều tương đương), H : là tích số của liều hấp thụ D tại một vị trí trong mô với hệ số phẩm chất Q của bức xạ gây ra liều hấp thụ D tại điểm đó:

$$H = Q.D \quad (1.5).$$

Đơn vị của tương đương liều là $J.kg^{-1}$, đơn vị thường dùng là Sievert (Sv).

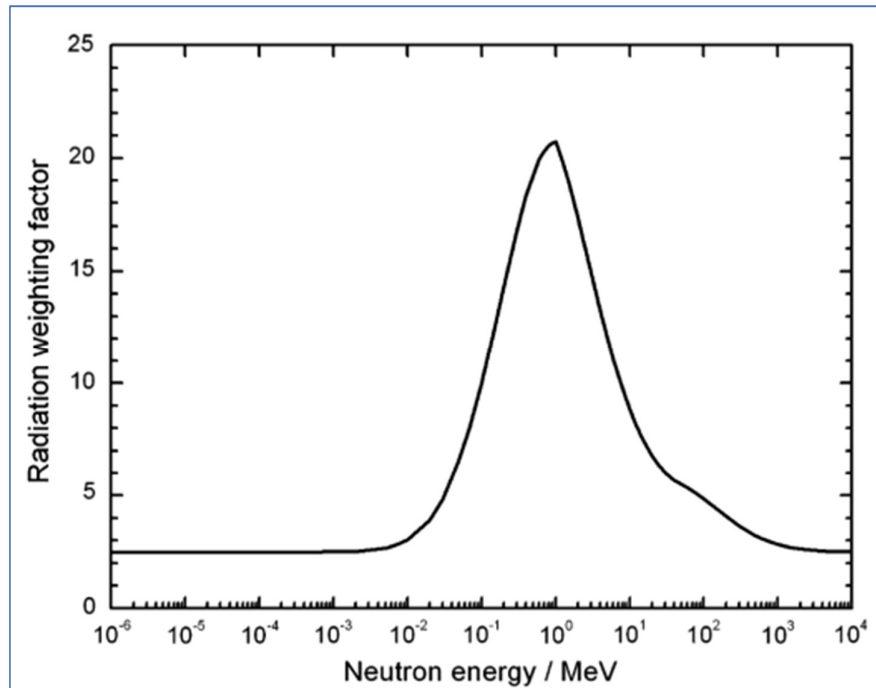
Hệ số phẩm chất không thứ nguyên Q đã được đưa vào để tính đến những ảnh hưởng khác nhau của cùng một liều lượng hấp thụ vì đối với các loại bức xạ và năng lượng khác nhau thì chúng không gây ra hiệu ứng sinh học giống nhau.

Hệ số bảo vệ bức xạ (trọng số bức xạ) w_R dựa trên loại và năng lượng của bức xạ R . Trong bảo vệ bức xạ trọng số này được áp dụng cho liều hấp thụ được tính trung bình trên một cơ quan hoặc mô. Vì vậy liều tương đương trong mô hoặc cơ quan T được xác định bởi:

$$H_T = \sum_R w_R . D_{T,R} \quad (1.6),$$

ở đây w_R là trọng số bức xạ đối với bức xạ R và $D_{T,R}$ là liều lượng hấp thụ trung bình trong một cơ quan hoặc mô T do bức xạ R gây ra. Tổng được lấy trên tất cả các loại bức xạ liên quan. Đơn vị của liều tương đương là $J.kg^{-1}$, đơn vị thường dùng là Sievert (Sv). Đối với neutron, trọng số bức xạ w_R phụ thuộc vào

năng lượng và có thể được biểu diễn bằng một đường cong liên tục dưới dạng một hàm năng lượng như Hình 1.1 [3].



Hình 1.1. Sự phụ thuộc năng lượng của hệ số trọng số bức xạ đối với neutron [3]

- Liều hiệu dụng (Effective dose), E: là tổng có trọng số các liều tương đương của các cơ quan hoặc mô khác nhau, định lượng rủi ro của các hiệu ứng ngẫu nhiên. Được xác định bằng công thức:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T \sum_R w_T w_R D_{T,R} \quad (1.7),$$

trong đó, w_T là hệ số trọng số mô của mô T, hệ số này coi là độ nhạy bức xạ, H_T là liều tương đương với mô đã được nêu ở trên.

Giám sát bảo vệ bức xạ bao gồm giám sát khu vực để kiểm soát bức xạ tại nơi làm việc cũng như giám sát cá nhân để kiểm soát và hạn chế phơi nhiễm cá nhân.

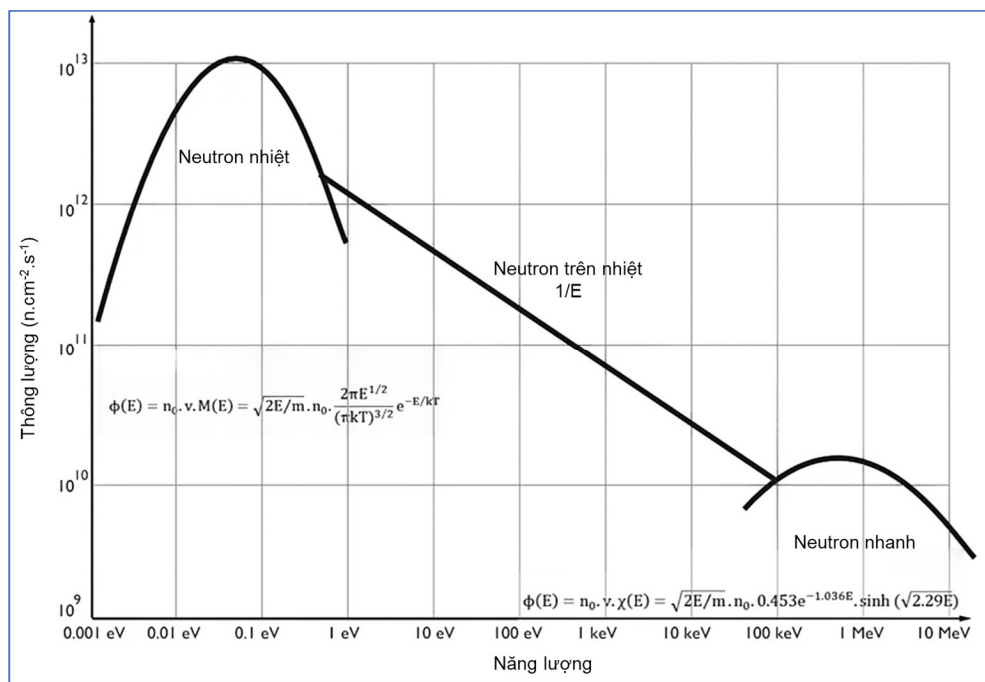
1.2. CÁC LOẠI NGUỒN NEUTRON

Trong thực tế, có nhiều loại nguồn neutron khác nhau, vì vậy tùy theo nhu cầu sử dụng và phương pháp phân tích để lựa chọn loại nguồn phù hợp. Đặc trưng quan trọng nhất của một nguồn neutron là năng lượng neutron và thông lượng neutron do nó phát ra. Các nguồn neutron phổ biến gồm có: nguồn

neutron đồng vị, nguồn neutron từ máy gia tốc, nguồn neutron từ lò phản ứng hạt nhân. Các thiết bị bức xạ như lò phản ứng hạt nhân và máy gia tốc các hạt tích điện là nguồn sinh neutron trực tiếp có dải phân bố năng lượng rộng, thông lượng lớn và quá trình phát neutron sẽ kết thúc khi lò phản ứng và máy gia tốc ngừng hoạt động.

1.2.1. Nguồn neutron từ lò phản ứng hạt nhân

Lò phản ứng hạt nhân là thiết bị khởi phát và duy trì các phản ứng phân hạch hạt nhân nguyên tử có số khối lớn như ^{233}U , ^{235}U hoặc ^{239}Pu dưới tác dụng của neutron, sau mỗi phân hạch trung bình sẽ có 2,5 neutron nhanh phát ra, các neutron đó được làm chậm và tiếp tục gây ra chuỗi phản ứng phân hạch dây chuyền. Phổ neutron trong vùng hoạt lò phản ứng được hình thành chủ yếu dưới tác động của ba quá trình vật lý: phân hạch, làm chậm và nhiệt hóa. Các lò phản ứng hạt nhân là những nguồn neutron có cường độ mạnh nhất, phân bố năng lượng neutron của lò phản ứng hạt nhân được mô tả như Hình 1.2 (neutron nhiệt tuân theo quy luật phân bố Maxwell-Boltzman, neutron nhanh tuân theo quy luật phân bố Watt). Nhiều loại lò phản ứng hạt nhân nghiên cứu điển hình có thể cung cấp một thông lượng neutron ổn định vào khoảng 10^{14} n.cm⁻².s⁻¹. Trong lò phản ứng hạt nhân như lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt xảy ra ba quá trình tương tác chính của neutron là làm chậm và khuếch tán neutron, hấp thụ neutron và phản ứng phân hạch hạt nhân [4, 5].



Hình 1.2. Phân bố năng lượng neutron của lò phản ứng hạt nhân [6]

1.2.2. Nguồn neutron từ máy gia tốc

Máy gia tốc là nguồn phát neutron năng lượng cao, neutron được tạo ra bằng cách dùng các hạt mang điện như proton hay deuteri được tăng tốc bắn phá các hạt nhân bia khác nhau. Một số nguồn điển hình như:

- Nguồn Deuterium-tritium: Các hạt deuteri được gia tốc lên đến 200 keV bắn vào bia tritium theo phản ứng ${}^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n + Q$. Phản ứng này giải phóng năng lượng 17,6 MeV trong đó 14,1 MeV được chuyển trực tiếp thành động năng của neutron phát ra. Các neutron phát ra từ nguồn này là neutron đơn năng, phân bố đẳng hướng và vì vậy thông lượng của nó giảm theo quy luật bình phương khoảng cách. Cường độ neutron sinh ra khoảng $10^{11} - 10^{12} \text{ n.s}^{-1}$ với thông lượng neutron nhanh vào khoảng $10^9 - 10^{10} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

- Nguồn phát neutron từ máy gia tốc Cyclotron: Các hạt deuteri được gia tốc và bắn vào bia Beryllium theo phản ứng ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{Be}$. Phổ neutron do máy gia tốc này tạo ra là không đơn năng mà phân bố quanh một giá trị năng lượng nhất định, neutron phát ra có thông lượng cao nhất theo hướng của chùm tia deuteron và tùy thuộc vào số lượng deuteron của chùm tia tới. Nguồn này có thể tạo ra một chùm neutron có độ hội tụ cao.

1.2.3. Nguồn neutron đồng vị

Các đồng vị là nguồn cung cấp trường neutron thuận lợi nhất cho mục đích chuẩn liều neutron với ưu điểm là thường có kích thước nhỏ, thuận tiện trong quá trình vận chuyển, dễ dàng trang bị các thiết bị bảo hộ bức xạ, chi phí vận hành và bảo trì thấp.

1.2.3.1. Nguồn phân hạch tự phát ${}^{252}\text{Cf}$

Phân hạch tự phát là hạt nhân nặng tự phân rã thành một số phần phân hạch (thường là hai phần), kèm theo phát ra đồng thời các neutron nhanh. Các mảnh phân hạch có khối lượng nặng có thể kèm theo phát ra các tia beta, gamma. Trong Bảng 1.1 là một vài số liệu của các nguồn phân hạch tự phát.

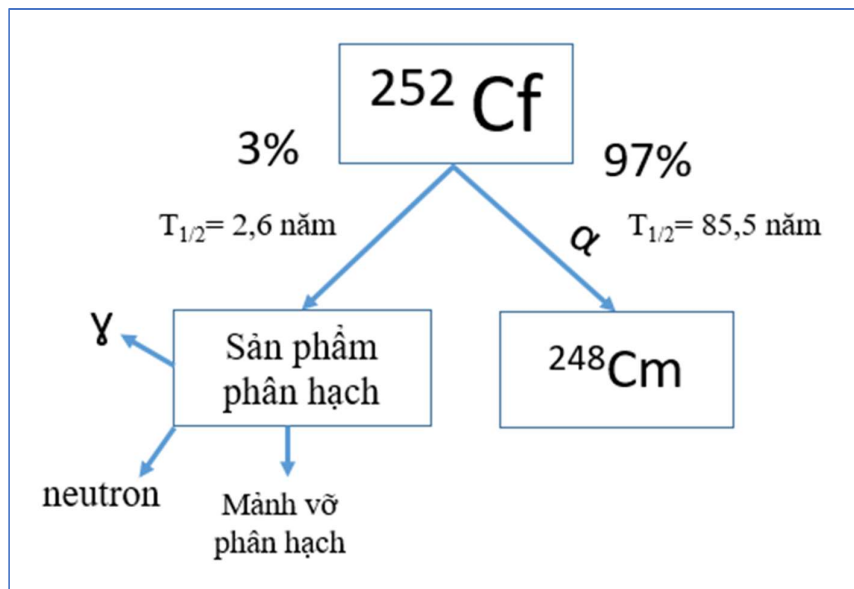
Bảng 1.1. Nguồn neutron phân hạch tự phát

Hạt nhân	Chu kỳ bán rã	Số neutron trên một phân hạch	Cường độ phát neutron trên 1 mg neutron/(mg.s)
${}^{236}\text{Pu}$	2,85 năm	1,9	26

^{238}Pu	89,4 năm	2,0	2,2
^{240}Pu	6600 năm	2,1	1,1
^{242}Pu	$3,79 \cdot 10^5$ năm	2,3	1,7
^{242}Cm	162,5 ngày	2,3	$1,7 \cdot 10^4$
^{244}Cm	18,4 năm	2,6	$9 \cdot 10^3$
^{252}Cf	2,6 năm	3,5	$2,7 \cdot 10^9$

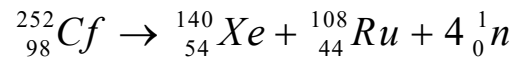
Tất cả các hạt nhân trên đều phát α . Vì vậy có thể xảy ra đồng thời phản ứng (α, n) trên các hạt nhân tạp chất và do vậy phổ neutron của những nguồn này bao gồm đóng góp của các phản ứng tương ứng. Trên thực tế, các nguồn ^{252}Cf và ^{240}Pu được sử dụng rộng rãi. Ví dụ: nguồn ^{252}Cf với chất làm chậm D_2O dày 15 cm có thể tạo ra trường chuẩn với các mức năng lượng trung bình dùng cho việc chuẩn các thiết bị đo liều neutron [7].

Đồng vị phóng xạ ^{252}Cf là nguồn neutron phân hạch tự phát phổ biến nhất với hiệu suất phản ứng phân hạch là khoảng 3%, thời gian bán rã là 2,638 năm đủ dài để thuận tiện trong sử dụng. Ở đồng vị này, cơ chế phân rã chiếm ưu thế là phân rã alpha (Hình 1.3), và tốc độ phát alpha gấp khoảng 32 lần tốc độ phân hạch tự phát.

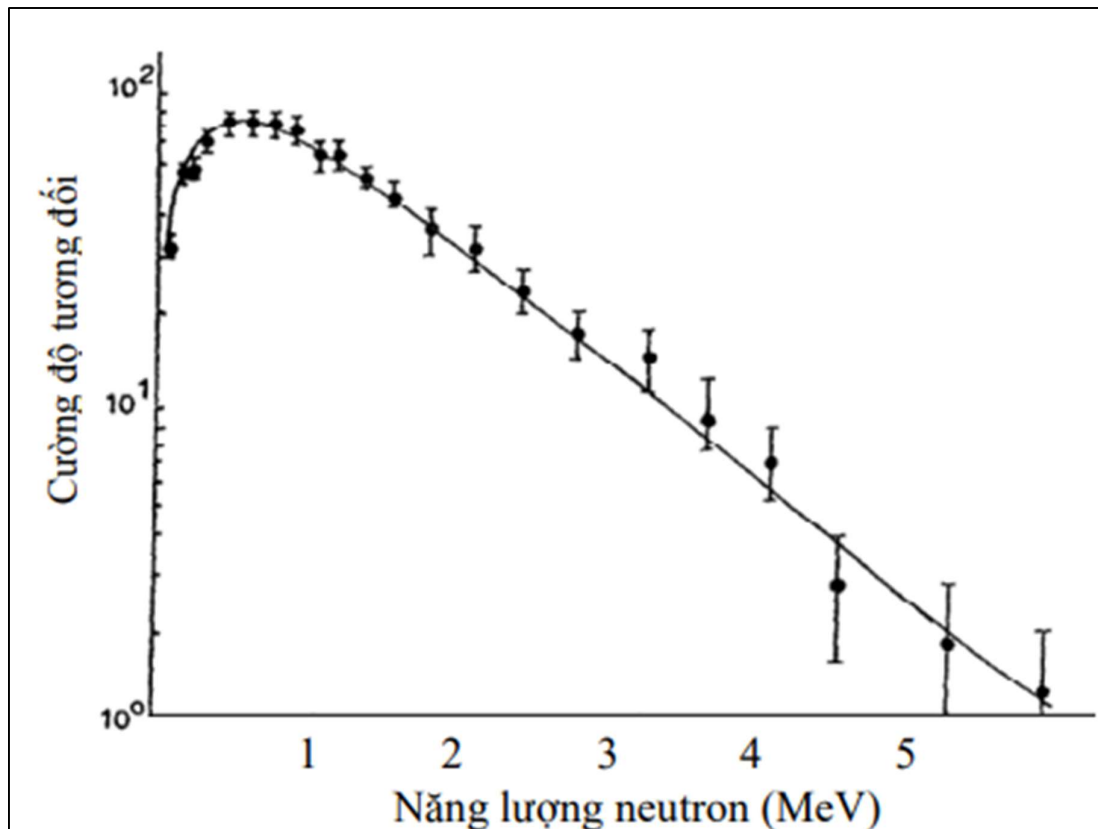


Hình 1.3. Cơ chế phân rã của đồng vị ^{252}Cf

Hiệu suất phát neutron của nguồn ^{252}Cf là 0,116 n/s/Bq, trong đó hoạt độ phóng xạ bao gồm cả tốc độ phân rã alpha và phân hạch tự phát. Neutron phát ra có phổ năng lượng phân bố từ năng lượng nhiệt đến cỡ vài MeV và có năng lượng trung bình vào khoảng 2,3 MeV. Cường độ phát neutron trên $1\mu\text{g } ^{252}\text{Cf}$ là $2,28 \cdot 10^6$ n/s. Một phản ứng phân hạch ^{252}Cf tạo ra 4 neutron với phương trình phản ứng có thể xảy ra như sau:

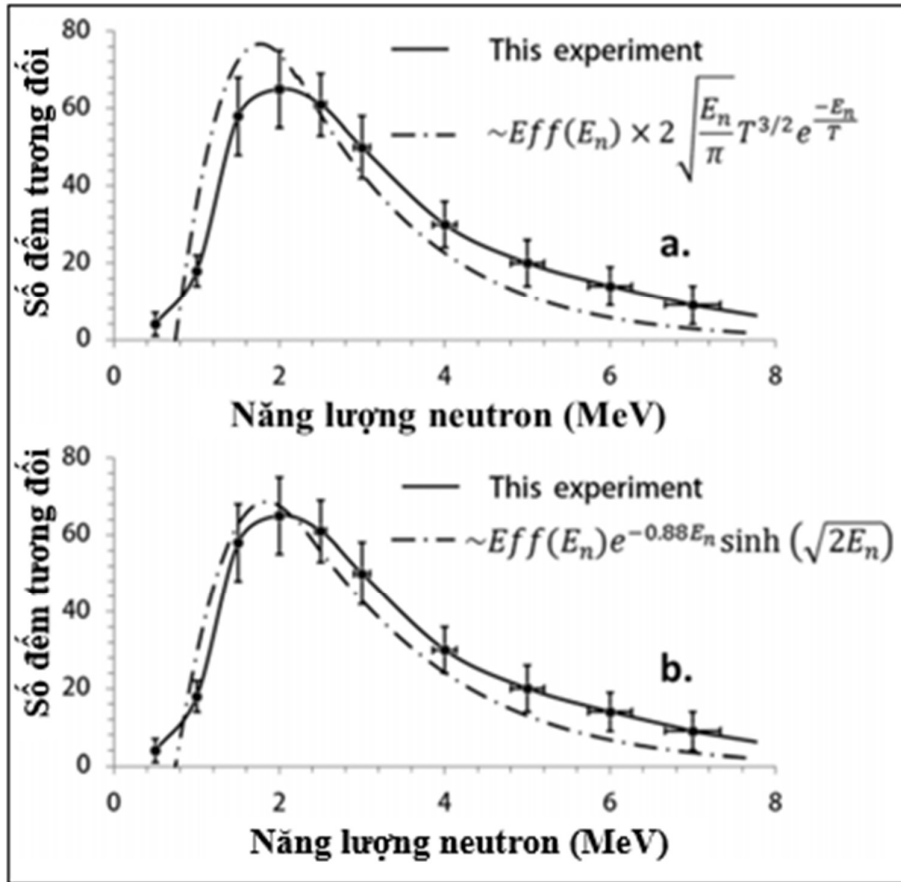


Ví dụ về phổ năng lượng của neutron từ nguồn ^{252}Cf được biểu thị trên Hình 1.4 [8], có đỉnh trong khoảng từ 0,5 MeV đến 1 MeV. Tuy nhiên, hiệu suất phát neutron đáng kể có thể mở rộng đến 8 MeV hay 10 MeV.



Hình 1.4. Phổ năng lượng neutron từ phân hạch tự phát của ^{252}Cf [8]

Phổ năng lượng của neutron từ nguồn ^{252}Cf được đo bằng phổ kế n-ToF biểu thị trên Hình 1.5 [9].



Hình 1.5. Phổ năng lượng neutron phân hạch ^{252}Cf được đo bằng phổ kế n-ToF [9], (a) phổ đo được so sánh với hình dạng thu được khi sử dụng hàm phân bố Maxwell-Boltzmann, (b) phổ đo được so sánh với hình dạng thu được khi sử dụng hàm phân bố Watt

So với các nguồn khác thì ^{252}Cf chứa lượng chất phóng xạ nhỏ (thường cỡ μg), và do vậy có thể sản xuất nguồn với kích thước rất nhỏ, kích thước này hầu như do lớp bao bọc bên ngoài quyết định.

1.2.3.2. Nguồn alpha-neutron (α, n)

Nguồn (α, n) là một nguồn đồng vị có chứa một số hạt nhân phát phóng xạ alpha điển hình như Radium (Ra), Polonium (Po) hoặc Americium (Am) trộn đều với vật liệu bia là các nguyên tố nhẹ như Beryllium (Be) hoặc Lithium (Li) và chứa trong một ống kín. Đặc trưng của các nguồn (α, n) thường gặp được mô tả trong Bảng 1.2. Nguồn tạo ra neutron theo phản ứng $X(\alpha, n)Y$ điển hình như $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$. Neutron được sinh ra từ phản ứng $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ không phải chỉ do hạt alpha của các nguồn đồng vị phóng xạ alpha ban đầu tương tác với Be mà còn có thể do các hạt alpha của sản phẩm phân rã sau phóng xạ tương

tác với bia Be. Ví dụ như nguồn $^{226}\text{Ra-Be}$ có tất cả 5 nhóm hạt alpha có năng lượng khác nhau từ 4,8 MeV đến 7,7 MeV; chúng sẽ mất năng lượng trong phản ứng (α, n) khi đi qua vật liệu bia. Các hạt alpha có năng lượng khác nhau nên phổ năng lượng neutron là phổ liên tục có giá trị 1 MeV đến 13 MeV. Do hiệu ứng tự hấp thụ hạt alpha trong nguồn mà năng lượng neutron phát ra trung bình chỉ khoảng vài MeV.

Bảng 1.2. Các nguồn neutron theo phản ứng (α, n) [4]

Nguồn	Thời gian bán rã	Suất ra của neutron (10^6 n/Ci.s)	Số hạt gamma trên 1 neutron	Năng lượng neutron trung bình (MeV)	Năng lượng neutron cực đại (MeV)
Ra-Be	1620 năm	17	$5 \cdot 10^3$	4,63	12,2
Po-Be	138 ngày	1,6 ÷ 3,0	~ 1	5,3	10,9
Pu-Be	24360 năm	1,7	~ 1	4,5	10,7
Ra-B	1620 năm	6,8	$2 \cdot 10^4$	-	-
Po-B	138 ngày	0,9	-	2,7	5
Rn-Be	3,8 ngày	15	-	-	12,2

Trong nghiên cứu thiết kế và chế tạo các lớp chất làm chậm neutron bằng PE và xác định hàm đáp ứng của hệ phổ kế Bonner-Cylinder, chúng tôi sử dụng hệ phổ kế đa kênh để tiến hành đo thực nghiệm phổ neutron của nguồn ^{252}Cf và nguồn $^{241}\text{Am-Be}$, đặc điểm của các nguồn này sẽ được trình bày chi tiết trong Chương 2.

1.2.3.3. Nguồn photon-neutron (γ, n)

Khi tia gamma có năng lượng lớn hơn năng lượng liên kết của neutron trong hạt nhân (năng lượng này có giá trị xác định) thì có thể làm neutron thoát khỏi hạt nhân trở thành photon-neutron. Do vậy người ta sử dụng tia gamma phát ra từ các hạt nhân phóng xạ (tự nhiên hoặc nhân tạo) chiếu vào các hạt nhân bia như Beryllium hay Deuterium để thu được photon-neutron theo các phương trình $^9\text{Be}(\gamma, n)^8\text{Be}$ hay $^2\text{D}(\gamma, n)^1\text{H}$. Nguồn photon-neutron là nguồn neutron đơn năng nên được sử dụng phổ biến cho mục đích nghiên cứu, hiệu chuẩn thiết bị và định liều neutron.

1.3. TƯƠNG TÁC CỦA NEUTRON VỚI VẬT CHẤT

1.3.1. Các loại tương tác của neutron với vật chất

Khi neutron truyền qua vật chất có thể có tương tác điện từ do sự tương tác giữa các momen từ của neutron và electron nguyên tử. Tương tác này yếu đến mức không đủ năng lượng để ion hóa nguyên tử, vào khoảng 10 eV, nó phải xảy ra ở khoảng cách 10^{-13} m, tiết diện mất năng lượng neutron do ion hóa bằng 10^{-22} cm² là không đáng kể. Ngoài ra, sự tồn tại momen từ của neutron có thể giải thích bằng giả thuyết cho rằng trong quá trình sống neutron được cấu tạo từ hai hạt với điện tích ngược dấu nhau phân bố trong nó, do đó sẽ có tương tác với điện tích electron. Tuy nhiên tương tác này còn yếu hơn cả tương tác từ giữa các momen. Vì vậy tương tác của neutron với vật chất chủ yếu là tương tác với hạt nhân nguyên tử và phụ thuộc rất mạnh vào năng lượng của nó. Phổ năng lượng neutron rộng và tùy vào mục đích khai thác có thể được phân loại dựa trên động năng E_n của chúng:

- Neutron năng lượng cao : $E_n > 100 \text{ MeV}$
- Neutron nhanh : $100 \text{ keV} < E_n < 100 \text{ MeV}$
- Neutron trên nhiệt : $0,1 \text{ eV} < E_n < 100 \text{ keV}$
- Neutron nhiệt : $E_n \approx 0,025 \text{ eV}$
- Neutron lạnh : $E_n < 0,025 \text{ eV}$

Ta có thể chia tương tác của neutron khi truyền qua vật chất thành hai loại [4]:

Tán xạ đàn hồi (n,n): thường là tương tác xảy ra giữa các neutron nhanh có năng lượng từ 100 keV đến 10 MeV với các vật liệu nhẹ (Z thấp) như Hydro, Carbon hoặc Oxy.... Trong tương tác này neutron chuyển một phần năng lượng của chúng cho hạt nhân giạt lùi.

- Tán xạ không đàn hồi (n,n') là tương tác chủ yếu giữa các neutron có năng lượng cao trên 1 MeV với các vật liệu Z cao và có khả năng gây ra phản ứng tạo thành như (n, xn) hoặc (n, np); các phản ứng hạt nhân như (n,γ), (n,p), (n,α), (n,f),...

Vai trò của mỗi quá trình phụ thuộc vào tiết diện của chúng. Trong một số vật liệu, tán xạ đàn hồi rất đáng kể, khi đó neutron nhanh mất năng lượng qua một loạt các va chạm đàn hồi liên tiếp nhau với các hạt nhân của môi trường trở thành neutron trên nhiệt với phân bố năng lượng tỷ lệ với $1/E_n$, đó chính là quá trình làm chậm neutron. Khi neutron được làm chậm đến vùng năng lượng

cộng hưởng hoặc vùng năng lượng nhiệt thì nó dễ dàng xảy ra tương tác bắt neutron với các hạt nhân bia của môi trường hấp thụ.

1.3.2. Sự suy giảm chùm neutron khi đi qua vật chất

Khi chùm hẹp các hạt neutron đi qua môi trường cường độ chùm tia giảm theo hàm số mũ. Cường độ chùm neutron I sau lớp hấp thụ dày x liên hệ với cường độ chùm neutron I_0 trước lớp hấp thụ theo công thức (1.8).

$$I = I_0 \cdot e^{-\Sigma x} = I_0 \cdot e^{-\sigma N x} \quad (1.8),$$

trong đó $\Sigma = \sigma N$ là tiết diện tương tác vĩ mô, σ là tiết diện tương tác vi mô của môi trường vật chất với neutron còn N là số các hạt nhân của môi trường trong 1 cm^3 .

1.3.3. Sự làm chậm neutron do tán xạ đàn hồi

1.3.3.1. Khả năng làm chậm của các vật liệu

Neutron nhanh khi tương tác với các vật liệu nhẹ sẽ được làm chậm do tán xạ đàn hồi, năng lượng neutron sẽ giảm dần khi đi qua các môi trường làm chậm.

Giả sử hạt neutron khối lượng bằng 1 và động năng ban đầu E tương tác với hạt nhân đứng yên có khối lượng A , năng lượng sau tán xạ của neutron là E' . Theo định luật bảo toàn động năng và động lượng của quá trình tán xạ đàn hồi, ta có:

$$\varepsilon E \leq E' \leq E \quad (1.9),$$

trong đó

$$\varepsilon = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2 \quad (1.10).$$

Trong công thức (1.9), $E' = E$ khi neutron tán xạ về phía trước còn $E' = \varepsilon E$ khi neutron tán xạ giật lùi về phía sau (tức là va chạm chạm trán). Theo công thức (1.10) trong va chạm với các hạt nhân hydrogen thì $\varepsilon = 0$, do đó theo công thức (1.9) neutron truyền toàn bộ động năng của mình cho hydrogen khi va chạm trực diện (với góc tán xạ bằng 0). Tuy nhiên, đối với các hạt nhân nặng hơn, do $\varepsilon \neq 0$ nên neutron không thể truyền toàn bộ động năng trong một va chạm. Như vậy, hạt nhân nhẹ làm chậm neutron hiệu quả hơn hạt nhân nặng.

Tham số va chạm hay độ mất năng lượng logarit trung bình theo công thức (1.11) được dùng để biểu thị độ mất năng lượng khi neutron va chạm đàn hồi.

$$\xi = \overline{\ln \frac{E}{E'}} = 1 + \frac{\varepsilon \ln \varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (1.11),$$

trong đó, dấu gạch ngang ký hiệu việc lấy trung bình theo số các neutron tham gia tán xạ và theo các góc tán xạ.

Do $\xi = \overline{\ln \frac{E}{E'}}$ nên $\overline{\frac{E'}{E}} = e^{-\xi}$, hay phần năng lượng trung bình của neutron

vào được truyền cho hạt nhân bia trong một va chạm là:

$$f = 1 - \overline{\frac{E'}{E}} = 1 - e^{-\xi} \quad (1.12).$$

Theo đó, đối với hydrogen có $\xi = 1$ thì phần năng lượng trung bình của neutron nhanh truyền cho hạt hydrogen trong một va chạm là $f = 63\%$, còn đối với carbon thì $\xi = 0,159$ nên $f = 14,7\%$.

Số va chạm cần thiết để làm chậm neutron từ năng lượng E_1 đến năng lượng E_2 là:

$$S(E_1, E_2) = \frac{1}{\xi} \ln \frac{E_1}{E_2} \quad (1.13).$$

Như vậy, số va chạm cần thiết để chuyển từ electron nhanh có năng lượng $E_0 = 2 \text{ MeV}$ thành neutron nhiệt có năng lượng $E_T = 0,025 \text{ eV}$ là:

$$S_T = S(E_0, E_T) = \frac{18,2}{\xi} \quad (1.14).$$

Từ các công thức ta nhận thấy rằng khi số khối của các hạt nhân tăng thì ξ giảm và do đó số va chạm cần thiết để chuyển từ neutron nhanh thành neutron nhiệt cũng tăng. Cho thấy các hạt nhân nhẹ có tác dụng làm chậm tốt hơn các hạt nhân nặng. Vật liệu làm chậm tốt như H_2O , D_2O , Be, C,...

1.3.3.2. Độ dài làm chậm và độ dài khuếch tán của neutron

Độ dài làm chậm là quãng đường mà neutron nhanh đi được trong môi trường cho đến khi trở thành neutron nhiệt. Độ dài làm chậm bằng căn bậc hai của tuổi Fermi $\tau(E)$ được xác định theo công thức:

$$\tau(E) = - \int_{E_0}^E \frac{\lambda_s \lambda_r}{3\xi} \frac{dE}{E} = \frac{\lambda_s \lambda_r}{3\xi} \ln \frac{E_0}{E} \quad (1.15),$$

trong đó $E_0 = 2 \text{ MeV}$ là năng lượng neutron nhanh, E là năng lượng neutron trong quá trình làm chậm, λ_s và λ_{tr} là các độ dài tán xạ và độ dài dịch chuyển của neutron trong môi trường. Độ dài dịch chuyển được xác định như sau:

$$\lambda_{tr} = \frac{\lambda_s}{1 - \overline{\cos \theta}} \quad (1.16),$$

với $\overline{\cos \theta} = \frac{2}{3A}$ là trung bình cosin của góc bay của neutron sau tán xạ.

Với $E = E_T = 0,025 \text{ eV}$ thì $\tau(E_T)$ là tuổi neutron nhiệt còn $\sqrt{\tau(E_T)}$ là độ dài làm chậm.

Sau khi các neutron nhanh được làm chậm trở thành neutron nhiệt, các neutron khuếch tán trong môi trường cho đến khi bị hấp thụ. Độ dài khuếch tán L là quãng đường mà neutron đi được từ khi trở thành neutron nhiệt đến lúc bị hấp thụ và được xác định bởi công thức:

$$L = \sqrt{\frac{\lambda_a \lambda_{tr}}{3}} \quad (1.17),$$

trong đó, λ_a là độ dài hấp thụ neutron nhiệt của môi trường. Với môi trường có độ dài khuếch tán L thì chùm tia neutron nhiệt bị suy giảm khi đi qua môi trường có bề dày x được xác định như sau:

$$I = I_0 e^{-x/L} \quad (1.18).$$

Các neutron khuếch tán với hệ số khuếch tán D được xác định qua độ dài dịch chuyển như sau:

$$D = \frac{\lambda_{tr}}{3} \quad (1.19).$$

Đối với một nguồn điểm S neutron nhiệt trong 1 giây đặt trong một quả cầu làm chậm bán kính R với độ dài khuếch tán L , hệ số khuếch tán D thì mật độ thông lượng neutron nhiệt thoát khỏi bề mặt quả cầu được tính theo công thức (1.20) [4].

$$\Phi = \frac{S e^{-R/L}}{4\pi R D} \quad (1.20).$$

1.3.4. Sự hấp thụ neutron

Trong quá trình neutron nhanh được làm chậm thành neutron trên nhiệt hay neutron nhiệt trong môi trường, xác suất hấp thụ chúng tăng dần. Tiết diện hấp thụ của nhiều hạt nhân đối với neutron ở miền năng lượng nhiệt tuân theo quy luật $1/v$ như sau:

$$\sigma \sim \frac{1}{\sqrt{E}} \sim \frac{1}{v} \quad (1.21).$$

Chẳng hạn đối với ^{10}B , quy luật này đúng trong miền năng lượng từ 0,001 eV đến 1000 eV. Tiết diện neutron có giá trị tại năng lượng nhiệt $E_T = 0,025$ eV là 3848 ± 38 barn. Khi đó quy luật trên có thể viết thành:

$$\sigma = \sigma_T \frac{v_T}{v} = \sigma_T \sqrt{\frac{E_T}{E}} \quad (1.22).$$

Các phản ứng hấp thụ neutron nhiệt thường gặp như $\text{H}^1(n,\gamma)\text{H}^2$ với $\sigma_T = 0,33$ barns; $\text{N}^{14}(n,p)\text{C}^{14}$ với $\sigma_T = 1,70$ barns; $\text{B}^{10}(n,\alpha)\text{Li}^7$ với $\sigma_T = 4,01 \cdot 10^3$ barns và $\text{Cd}^{113}(n,\gamma)\text{Cd}^{114}$ với $\sigma_T = 2,1 \cdot 10^4$ barns.

1.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP GHI ĐO PHỔ NĂNG LƯỢNG NEUTRON

Neutron không mang điện nên nó có thể được phát hiện bằng phương pháp ion hóa trực tiếp bởi tương tác của chúng trong một vật liệu nhất định. Các tương tác neutron được khai thác trong các phương pháp phát hiện neutron là phản ứng hạt nhân như (n,α) , (n,p) , (n,n') , (n,f) và (n,γ) có thể tạo ra bức xạ thứ cấp có năng lượng đủ cao để phát hiện gián tiếp. Các phản ứng như (n,α) , (n,p) , (n,f) sinh ra các hạt nhân giạt lùi, proton, alpha và các mảnh vỡ phân hạch là các hạt mang điện có thể dễ dàng phát hiện được. Vì lý do này, máy đo neutron thường bao gồm sự kết hợp của vật liệu mục tiêu thích hợp cho quá trình chuyển đổi và máy đo thông thường cho các sản phẩm phản ứng.

Trong ghi đo neutron người ta thường đo mật độ thông lượng neutron của từng nhóm riêng biệt. Đối với việc đo mật độ thông lượng neutron ở một dải năng lượng nào đó cần giải quyết được hai khó khăn do nền phông của mật độ thông lượng neutron ở các miền năng lượng khác và nền phông gamma cường độ cao gây ra.

Các phương pháp đo phổ neutron có thể được phân thành bảy nhóm dựa trên nguyên tắc được sử dụng [1]:

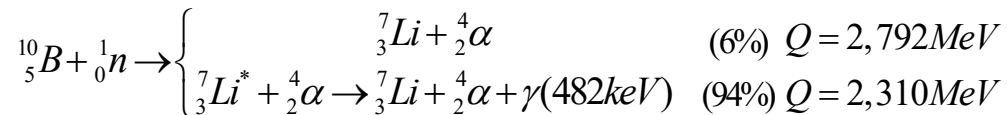
- Sự tán xạ đàn hồi của neutron và phép đo năng lượng của hạt nhân giật lùi ;
- Phép đo năng lượng của các hạt mang điện được giải phóng trong các phản ứng hạt nhân gây ra bởi neutron;
- Các phương pháp đo vận tốc neutron;
- Các phương pháp ngưỡng, trong đó sự xuất hiện của hiệu ứng gây ra bởi neutron;
- Các phương pháp trong đó sự phân bố năng lượng của neutron được xác định bằng cách làm chậm neutron kết hợp thuật toán giải cuộn;
- Nhiều xạ neutron;
- Phép đo phân bố thời gian của sự làm chậm đối với một xung các neutron năng lượng cao trong một môi trường thích hợp.

1.4.1. Các phương pháp đo neutron nhiệt

Các phản ứng chính được khai thác trong các phương pháp đo neutron chậm được mô tả bao gồm:

1.4.1.1. Phản ứng $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$

Phương trình phản ứng như sau:



Trong cả hai trường hợp, giá trị Q đều rất lớn so với năng lượng của neutron tới, do đó năng lượng của hạt α và ^7Li tương ứng với chính giá trị Q đó. Động năng của các hạt α và ^7Li lần lượt là 1,78 MeV và 1,012 MeV trong trường hợp ^7Li ở trạng thái cơ bản (chiếm tỷ lệ 6%) hoặc 1,47 MeV và 0,84 MeV trong trường hợp ^7Li ở trạng thái kích thích (chiếm tỷ lệ 94%).

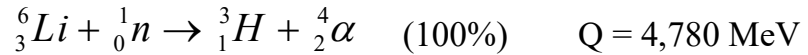
Tiết diện neutron nhiệt cho phản ứng này là khoảng 3840 barn. Giá trị này giảm nhanh khi năng lượng neutron tăng lên, tỷ lệ với $1/v$, trong đó v là vận tốc của neutron (Hình 1.6).

Để đo neutron nhiệt có hai loại đầu dò sử dụng Boron ở dạng khí hoặc dạng rắn. Ở dạng rắn Boron được sử dụng để phủ lên thành của các ống đếm tỷ lệ thông thường. Dạng phổ biến hơn là ống đếm tỷ lệ sử dụng khí BF_3 vừa đóng vai trò là bia chuyển đổi từ neutron nhiệt sang hạt α vừa làm chất khí tỷ lệ. Ống đếm boron ở dạng rắn có ưu điểm là chọn được chất khí tỷ lệ tốt hơn khí BF_3 , tuy nhiên khả năng loại trừ nhiễu gamma thấp hơn ống đếm BF_3 do năng lượng

neutron mất trong lớp phủ rắn boron bé hơn trong khí BF_3 . Trong tự nhiên đồng vị ^{10}B chiếm tỷ lệ 19,8%; nhằm tăng hiệu suất phát hiện neutron lên gấp 5 lần người ta cần làm giàu khí ^{10}B trong hầu hết các máy dò lên đến 95%.

1.4.1.2. Phản ứng $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$

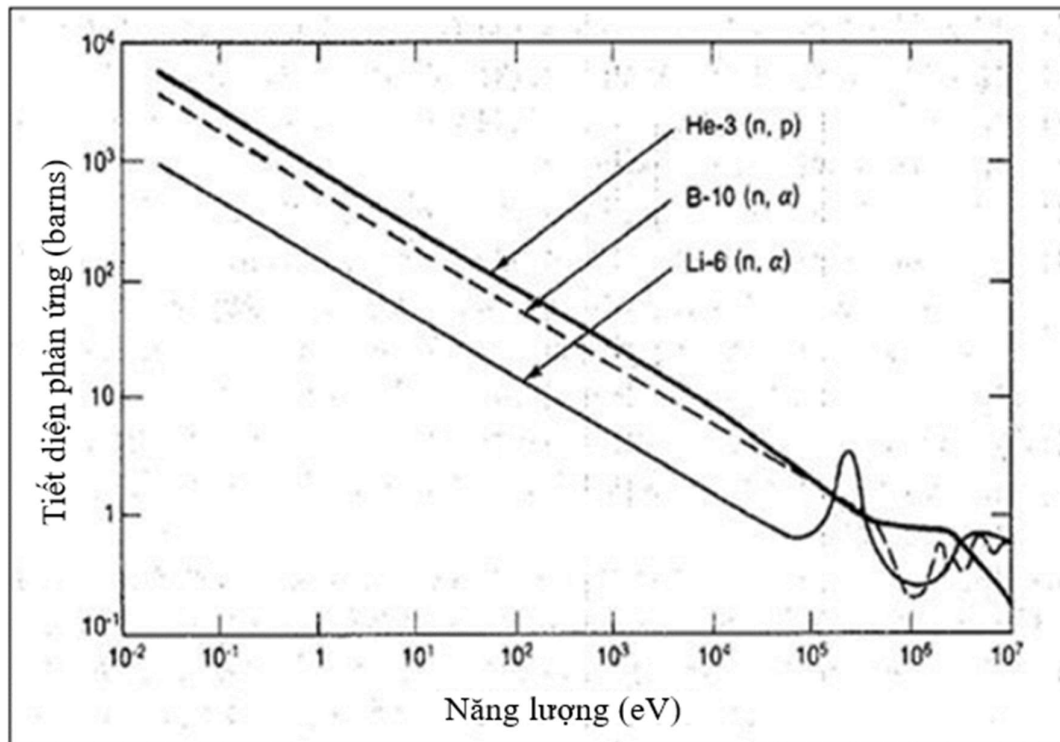
Phương trình phản ứng như sau:



Đối với năng lượng neutron không đáng kể thì năng lượng của H và α lần lượt là 2,73 MeV và 2,05 MeV; đồng thời các sản phẩm phản ứng được tạo ra chuyển động theo các hướng ngược nhau.

Tiết diện neutron nhiệt cho phản ứng này là khoảng 940 barn, nhưng nó cho thấy sự cộng hưởng đối với năng lượng neutron giữa 100 keV và 500 keV (Hình 1.6). Trong phản ứng này không có tia gamma trễ kích thích hạt nhân nào được phát ra, cùng với năng lượng các sản phẩm phản ứng cao hơn phản ứng $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ sẽ có thể là một lợi thế cho mục đích phát hiện neutron ngay cả khi tiết diện thấp hơn.

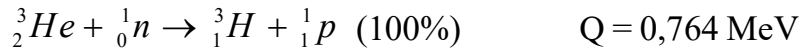
Đầu dò Lithium đo neutron nhiệt phổ biến là đầu dò nhấp nháy với tinh thể LiI.



Hình 1.6. Sự phụ thuộc tiết diện neutron nhiệt theo năng lượng đối với các phản ứng $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ [1]

1.4.1.3. Phản ứng ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$

Phương trình phản ứng là:

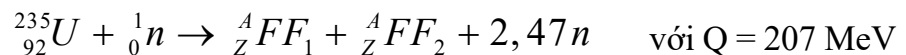


Đối với năng lượng nhỏ như neutron nhiệt thì năng lượng của ${}^3\text{H}$ và p lần lượt là 0,191 MeV và 0,573 MeV. Tiết diện neutron nhiệt cho phản ứng này là khoảng 5330 barn, cao hơn tiết diện của các phản ứng ${}^7\text{B}$ và ${}^6\text{Li}$ (Hình 1.6) [1].

${}^3\text{He}$ là một khí trơ, do đó không thể chế tạo hợp chất rắn nào và vật liệu phải được sử dụng ở thể khí bên trong các buồng ion hóa và các bộ đếm tỷ lệ. Ống đếm ${}^3\text{He}$ được sử dụng khá rộng rãi. Quỹ đạo của ${}^3\text{H}$ và p trong phản ứng vào cỡ kích thước ống đếm, do đó chúng không hoàn toàn tiêu tán năng lượng trong thể tích khí mà mất một phần trong thành ống đếm, đây được gọi là hiệu ứng thành ống. Để giảm hiệu ứng này ta có thể tăng áp suất khí trong ống đếm. Nhược điểm của ống đếm ${}^3\text{He}$ là khó loại trừ nhiễu gamma hơn ống đếm BF_3 vì hiệu ứng nhiệt Q bé.

1.4.1.4. Phản ứng phân hạch do neutron gây ra

Các vật liệu như ${}^{233}\text{U}$, ${}^{235}\text{U}$ và ${}^{239}\text{Pu}$ có thể được sử dụng trong các máy dò neutron chậm nhờ tiết diện phân hạch tương đối lớn của chúng. Phương trình phản ứng được mô tả như sau:



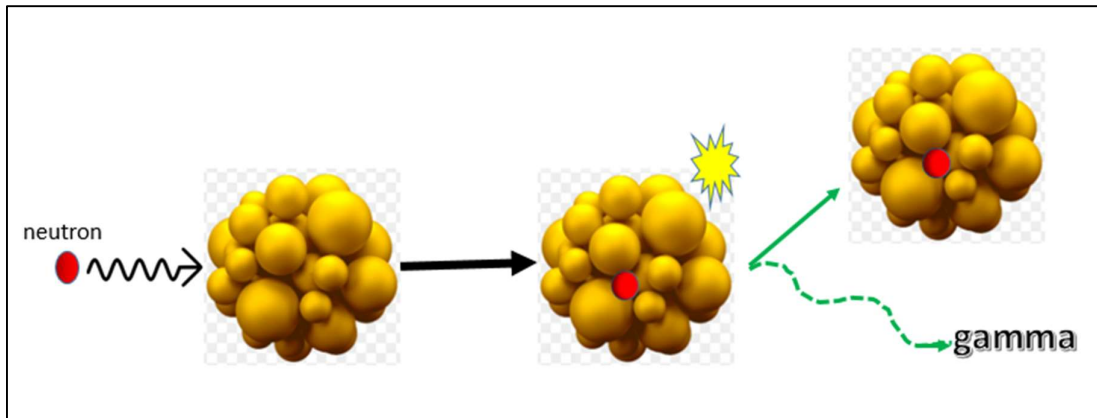
Trong đó, FF_1 và FF_2 là 2 sản phẩm phân hạch khác nhau. Giá trị Q cực kì lớn so với các phản ứng nêu trên. Tổng năng lượng sinh ra trong phản ứng này được phân phối cho cả neutron và sản phẩm phân hạch, khoảng 168 MeV xuất hiện dưới dạng động năng của các mảnh vỡ. Do đó các máy dò chứa các vật liệu dựa trên phản ứng phân hạch thường có thể cho ra các xung đầu ra lớn hơn nhiều so với các xung được tạo ra từ các phản ứng khác hoặc các tia gamma tới. Ống đếm phân hạch có nhiễu rất thấp và có khả năng đo neutron nhiệt với hoạt độ bé.

Hầu hết tất cả các hạt nhân phân hạch đều là chất phát α tự nhiên. Do đó các máy đo chứa các vật liệu này cũng hiển thị một phần tín hiệu đầu ra do các hạt α , tuy nhiên, năng lượng của chúng thấp hơn năng lượng được giải phóng trong phản ứng phân hạch. Vì vậy, chỉ cần đặt một ngưỡng xung tín hiệu thích hợp vào hệ thống thu nhận để loại bỏ đóng góp của α .

Dạng phổ biến nhất của máy đo loại phân hạch là một buồng ion hóa với các bề mặt bên trong được phủ một lớp vật liệu phân hạch.

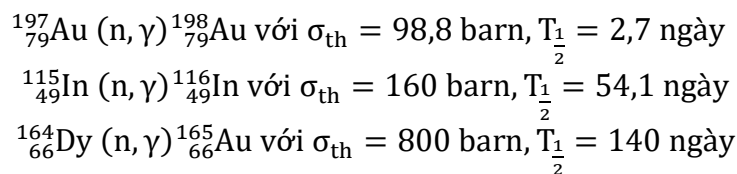
1.4.1.5. Phản ứng bắt bức xạ (n, γ)

Các phản ứng bắt bức xạ (n, γ) (Hình 1.7) thường được sử dụng để phát hiện neutron nhiệt và neutron trên nhiệt do tiết diện nhiệt lớn của chúng. Phép đo neutron được thực hiện bằng cách đo độ phóng xạ gây ra trong một số vật liệu bằng tương tác neutron. Chi tiết hơn, một mẫu tiếp xúc với thông lượng neutron và sau đó bị loại bỏ. Tiếp đó, độ phóng xạ gây ra thường được đếm bằng cách sử dụng hệ đo dùng ống đếm Geiger cho hạt β hoặc phổ kế Germani để đo tia γ phát ra trong quá trình phân rã. Để đạt được độ nhạy cao, các vật liệu hoạt hóa này phải có tiết diện lớn để phản ứng tạo ra neutron và độ dày của chúng phải được giữ nhỏ để không làm nhiễu loạn thông lượng neutron.



Hình 1.7. Phản ứng bắt bức xạ (n, γ)

Các hiệu chỉnh phải được áp dụng để tính đến thời gian chiếu xạ, độ trễ sau chiếu xạ và thời gian đo. Các phản ứng bắt được sử dụng rộng rãi nhất là:



Tất cả các đồng vị được tạo ra trong quá trình kích hoạt đều là đồng vị phóng xạ phát β^- .

Như vậy, về cơ bản phương pháp đo neutron thường được sử dụng trong các máy đo neutron có thể chia thành hai loại là phương pháp đo thụ động và phương pháp đo chủ động:

- Phương pháp thụ động thực hiện việc đếm neutron một cách gián tiếp thông qua việc sử dụng các mẫu kích hoạt để xảy ra phản ứng bắt bức xạ (n, γ) . Trong phương pháp này neutron tương tác với các mẫu chuẩn tạo ra đồng vị ở trạng thái kích thích, sau đó đồng vị được tạo ra sẽ chuyển về trạng thái cơ bản và phát ra các bức xạ gamma được phát hiện nhờ các phổ kế gamma. Nhược điểm của phương pháp này là cho hiệu ứng phòng lớn, nên mẫu kích hoạt cần được chế tạo với độ tinh khiết cao và bề dày thích hợp để đạt được độ nhạy mong muốn. Phương pháp này thường được áp dụng cho nguồn đồng vị neutron có thông lượng lớn hoặc lò phản ứng hạt nhân. Đối với trường hợp nguồn neutron đồng vị có thông lượng nhỏ (như nguồn ^{252}Cf sau nhiều chu kỳ bán rã) thì kỹ thuật dùng lá dò kích hoạt gặp khó khăn.

- Phương pháp chủ động đo trực tiếp neutron thông qua các phản ứng của neutron với vật chất tạo ra các hạt mang điện dễ dàng phát hiện được bằng các đầu dò. Phương pháp này có ưu thế đối với việc ghi đo neutron chậm vì tiết diện phản ứng lớn, kỹ thuật ghi đo và xử lý số liệu đơn giản, thuận tiện. Tuy nhiên, phương pháp này còn hạn chế trong việc ghi đo neutron ở vùng năng lượng cao.

1.4.2. Các phương pháp đo neutron trên nhiệt và neutron nhanh

Một trong những phương pháp thường được sử dụng để đo neutron trên nhiệt và neutron nhanh là làm chậm neutron nhanh bằng một môi trường làm chậm rồi đo neutron nhiệt từ quá trình làm chậm đó [4]. Khi đó, hệ phổ kế dùng để ghi đo neutron nhanh gồm hai phần là chất làm chậm neutron và ống đếm neutron nhiệt. Một loại đầu dò neutron nhanh khác hoạt động dựa trên hiện tượng tán xạ đàn hồi và đo hạt nhân bia giạt lùi. Năng lượng hạt nhân giạt lùi càng lớn khi hạt nhân bia càng nhẹ mà lớn nhất đối với Hydrogen. Do đó ống đếm thường sử dụng để đo neutron nhanh theo nguyên tắc này là ống đếm proton giạt lùi.

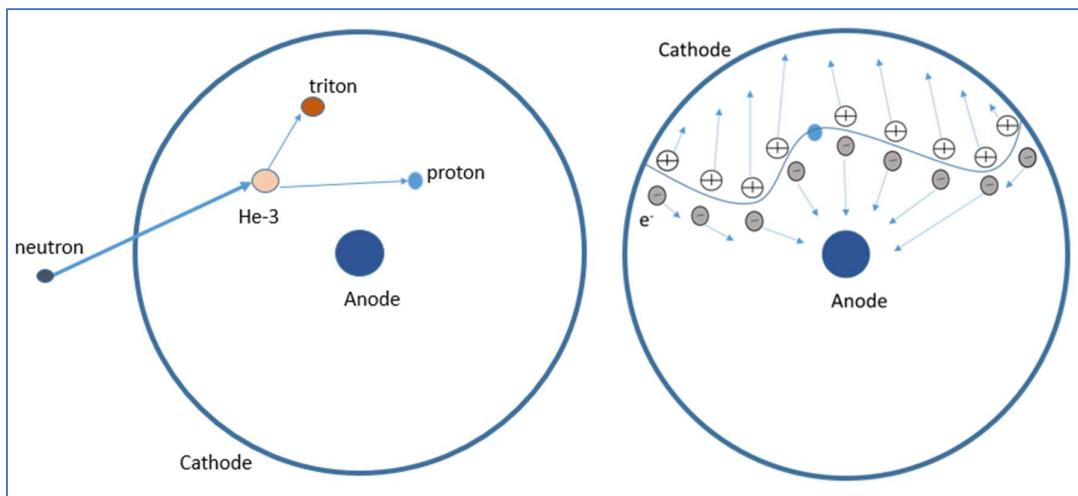
Việc phân tích phổ năng lượng neutron có thể được thực hiện bằng ống đếm dựa trên quá trình làm chậm neutron hoặc ống đếm giạt lùi. Do quá trình làm chậm neutron phụ thuộc vào năng lượng ban đầu của neutron nên số đếm neutron nhiệt cũng phụ thuộc vào năng lượng neutron tới, từ đó có thể xác định năng lượng neutron. Còn trong ống đếm giạt lùi, năng lượng proton tăng khi năng lượng neutron tăng, do đó bằng cách xác định năng lượng proton có thể đo được phổ năng lượng neutron.

Nghiên cứu này tận dụng các ưu điểm trong phương pháp đo neutron chủ động và mở rộng khả năng ghi đo của nó đối với neutron nhanh bằng cách sử dụng ống đếm neutron loại ^3He kết hợp với các lớp chất làm chậm. Luận văn sẽ trình bày về quy trình thiết kế và chế tạo các lớp chất làm chậm neutron bằng PE của hệ phổ kế đa kênh Bonner-Cylinder sử dụng ống đếm ^3He đồng thời xác định hàm đáp ứng của hệ đo bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

1.5. PHỔ KẾ ĐA KÊNH SỬ DỤNG ỐNG ĐẾM ^3He

1.5.1. Ống đếm ^3He

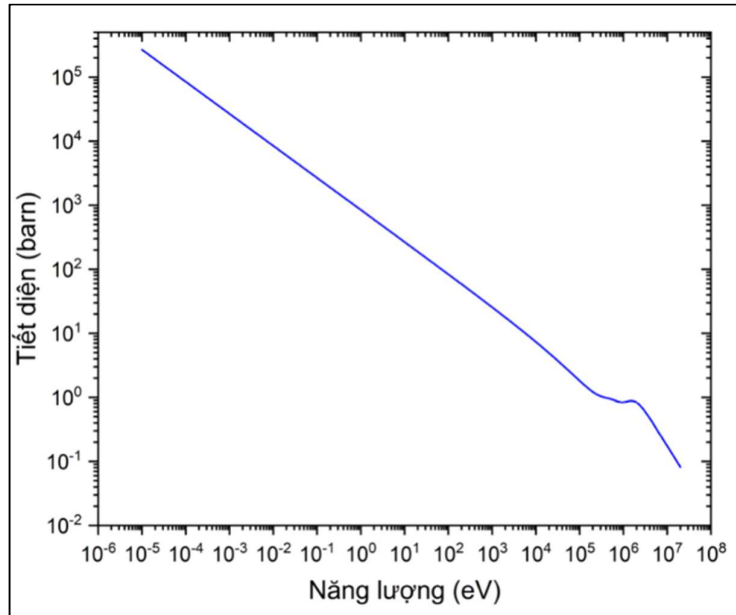
Khi neutron đi vào ống đếm sẽ xảy ra phản ứng với ^3He tạo thành hai hạt mang điện dương là proton và triton. Các hạt mang điện này ion hóa các phân tử khí khi chúng chuyển động trong thể tích của ống đếm tạo ra các electron (-) và ion dương (+). Dưới tác dụng của điện trường mạnh, các electron di chuyển về phía cực dương (anode) và các ion dương di chuyển chậm hơn đến cực âm (cathode) của đầu dò, từ đó tạo ra các xung tín hiệu ở lối ra (Hình 1.8). Xung điện tích thu được tỷ lệ thuận với số cặp ion được tạo ra, vì vậy tỷ lệ với số lượng neutron tới (nên đầu dò ^3He được gọi là ống đếm tỷ lệ ^3He).



Hình 1.8. Các bước tạo xung đầu ra của ống đếm ^3He

Tiết diện phản ứng với neutron của ^3He tuân theo quy luật $1/v$, giảm rõ rệt khi năng lượng của neutron tăng (Hình 1.9). Điều đó có nghĩa là ống đếm ^3He chỉ nhạy đối với neutron nhiệt, các neutron nhanh có hiệu suất ghi đo thấp khi dùng trực tiếp ống đếm ^3He mà không có lớp làm chậm neutron thích hợp. Do đó, đối với việc ghi đo các vùng neutron có phổ năng lượng rộng ta cần

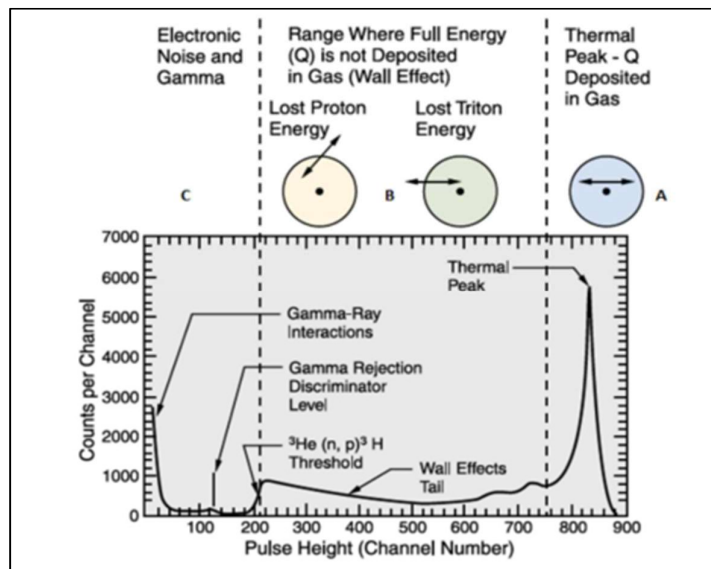
tính toán phương án làm chậm neutron bằng nhiều lớp vật liệu thích hợp, đưa ra hàm đáp ứng tương ứng với bề dày của mỗi lớp chất làm chậm thì có thể xác định được toàn bộ dải phân bố năng lượng neutron. Đây cũng là mục tiêu và nội dung chính được đặt ra trong đề tài nghiên cứu của luận văn này.



Hình 1.9. Tiết diện phản ứng bắt bức xạ neutron của ^3He

1.5.2. Phổ biên độ xung

Phổ kế đa kênh phân tích biên độ xung tín hiệu từ lõi ra của ống đếm thành phổ số đếm đa kênh tỉ lệ với năng lượng. Phổ năng lượng của một ống đếm ^3He điển hình được chia thành ba vùng như Hình 1.10 [1].



Hình 1.10. Phổ biên độ xung của ống đếm ^3He

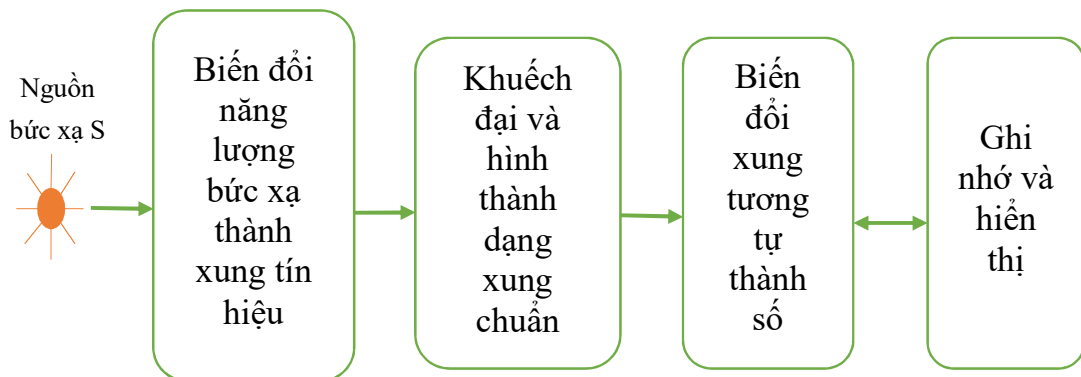
+ Vùng A: bao gồm một đỉnh hẹp ở năng lượng 764 keV khi năng lượng Q của phản ứng giữa neutron nhiệt và ^3He được hấp thụ hoàn toàn (tức là động năng của proton và triton hoàn toàn được truyền cho quá trình ion hóa tạo thành các cặp điện tích (-) và (+) trong thể tích của ống đếm). Vị trí kênh có số đếm cực đại của đỉnh năng lượng này cho phép chuẩn hóa số kênh thành giá trị năng lượng tương ứng 764 keV.

+ Vùng B: đại diện cho các hiệu ứng tường, khi các proton hoặc triton bị hấp thụ hoặc thoát tại bề mặt của thành của ống đếm hay còn được gọi là hiệu ứng tường. Sự hấp thụ này làm phát sinh thêm hai bậc suy giảm số đếm với năng lượng thấp hơn: một bậc là do hiệu ứng tường của triton ở 191 keV và bậc còn lại là do hiệu ứng tường của proton ở 573 keV.

+ Vùng C: Một số tín hiệu nhiễu và một đỉnh do bức xạ gamma. Phần này của phổ không được sử dụng và có thể loại bỏ bằng cách đặt bộ phân biệt ngưỡng thấp (LLD) trong bộ biến đổi ADC của hệ phổ kế.

1.5.3. Sơ đồ khối hệ phổ kế đa kênh

Hệ phổ kế đa kênh là một bộ các khối điện tử chức năng được sử dụng để đo năng lượng của các bức xạ S (hạt hoặc photon). Đối với các phép đo các đại lượng không điện hệ thống đo trước hết phải biến đổi các tín hiệu không điện thành các đại lượng điện theo sơ đồ khối Hình 1.11.



Hình 1.11. Sơ đồ khối nguyên lý hoạt động của hệ phổ kế đa kênh

Chức năng các khối điện tử trong hệ phổ kế đa kênh thường được mô tả một cách tổng quát như sau:

- Đầu dò: là thiết bị phát hiện các bức xạ và chuyển đổi năng lượng bức xạ thành tín hiệu điện. Có nhiều loại đầu dò khác nhau tùy thuộc vào ứng dụng như là đầu dò nhấp nháy, đầu dò chất rắn bán dẫn hoặc đầu dò chứa khí...

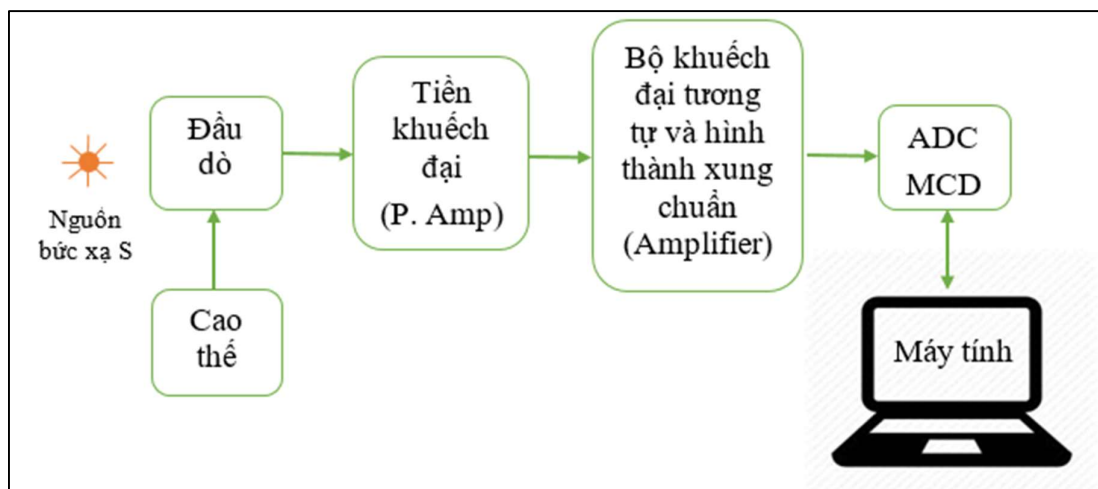
- Khối khuếch đại: được sử dụng để khuếch đại biên độ tín hiệu xung điện từ đầu dò lên vài trăm cho đến vài nghìn lần, đồng thời xử lý và hình thành dạng xung điện (chuẩn Gauss hoặc chuẩn tam giác), lọc nhiễu và hồi phục đường cơ sở (baseline restoration) để đạt độ chính xác cao trong phép đo. Chúng bao gồm khối tiền khuếch đại (P.Amp) và khối khuếch đại chính hoặc khối khuếch đại hình thành xung chuẩn còn gọi là bộ xử lý tương tự (Analog Processor).

- Khối chuyển đổi tương tự sang số (ADC): được sử dụng để chuyển đổi xung tín hiệu tương tự từ bộ khuếch đại thành tín hiệu số ở lối ra. Bộ giao diện MCD có chức năng chính là đếm và hiển thị số đếm, nó được xử lý và hiển thị nhờ chương trình nạp sẵn vào vi xử lý hoặc phần mềm chạy trên máy tính kết nối giao diện với ADC.

- Hệ thống thu thập và xử lý số liệu: có nhiệm vụ thu thập và xử lý dữ liệu từ MCD. Nó có thể bao gồm máy tính hoặc bộ vi điều khiển, thẻ nhớ thu thập dữ liệu và phần mềm để phân tích dữ liệu.

- Nguồn điện cao thế và thế thấp: cung cấp điện áp cao thế và dòng điện thế thấp cần thiết để vận hành các bộ phận điện tử và đầu dò của hệ phổ kế.

Một hệ thống điện tử hạt nhân cơ bản có cấu trúc như Hình 1.12.



Hình 1.12. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điện tử hạt nhân cơ bản

1.6. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHỔ NĂNG LƯỢNG NEUTRON BẰNG KỸ THUẬT LÀM CHẬM NEUTRON (BONNER)

Phổ kế neutron Bonner-Sphere (BSS) đã được sử dụng tương đối phổ biến trên thế giới bao gồm một đầu dò neutron nhiệt với thiết bị điện tử thích hợp bao gồm một bộ các quả cầu PE có đường kính khác nhau. BSS được sử

dụng để xác định phổ năng lượng của trường neutron vì chúng thể hiện một số ưu điểm gần như đẳng hướng với đầu dò neutron nhiệt hình cầu và có khả năng đo neutron từ năng lượng nhiệt đến 20 MeV. Tuy nhiên loại đầu dò neutron nhiệt có dạng hình cầu lại ít được chế tạo phổ biến do phạm vi hoạt động nhỏ của đầu dò trung tâm nên hiệu suất ghi đo của BSS bị hạn chế [10]. Đối với điều kiện thực tế rằng loại đầu dò hình trụ được sử dụng phổ biến hiện nay thì việc sử dụng các lớp làm chậm hình cầu là chưa tối ưu, ngoại trừ những thiết bị ghi đo chuyên dụng đã có thiết kế chuyên biệt cho công tác định liều bức xạ neutron. Ngoài ra, quá trình thao tác thay đổi bề dày chất làm chậm neutron cần nhiều quả cầu Bonner cũng khiến chi phí thiết kế chế tạo tốn kém, đồng thời hệ đo sẽ khá nặng và cồng kềnh.

Trong luận văn này chúng tôi lựa chọn thiết kế chế tạo hệ phổ kế Bonner-Cylinder (BCS) các lớp làm chậm có cấu trúc hình trụ phù hợp với dạng hình trụ của ống đếm ^3He đã có sẵn tại Viện NCHN. Về nguyên tắc hoạt động hoàn toàn tương tự như loại hình cầu BSS nhưng các lớp chất làm chậm PE $(\text{C}_2\text{H}_4)_N$ dạng hình cầu sẽ được thay thế bằng thiết kế dạng hình trụ có thể ghép lồng vào nhau và ở tâm là một đầu dò neutron nhiệt (ống đếm ^3He). Vấn đề đặt ra là cần thiết xác định chính xác các hàm đáp ứng theo năng lượng và theo độ dày các lớp làm chậm cho thiết kế loại cấu trúc hình trụ này.

Hàm đáp ứng của mỗi lớp vật liệu làm chậm cho cực đại ở một nhóm năng lượng neutron cụ thể phụ thuộc vào bề dày tổng của các lớp hình trụ PE. Cụ thể là, khi tăng bề dày chất làm chậm lên bằng cách lắp thêm vào lớp hình trụ tiếp theo, quá trình nhiệt hóa sẽ hiệu quả hơn với các neutron tới năng lượng cao hơn. Từ kết quả phổ thực nghiệm ghi nhận được từ đầu dò ^3He tương ứng với một tập hợp các lớp chất làm chậm, có thể thu được thông tin về phổ năng lượng neutron. Mối tương quan của phổ năng lượng neutron với hàm đáp ứng và các đại lượng vật lý trong phương pháp này được mô tả như sau:

Đại lượng hàm đáp ứng được định nghĩa là tỷ số giữa số đếm phổ thực nghiệm ghi được bởi đầu dò và thiết bị phổ kế trên thông lượng neutron $\Phi(E)$ tích lũy trong khoảng thời gian đo, biểu diễn qua công thức (1.23):

$$R_i = \frac{C_i}{\Phi(E)} \quad (1.23),$$

trong đó C_i là số đếm ghi được từ thiết bị phổ kế, $\Phi(E)$ là thông lượng neutron tại năng lượng E . Điều kiện áp dụng công thức này là thông lượng neutron đồng đều trong diện tích bề mặt tiếp xúc với khối chất làm chậm.

1.6.1. Lý thuyết hàm đáp ứng của hệ phổ kế Bonner-cylinder

Mỗi cấu hình đo thực nghiệm tương ứng với tổ hợp từ 0 đến i lớp chất làm chậm của hệ BCS sẽ có một hàm đáp ứng duy nhất $R_i(E)$, là một hàm liên tục theo năng lượng neutron E (ví dụ Hình 1.13). Nếu hệ BCS được đặt trong trường neutron có phổ năng lượng $\Phi_E(E)$, Số đếm C_i đo được bằng thực nghiệm và được biểu diễn bởi công thức (1.24) [1].

$$C_i = \int R_i(E) \cdot \Phi_E(E) dE \quad (1.24).$$

Quá trình giải để tìm thông lượng neutron $\Phi_E(E)$ được gọi là “giải cuộn” (unfolding). Quá trình này cho phép thu được kết quả phổ năng lượng neutron từ các kết quả C_i đo thực nghiệm với đầu dò ^3He , với điều kiện là các hàm đáp ứng $R_i(E)$ đã được biết rõ. Mặc dù các giá trị thực $R_i(E)$ và $\Phi_E(E)$ là các hàm liên tục theo năng lượng của neutron nhưng trong thực nghiệm toàn giải năng lượng E được chia thành n_E nhóm năng lượng, mỗi nhóm có năng lượng trung bình là E_j . Do đó, công thức tích phân (1.24) được mô tả lại dưới dạng tổng của các nhóm năng lượng theo công thức (1.25).

$$C_i = \sum_{(j=1,2,\dots,n_E)} R_i(E_j) \Phi_E(E_j) \Delta E_j = \sum R_i(E_j) \Phi(E_j) = \sum R_{ij} \Phi_j \quad (1.25),$$

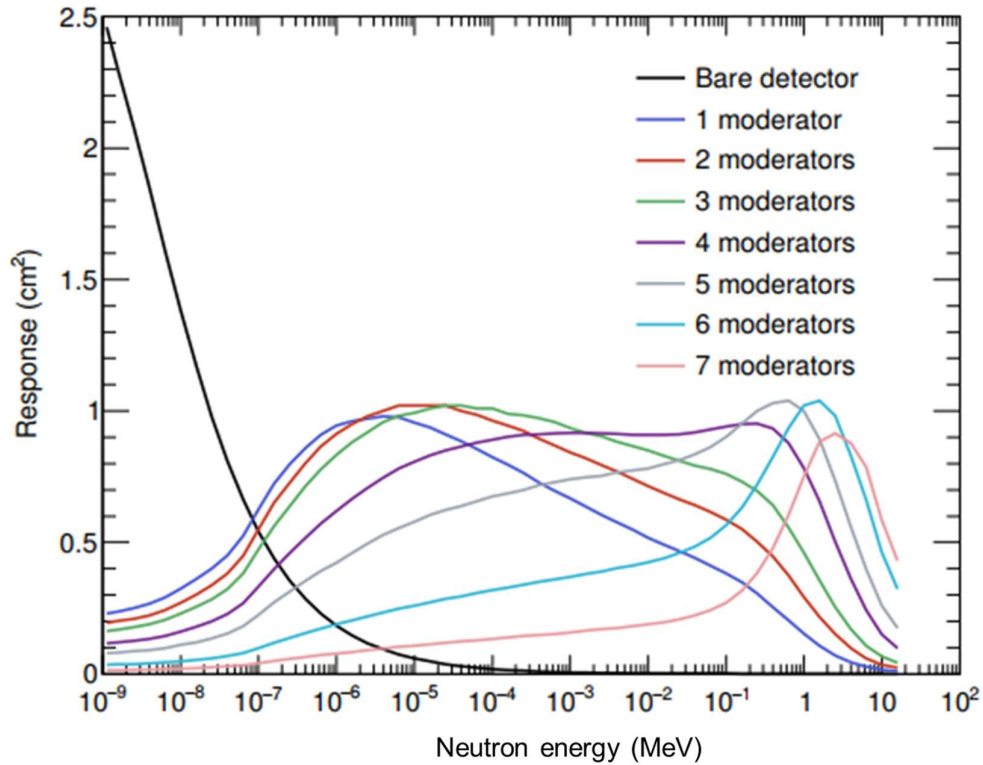
trong đó Φ_j là thông lượng neutron trong nhóm năng lượng thứ j của khoảng năng lượng ΔE_j , năng lượng trung bình E_j và R_{ij} là hàm đáp ứng được tính toán bằng mô phỏng Monte Carlo.

Do đó, thông tin phổ năng lượng neutron được chứa trong một vectơ Φ với n_E nhóm năng lượng Φ_j . Nếu các phép đo được thực hiện trong trường neutron này với một bộ n_S Bonner-Cylinder, một bộ n_S số đếm C_i (các thành phần của vectơ số đếm C) thu được. Một tập hợp các n_S phương trình tuyến tính có thể được viết dưới dạng sau:

$$C = R \cdot \Phi \quad (1.26),$$

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1E} \\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2E} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{S1} & R_{S2} & \cdots & R_{SE} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \vdots \\ \Phi_E \end{bmatrix} \quad (1.27).$$

Trong đó ma trận R với kích thước $n_S \times n_E$ là ma trận hàm đáp ứng của hệ BCS bao gồm cả đầu dò ^3He đặt ở trung tâm và các lớp chất làm chậm có dạng hình trụ bằng PE. Nếu tất cả các thành phần của ma trận R được biết, thì có thể sử dụng một thủ tục giải cuộn thích hợp để xác định phổ thông lượng neutron $\Phi_E(E)$.



Hình 1.13. Đồ thị hàm đáp ứng của một hệ phổ kế Bonner-Cylinder với các lớp PE có độ dày khác nhau [3]

Trong hầu hết các trường hợp, các phép đo bằng Bonner nhằm mục đích xác định sự phân bố phổ neutron tại một “điểm đo” nhất định. Vì vậy, các phép đo được thực hiện khi đặt các lớp chất làm chậm có hình trụ tiếp theo lần lượt có đường xuyên tâm không thay đổi có tâm trùng với vị trí điểm đo.

1.6.2. Các phương pháp giải cuộn (Unfolding)

Cho đến nay, các phép đo phổ neutron bằng phổ kế loại Bonner đã được nghiên cứu rộng rãi, dẫn đến một số kỹ thuật giải cuộn điển hình như: dựa trên các phương pháp bình phương tối thiểu, phương pháp Monte Carlo, entropy cực đại, thuật toán di truyền và các thuật toán mạng nơron.

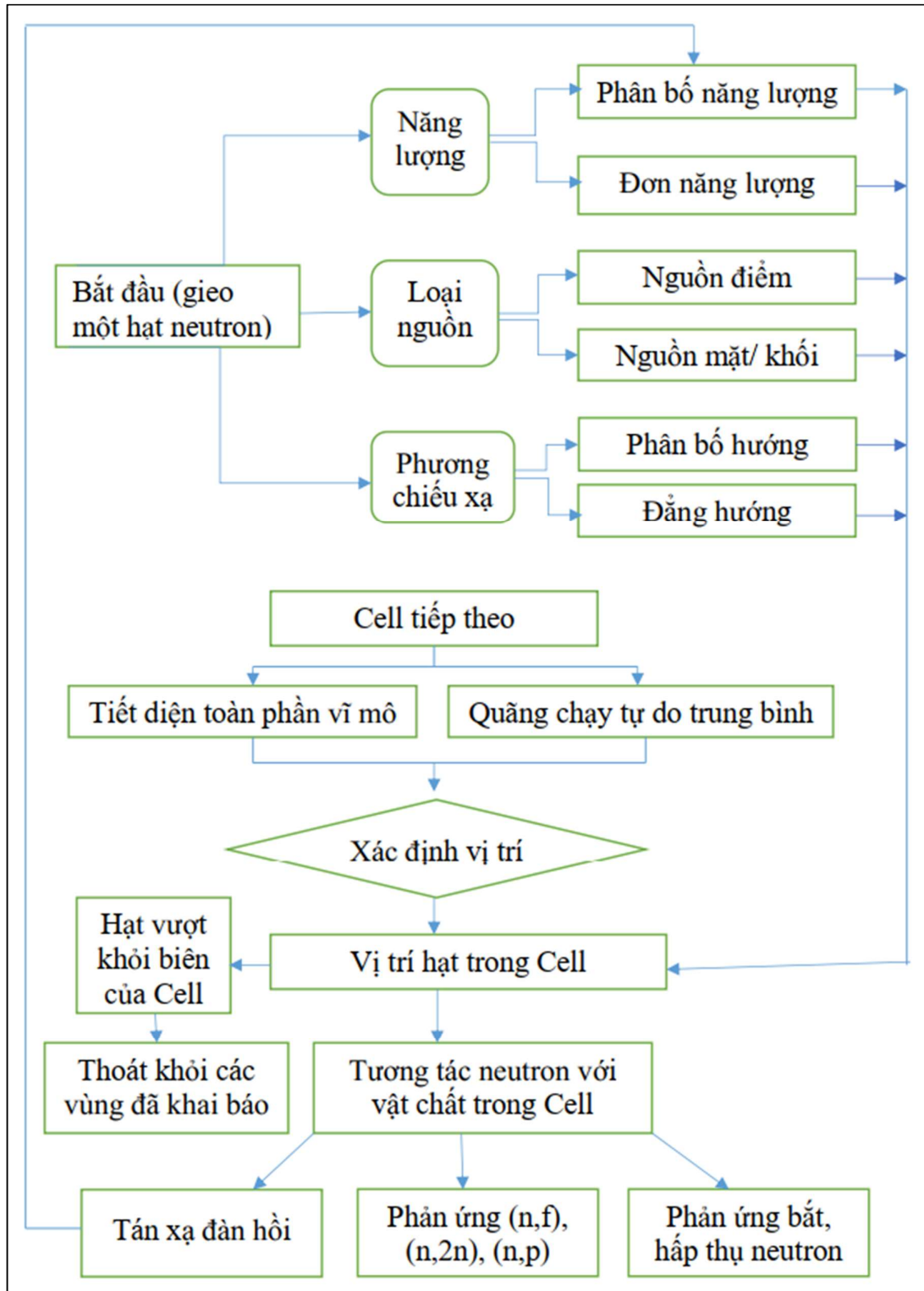
1.6.3. Phương pháp Monte Carlo

Để giải các bài toán liên quan đến vận chuyển hạt, khác với các phương pháp vận chuyển xác định giải một phương trình tường minh, phương pháp Monte Carlo (MCM) thu được lời giải bằng cách mô phỏng các hạt riêng lẻ và ghi lại các thông số (số liệu, các đánh giá) về giá trị trung bình của chúng. MCM vận chuyển các hạt giữa các sự kiện (ví dụ như va chạm) tách biệt trong không gian và thời gian. MCM rất phù hợp để giải các bài toán ba chiều phức tạp.

Monte Carlo có thể được sử dụng để sao chép về mặt lý thuyết một quá trình thống kê (chẳng hạn như sự tương tác của neutron với vật chất) và đặc biệt hữu ích cho các vấn đề phức tạp không thể mô hình hóa bằng mã máy tính sử dụng các phương pháp xác định. Các sự kiện xác suất riêng lẻ bao gồm một quy trình được mô phỏng tuần tự, tức là từng hạt trong số nhiều hạt từ một nguồn sẽ được mô phỏng trong suốt vòng đời của nó cho đến khi biến mất (bị hấp thụ, thoát ra,...). Các phân phối xác suất cho các sự kiện này được lấy mẫu thống kê để mô tả hiện tượng. Nói chung, mô phỏng được thực hiện trên máy tính kỹ thuật số vì số lượng thử nghiệm cần thiết để mô tả đầy đủ hiện tượng thường khá lớn. Trong vận chuyển hạt, kỹ thuật Monte Carlo mô tả phân phối xác suất được lấy mẫu ngẫu nhiên bằng cách sử dụng dữ liệu vận chuyển để xác định kết quả ở mỗi bước trong vòng đời của nó [11].

Như vậy, các bước cơ bản khi sử dụng phương pháp Monte Carlo giải bài toán vận chuyển hạt được mô tả như sau: tạo ra các số ngẫu nhiên phân bố đều trên khoảng $[0,1]$ bằng các số ngẫu nhiên đặc biệt. Các đại lượng tương ứng trong phương trình truyền hạt có phân bố mật độ xác suất như: phân bố tiết diện phản ứng theo năng lượng, phổ năng lượng của nguồn bức xạ, phân bố không gian của vật liệu nguồn,... Lấy mẫu các đại lượng ngẫu nhiên từ các quy luật phân phối mật độ xác suất đã cho trước của chúng dựa trên các số ngẫu nhiên phân bố đều trên khoảng $[0,1]$. Từ đó tính các đặc trưng trung bình của các đại lượng quan tâm dựa trên giá trị thống kê ghi nhận được sau N lần gieo ngẫu nhiên đối với hạt nguồn (nguồn bức xạ neutron, gamma) [12].

Sơ đồ thuật toán tổng quát của một chương trình tính toán Monte Carlo đối với neutron được mô tả như trong Hình 1.14.



Hình 1.14. Sơ đồ thuật toán Monte Carlo tính toán quá trình tương tác của neutron trong vật liệu

Tóm lại, MCM là phương pháp phù hợp nhất được sử dụng để mô hình hóa tái tạo chuyển động và tương tác của neutron qua môi trường vật chất, máy tính sử dụng các số ngẫu nhiên và lặp lại mô phỏng cho nhiều bức xạ để ước tính giá trị trung bình của chúng. Do đó có độ chính xác ngay cả trong trường hợp hình học phức tạp nhưng đòi hỏi thời gian tính toán lâu để thu được kết quả chính xác vì số lần lặp phải rất lớn. Khi số lượng các bước mô phỏng tăng, sai số sẽ càng nhỏ và nâng cao ý nghĩa thống kê của kết quả từ các mô hình tính toán.

Phương pháp này đã giải quyết được yêu cầu cấp bách của các bài toán thực tế từ nghiên cứu lò phản ứng đến an toàn bức xạ và ứng dụng vật lý hạt nhân... Đi cùng với sự phát triển của khoa học máy tính thì kỹ thuật tính toán MC ngày càng trở nên hấp dẫn vì lợi thế về chi phí tính toán, giảm bớt rủi ro khi tiến hành thí nghiệm (đặc biệt là trong môi trường bức xạ nguy hiểm) với độ tin cậy của các mô phỏng ngày càng cao. Một số phần mềm mô phỏng MC có thể được sử dụng như chương trình MCNP, chương trình GEANT4, chương trình PHITS...

1.7. CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG PHITS

PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) được sử dụng phục vụ cho mục đích mô phỏng sự vận chuyển bức xạ được phát triển thông qua phương pháp mô phỏng MC và được phát triển bởi nhóm Hiroshi Takemiya dưới sự hợp tác của Cơ quan Năng lượng nguyên tử Nhật Bản (JAEA), Tổ chức nghiên cứu Khoa học và Công nghệ thông tin (RIST), KEK và một số viện nghiên cứu trên toàn thế giới. PHITS có thể hỗ trợ các nghiên cứu trong lĩnh vực công nghệ máy gia tốc, xạ trị, an toàn bức xạ nhiều lĩnh vực khác liên quan đến quá trình vận chuyển bức xạ...

PHITS mô phỏng sự vận chuyển và va chạm của gần như tất cả các hạt, bao gồm: neutron, proton, ion nặng, photon và electron trên các dải năng lượng rộng từ 10^{-4} eV tới 1 TeV [13,14] bằng cách sử dụng các mô hình phản ứng hạt nhân và thư viện dữ liệu khác nhau. Phần mềm PHITS được viết bằng ngôn ngữ Fortran và có thể được thực thi trên hầu hết các máy tính. Hơn 1500 nhà nghiên cứu đã đăng ký là người dùng PHITS và họ áp dụng phần mềm này cho các lĩnh vực nghiên cứu và phát triển khác nhau như công nghệ hạt nhân, thiết kế máy gia tốc, vật lý y tế và nghiên cứu tia vũ trụ.

Bảng 1.3. Bảng so sánh các chương trình PHITS với các chương trình mô phỏng Monte Carlo khác

Tên chương trình	Nhà phát triển	Khả năng ứng dụng	Ngôn ngữ sử dụng	Đặc trưng
MCNP	Los Alamos National Laboratory (LANL)	Mô phỏng các quá trình vật lý hạt nhân đối với neutron, photon, electron mang tính thống kê, tính toán che chắn bức xạ và đo liều bức xạ, chụp X quang, vật lý y khoa, an toàn tới hạn hạt nhân, thiết kế và phân tích máy dò, khai thác giếng dầu hạt nhân, thiết kế máy gia tốc, thiết kế lò phản ứng phân hạch và nhiệt hạch.	Fortran 90	Phổ biến, tiêu chuẩn thế giới về năng lượng hạt nhân với độ tin cậy cao.
GEANT4	CERN	Vật lý năng lượng cao và thí nghiệm hạt nhân, nghiên cứu y tế, máy gia tốc và vật lý thiên văn.	C++	Lập trình hướng đối tượng, trực quan hóa. Cần ít thời gian hơn cho các chi tiết cấp thấp, công cụ mạnh được sử dụng trong nhiều dự án lớn trên toàn thế giới
McStas	Risø DTU	Được sử dụng để mô phỏng máy quang phổ	C	Mã nguồn mở và miễn

		ba trục và tất cả các loại thiết bị tán xạ neutron.		phí cho các thí nghiệm tán xạ neutron.
FLUKA	CERN, INFN	Thiết kế che chắn máy gia tốc, phóng xạ, thiên văn học	Fortran	Được tích hợp đầy đủ cho sự tương tác và vận chuyển của các hạt và hạt nhân trong vật chất.
TALYS	NRG Petten	Phân tích và dự đoán các phản ứng hạt nhân. Mô phỏng các phản ứng hạt nhân liên quan đến neutron, photon, proton, deuteron, triton, hạt ^3He và alpha, trong dải năng lượng eV - 200 MeV.	Fortran 95	Mã nguồn mở (giấy phép GPL) để mô phỏng các phản ứng hạt nhân.
SuperMC	FDS	Phóng xạ.	C++	Được phát triển cho ITER. Mang tính chất trực quan hóa.
PHITS	JAEA, RIST, KEK	Máy gia tốc, Phóng xạ, Thiên văn học. Các bài toán hạt tương tác với vật chất.	Fortran	Cài đặt dễ dàng. Ứng dụng trong bài toán thiết kế máy gia tốc, mô phỏng đầu dò, X quang, khoa học vũ trụ.

Một số thành phần khai báo quan trọng khi sử dụng phần mềm tính toán PHITS bao gồm:

- Thành phần 1: Nguồn (Source): Khai báo nguồn bức xạ trong bài toán mô phỏng.
- Thành phần 2: Hình học (Geometry): Khi sử dụng có thể khai báo cấu trúc hình học theo nhiều cách khác nhau như: Định dạng GC hay CG, tiện ích đồ họa ANGEL, 2d và 3D viewers, SimpleGEO.
- Thành phần 3: Chức năng thống kê (Tally): Khi sử dụng PHITS, ta có thể thu được các kết quả về thông lượng, nhiệt lượng, năng lượng của hạt, DPA, LET, vv...
- Thành phần 4: Tập tin đầu ra (Output file): Các định dạng tập tin đầu ra cơ bản gồm:

batch.out: Thông tin batch

phits.out: Tóm tắt tính toán

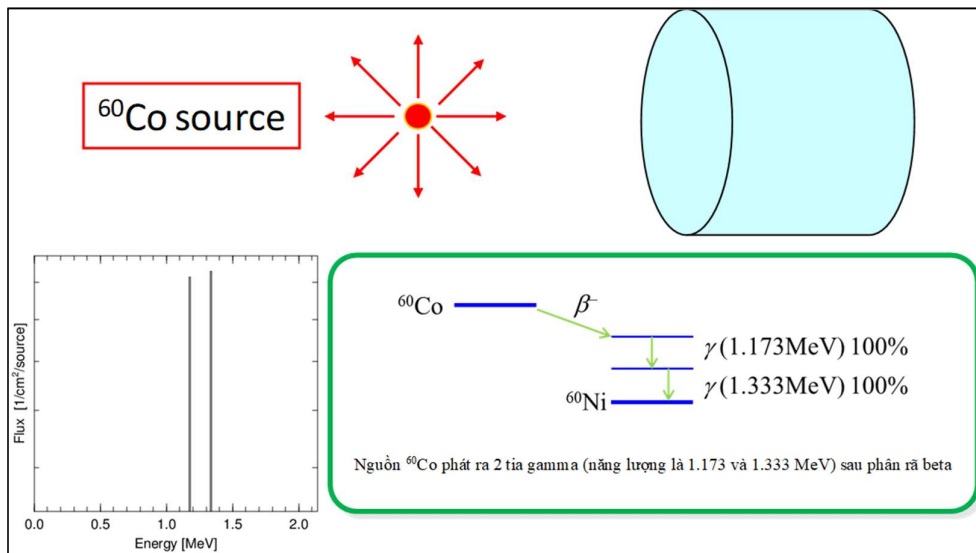
track_xz.eps: Hình ảnh về quỹ đạo chuyển động của hạt

track_xz.out: Dữ liệu số của quỹ đạo hạt

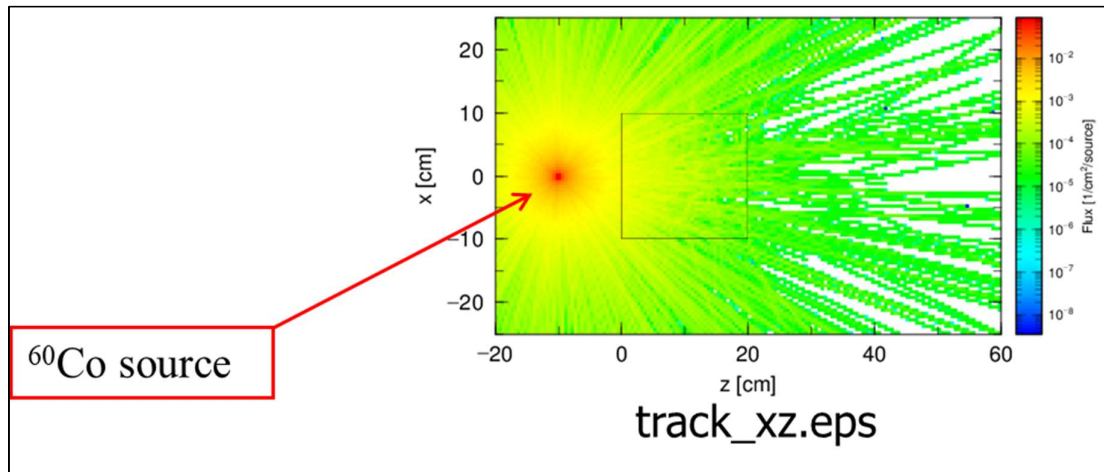
track_xz_err.eps: Hình ảnh về sai số thống kê

track_xz_err.out: Dữ liệu số về sai số thống kê

Ví dụ: Các nguồn điểm với trên một đỉnh năng lượng như nguồn ^{60}Co có 2 đỉnh 1173 keV và 1333 keV có thể được mô phỏng bằng PHITS.



Hình 1.15. Hình ảnh mô phỏng bố trí thực nghiệm nguồn ^{60}Co

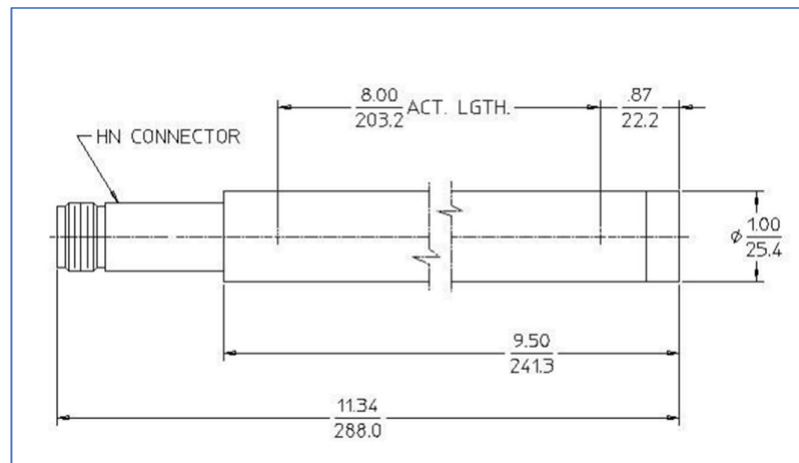


Hình 1.16. Hình ảnh mô phỏng nguồn ^{60}Co bằng phần mềm PHITS

Chương 2. THỰC NGHIỆM VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU

2.1. THIẾT KẾ CẤU TRÚC HÌNH HỌC CỦA CÁC LỚP CHẤT LÀM CHẬM NEUTRON BẰNG PE CỦA HỆ BCS

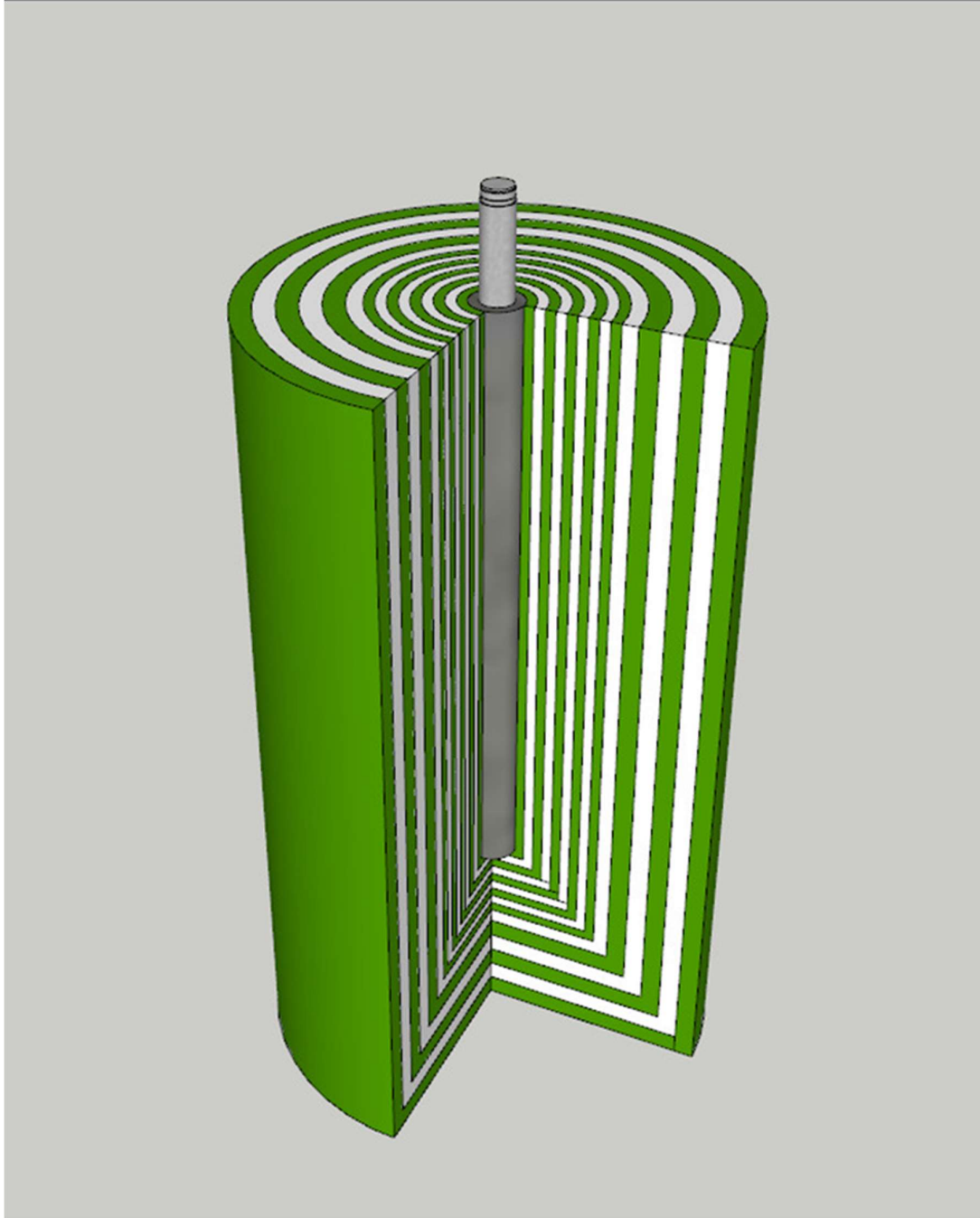
Mật độ của lớp chất làm chậm neutron có vai trò quan trọng trong việc xác định chính xác hàm đáp ứng của hệ phổ kế Bonner nói chung. Vật liệu PE được lựa chọn trong nghiên cứu này có mật độ khối $0,95 \text{ g/cm}^3$, không độc hại, ổn định hóa học, cách nhiệt, cách điện, có khả năng làm chậm neutron tốt. Các lớp PE độ dày khác nhau được bao bọc quanh ống đếm ^3He mã số “LND 2528” (kích thước thiết kế theo Hình 2.1) tạo nên hệ phổ kế Bonner nhằm đo phổ neutron sử dụng để tính toán giải cuộn phổ phân bố thông lượng neutron theo năng lượng của trường neutron tại vị trí đo. Trên cơ sở tham khảo các hệ đo Bonner hình cầu và hình trụ đã được thiết kế trên thế giới, kế thừa các kết quả mô phỏng tính toán tối ưu bề dày làm chậm neutron từ nhóm nghiên cứu tại Trung tâm Vật lý và Điện tử hạt nhân, phân tích những ưu điểm hình học thích hợp với ống đếm ^3He hình trụ được sử dụng trong nghiên cứu hệ đo này, tôi đưa ra phương án thiết kế các lớp PE gồm 15 ống hình trụ rỗng có bề dày khác nhau (theo số liệu Bảng 2.1) có thể lồng khít vào nhau nhằm thay đổi bề dày của các lớp chất làm chậm một cách linh động và vẫn đảm bảo độ chính xác của các phép đo cũng như phù hợp với dải năng lượng cần khảo sát. Thiết kế được mô tả như Hình 2.2. Tất cả các lớp làm chậm neutron đều được chế tạo đồng bộ bằng vật liệu PE, màu sắc khác nhau trong các bản vẽ thiết kế sẽ giúp nhận biết rõ các lớp hình trụ rời nhau được lồng ghép với nhau.



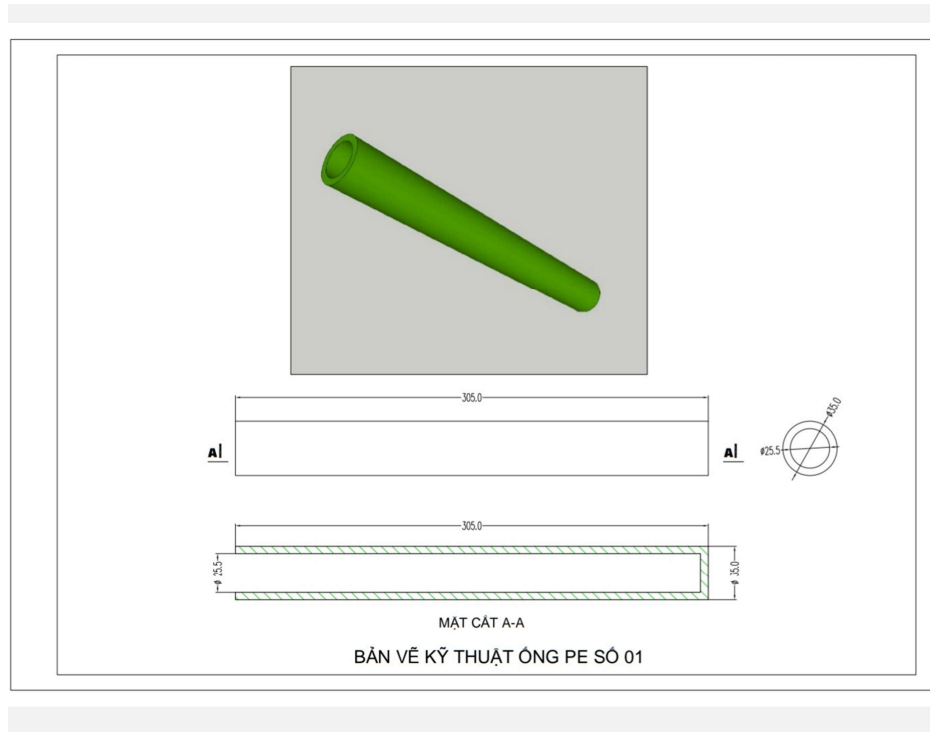
Hình 2.1. Bản vẽ kỹ thuật ống đếm ^3He LND 2528 (giá trị ghi phía trên dùng đơn vị inch, giá trị ghi bên dưới dùng đơn vị mm)

Bảng 2.1. Kích thước các ống hình trụ PE

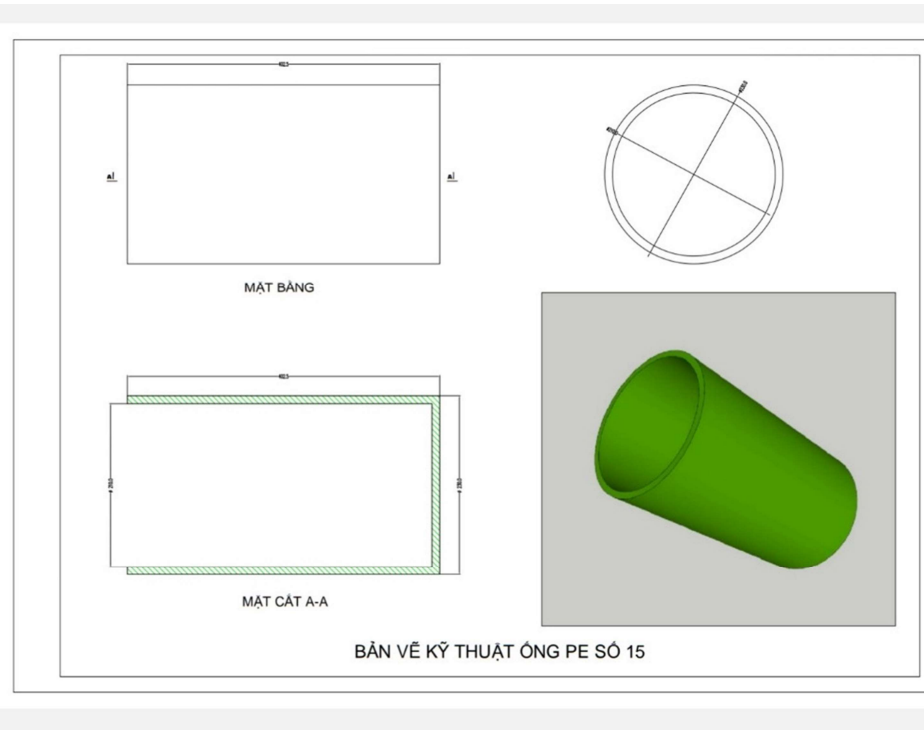
Ký hiệu lớp PE	Độ dày PE tích lũy (mm)	Độ dày từng lớp (mm)	Đường kính trong (mm)	Đường kính ngoài (mm)	Chiều cao thành ngoài ống (mm)
PE0 (ống đếm ^3He trần)				25,4	288,0
PE1	4,75	4,75	25,5	35,0	305,0
PE2	9,75	5,0	35,0	45,0	310,0
PE3	14,75	5,0	45,0	55,0	315,0
PE4	19,75	5,0	55,0	65,0	320,0
PE5	24,75	5,0	65,0	75,0	325,0
PE6	29,75	5,0	75,0	85,0	330,0
PE7	34,75	5,0	85,0	95,0	335,0
PE8	39,75	5,0	95,0	105,0	340,0
PE9	44,75	5,0	105,0	115,0	345,0
PE10	52,25	7,5	115,0	130,0	352,5
PE11	62,25	10,0	130,0	150,0	362,5
PE12	72,25	10,0	150,0	170,0	372,5
PE13	82,25	10,0	170,0	190,0	382,5
PE14	92,25	10,0	190,0	210,0	392,5
PE15	102,25	10,0	210,0	230,0	402,5



(a) Mô phỏng 3D thiết kế hệ BCS



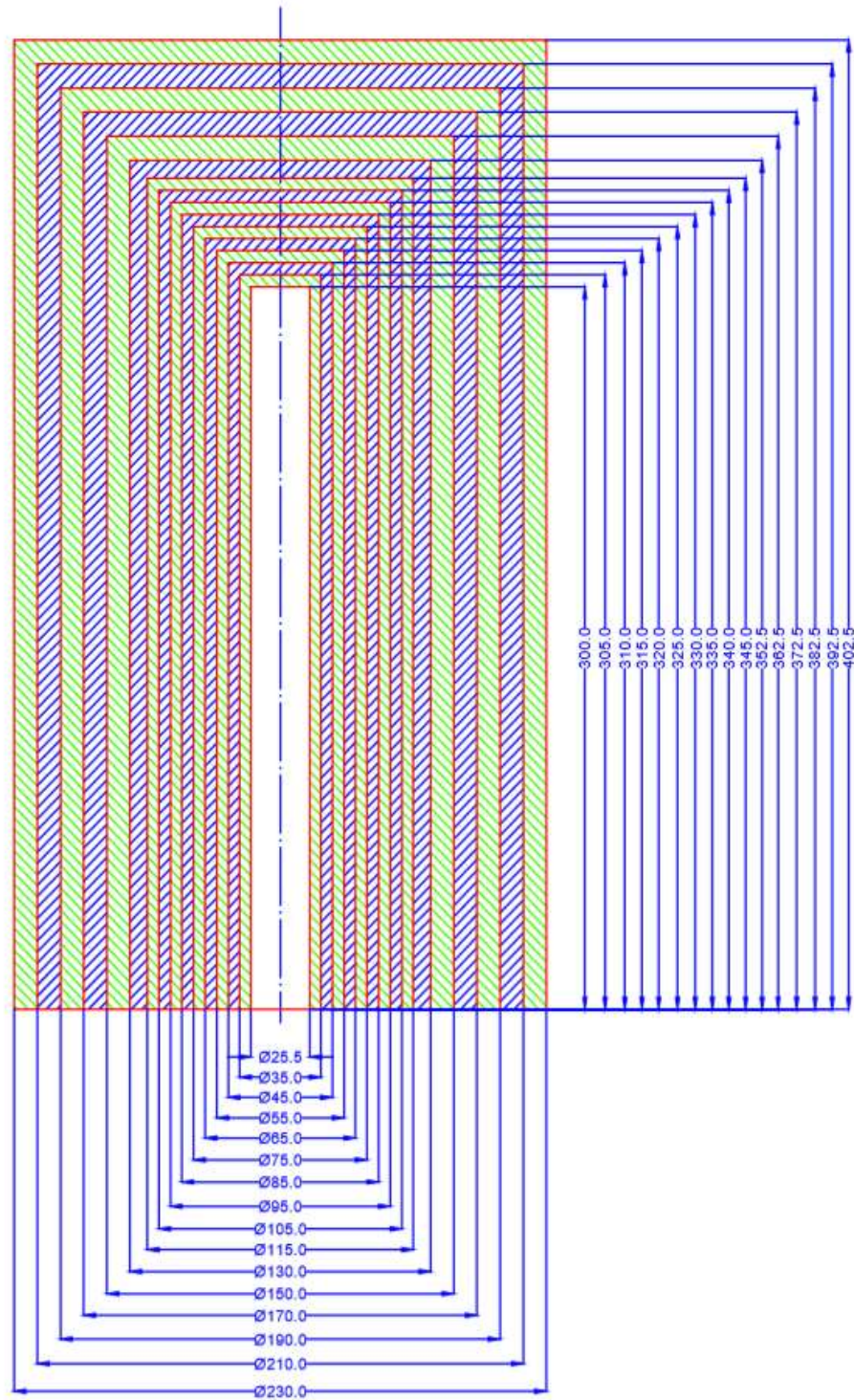
(b) Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 01



(c) Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 15

Hình 2.2. Thiết kế các ống PE của hệ BCS, (a). Mô phỏng 3D hệ BCS, (b). Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 01, (c). Bản vẽ kỹ thuật ống PE số 15

Ống PE1 có đường kính trong lòng vào khí với đường kính của đầu dò ^3He , các ống còn lại có đường kính trong bằng với đường kính ngoài của các ống nhỏ hơn liền kề (Hình 2.3).



Hình 2.3. Bản vẽ kích thước các ống hình trụ PE (đơn vị mm)

2.2. CHẾ TẠO CÁC LỚP CHẤT LÀM CHẠM NEUTRON BẰNG PE CỦA HỆ BCS THEO THIẾT KẾ

Sau khi hoàn thiện thiết kế, các lớp hình trụ PE của hệ BCS được giao cho xưởng cơ khí chế tạo với độ chính xác cao chất lượng và yêu cầu đáp ứng với mục tiêu của đề tài nghiên cứu (Hình 2.4, 2.5).



Hình 2.4. 15 ống trụ PE đã được chế tạo với kích thước theo thiết kế



Hình 2.5. Hệ BCS gồm 15 lớp PE lồng vào nhau với ống đếm ^3He lắp đặt ở trung tâm

2.3. MÔ PHỎNG MONTE CARLO ĐỂ XÁC ĐỊNH MA TRẬN SỐ LIỆU CÁC HÀM ĐÁP ỨNG TƯƠNG ỨNG THEO NĂNG LƯỢNG NEUTRON VÀ THEO ĐỘ DÀY CÁC LỚP LÀM CHẬM NEUTRON BẰNG PE ĐÃ CHẾ TẠO

Chương trình mô phỏng PHITS được sử dụng trong luận văn để mô hình hóa quá trình tương tác của neutron với vật chất. Để thuận lợi trong việc giải phương trình vận chuyển neutron, phổ neutron được chia thành các nhóm năng lượng gọi là cấu trúc năng lượng của phổ neutron, trong đó mỗi nhóm có một giá trị trung bình. Đề tài nghiên cứu này khảo sát phổ năng lượng neutron có dải phân bố từ 0 eV đến 13 MeV chia thành 47 nhóm năng lượng theo thang logarit là: 1,00E-08; 1,59E-08; 2,51E-08; 3,98E-08; 6,31E-08; 1,00E-07; 1,59E-07; 2,51E-07; 3,98E-07; 6,31E-07; 1,00E-06; 1,59E-06; 2,51E-06; 3,98E-06; 6,31E-06; 1,00E-05; 1,59E-05; 2,51E-05; 3,98E-05; 6,31E-05; 1,00E-04; 1,59E-04; 2,51E-04; 3,98E-04; 6,31E-04; 1,00E-03; 1,59E-03; 2,51E-03; 3,98E-03; 6,31E-03; 1,00E-02; 1,59E-02; 2,51E-02; 3,98E-02; 6,31E-02; 1,00E-01; 1,59E-01; 2,51E-01; 3,98E-01; 6,31E-01; 1,00; 1,59; 2,51; 3,98; 6,31; 1,00E+01; 1,59E+01 (MeV).

Để xác định được ma trận số liệu các hàm đáp ứng bằng chương trình PHITS theo năng lượng neutron và theo độ dày các lớp PE các bước thực hiện như sau:

- Bước 1: Dựa vào số liệu bản thiết kế các lớp PE và các thông số của ống đếm ^3He khai báo chất liệu các vùng không gian, các bề mặt, khai báo nguồn, viết file input thiết lập cấu trúc hình học của hệ đo (Phụ lục 1). Ta có thể kiểm tra trực quan hình học hệ đo mô phỏng và theo dõi tally-output thông qua các mặt cắt ngang như Hình 2.6.

- Bước 2: Nhập giá trị độ dày lớp làm chậm PE (c1) và năng lượng của neutron (c2) trong phần khai báo parameters của file input như sau:

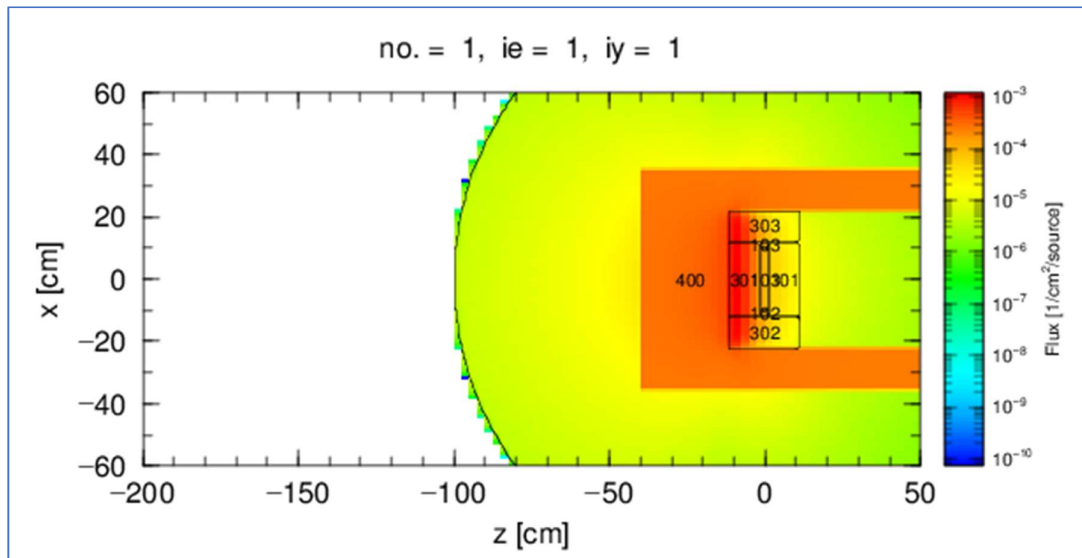
```
[ P a r a m e t e r s ]
icntl = 0 # (D=0) 3:ECH 5:NOR 6:SRC 7,8:GSH 11:DSH
12:DUMP
maxcas = 1000000 # (D=10) number of particles per one batch
maxbch = 100 # (D=10) number of batches
```



```

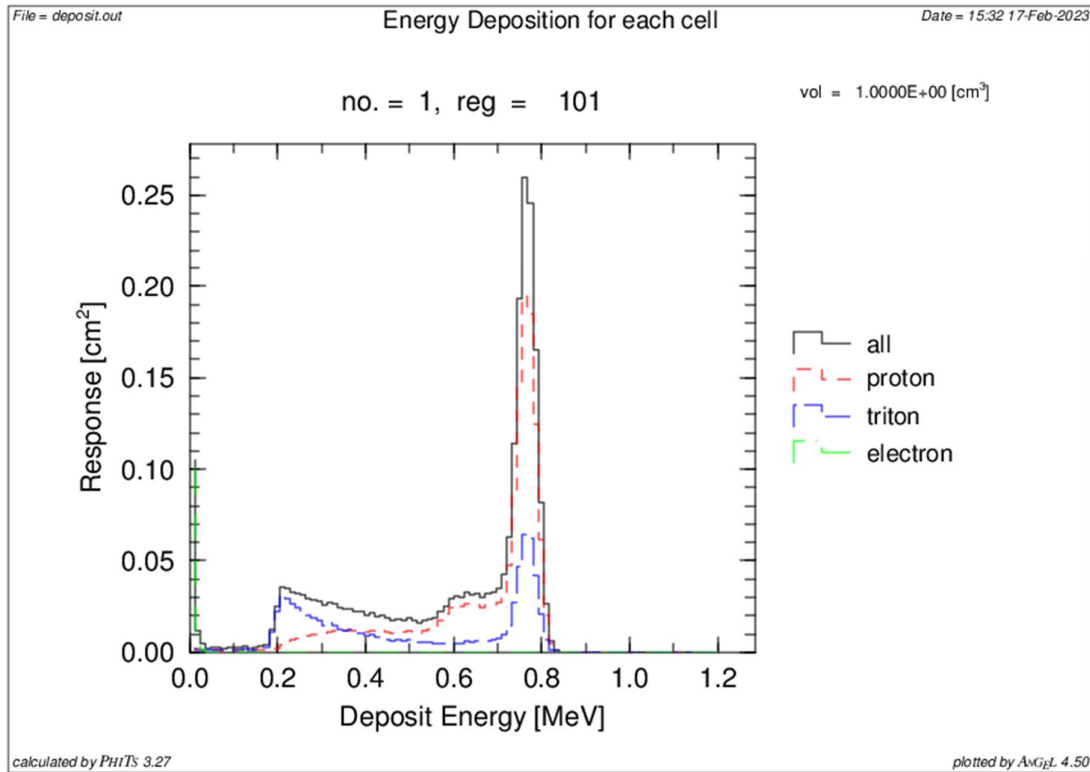
negs = 1 # (D=0)=1 EGS photon and electron
e-mode = 1 # (D=0) 0: Normal, 1: Event generator mode
c itall = 1 # (D=0) 0:no tally at batch, 1:same, 2:different
file(1) = c:/phits # (D=c:/phits) PHITS install folder name
file(6) = phits.out # (D=phits.out) general output file name
set: c1[10.225] $ polyethylene thickness ////NHAP THEO SO
LIEU TRONG FILE EXCEL////////
set: c2[6.31E-4] $ incident neutron energy ////

```



Hình 2.6. Mặt cắt của hệ phổ kế Bonner-Cylinder mô phỏng bằng phần mềm PHITS

Sau khi thực hiện chạy mô phỏng bằng PHITS ta thu được giá trị số đếm trong file Deposit; lưu lại kết quả trong file output đồng thời tổng hợp các giá trị kết quả vào bảng tính file Excel. Lần lượt thay đổi các giá trị độ dày lớp PE (bao gồm trường hợp đo với đầu dò trần) và năng lượng neutron như đã nêu ở trên để có được các số liệu hàm đáp ứng (Bảng 2.2). Tổng số phép tính phải thực hiện là 752. Hình 2.7 cho kết quả phổ năng lượng neutron thu được trong 1 phép tính mô phỏng. Từ bảng số liệu xác định được hàm đáp ứng của hệ BCS (Hình 2.8)

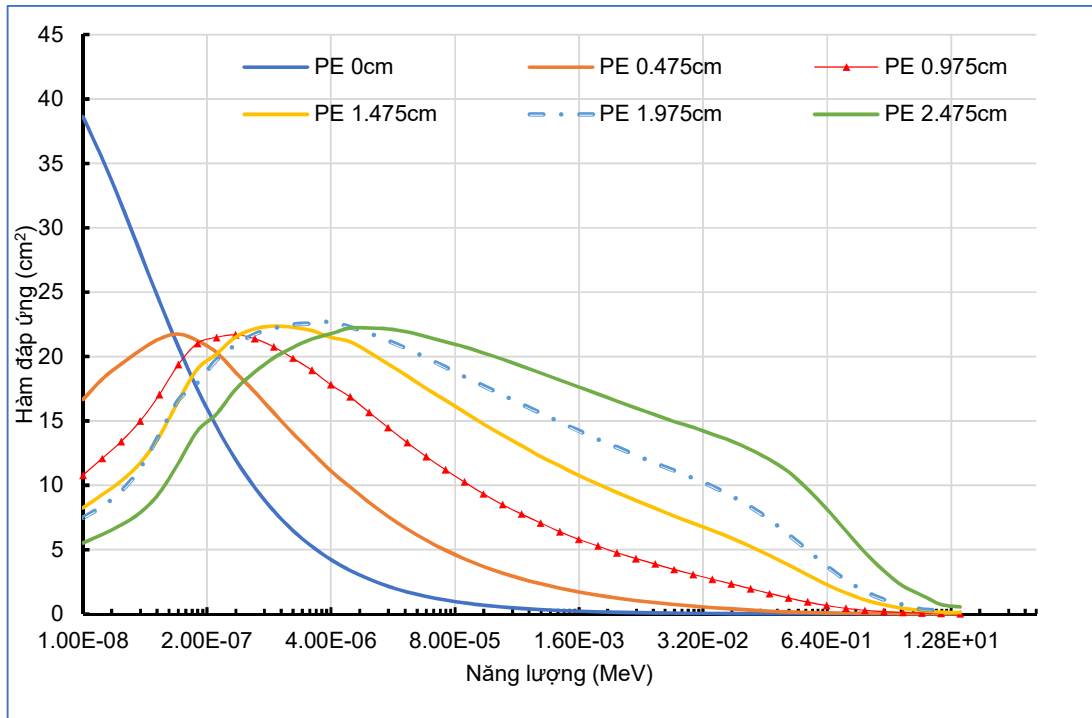


Hình 2.7. Phổ mô phỏng năng lượng hấp thụ của ống đếm ^3He đặt trong lớp PE 10,225 cm với nguồn phát neutron có năng lượng $6,31\text{E-}04$ MeV

Bảng 2.2. Bảng kết quả giá trị hàm đáp ứng của hệ BCS (từ PE0 đến PE7)

En (MeV)	PE 0 0 cm	PE 1 0,475 cm	PE 2 0,975 cm	PE 3 1,475 cm	PE 4 1,975 cm	PE 5 2,475 cm
1,00E-08	3,86E+01	1,67E+01	1,08E+01	8,24E+00	6,68E+00	5,51E+00
1,59E-08	3,54E+01	1,82E+01	1,21E+01	9,25E+00	7,48E+00	6,17E+00
2,51E-08	3,19E+01	1,94E+01	1,34E+01	1,03E+01	8,36E+00	6,91E+00
3,98E-08	2,81E+01	2,05E+01	1,50E+01	1,17E+01	9,54E+00	7,87E+00
6,31E-08	2,43E+01	2,14E+01	1,70E+01	1,38E+01	1,13E+01	9,38E+00
1,00E-07	2,08E+01	2,17E+01	1,94E+01	1,65E+01	1,39E+01	1,17E+01
1,59E-07	1,75E+01	2,12E+01	2,10E+01	1,90E+01	1,66E+01	1,42E+01
2,51E-07	1,46E+01	2,03E+01	2,15E+01	2,02E+01	1,80E+01	1,55E+01
3,98E-07	1,20E+01	1,88E+01	2,17E+01	2,15E+01	1,97E+01	1,74E+01
6,31E-07	9,85E+00	1,73E+01	2,14E+01	2,21E+01	2,09E+01	1,88E+01
1,00E-06	8,02E+00	1,56E+01	2,07E+01	2,24E+01	2,17E+01	1,99E+01
1,59E-06	6,50E+00	1,40E+01	1,99E+01	2,23E+01	2,22E+01	2,07E+01
2,51E-06	5,25E+00	1,26E+01	1,89E+01	2,20E+01	2,25E+01	2,14E+01
3,98E-06	4,23E+00	1,11E+01	1,78E+01	2,15E+01	2,26E+01	2,18E+01

6,31E-06	3,38E+00	9,89E+00	1,69E+01	2,12E+01	2,27E+01	2,22E+01
1,00E-05	2,71E+00	8,68E+00	1,57E+01	2,03E+01	2,23E+01	2,22E+01
1,59E-05	2,15E+00	7,58E+00	1,45E+01	1,94E+01	2,18E+01	2,21E+01
2,51E-05	1,71E+00	6,60E+00	1,33E+01	1,85E+01	2,12E+01	2,19E+01
3,98E-05	1,36E+00	5,73E+00	1,22E+01	1,75E+01	2,06E+01	2,16E+01
6,31E-05	1,08E+00	4,96E+00	1,12E+01	1,66E+01	1,99E+01	2,12E+01
1,00E-04	8,59E-01	4,28E+00	1,03E+01	1,57E+01	1,92E+01	2,08E+01
1,59E-04	6,78E-01	3,68E+00	9,33E+00	1,48E+01	1,84E+01	2,03E+01
2,51E-04	5,38E-01	3,18E+00	8,50E+00	1,39E+01	1,77E+01	1,98E+01
3,98E-04	4,24E-01	2,73E+00	7,76E+00	1,31E+01	1,70E+01	1,93E+01
6,31E-04	3,35E-01	2,35E+00	7,07E+00	1,22E+01	1,63E+01	1,87E+01
1,00E-03	2,65E-01	2,00E+00	6,39E+00	1,15E+01	1,56E+01	1,82E+01
1,59E-03	2,08E-01	1,70E+00	5,80E+00	1,08E+01	1,49E+01	1,76E+01
2,51E-03	1,62E-01	1,45E+00	5,28E+00	1,01E+01	1,42E+01	1,71E+01
3,98E-03	1,26E-01	1,24E+00	4,76E+00	9,44E+00	1,36E+01	1,65E+01
6,31E-03	9,86E-02	1,04E+00	4,31E+00	8,81E+00	1,30E+01	1,60E+01
1,00E-02	7,67E-02	8,79E-01	3,88E+00	8,22E+00	1,23E+01	1,55E+01
1,59E-02	5,73E-02	7,36E-01	3,45E+00	7,61E+00	1,17E+01	1,49E+01
2,51E-02	4,34E-02	6,06E-01	3,07E+00	7,05E+00	1,11E+01	1,45E+01
3,98E-02	3,34E-02	4,94E-01	2,70E+00	6,49E+00	1,05E+01	1,40E+01
6,31E-02	2,47E-02	3,98E-01	2,33E+00	5,91E+00	9,92E+00	1,34E+01
1,00E-01	1,79E-02	3,00E-01	1,97E+00	5,25E+00	9,18E+00	1,28E+01
1,59E-01	1,32E-02	2,18E-01	1,59E+00	4,55E+00	8,33E+00	1,20E+01
2,51E-01	1,08E-02	1,53E-01	1,24E+00	3,81E+00	7,35E+00	1,10E+01
3,98E-01	1,64E-02	1,05E-01	9,27E-01	3,04E+00	6,18E+00	9,70E+00
6,31E-01	2,01E-02	7,52E-02	6,50E-01	2,28E+00	4,97E+00	8,19E+00
1,00E+00	2,26E-02	5,52E-02	4,41E-01	1,64E+00	3,74E+00	6,47E+00
1,59E+00	2,51E-02	4,42E-02	2,87E-01	1,10E+00	2,65E+00	4,81E+00
2,51E+00	2,39E-02	3,55E-02	1,82E-01	7,05E-01	1,77E+00	3,35E+00
3,98E+00	2,07E-02	2,84E-02	1,11E-01	4,29E-01	1,13E+00	2,18E+00
6,31E+00	1,72E-02	2,26E-02	7,32E-02	2,75E-01	7,22E-01	1,45E+00
1,00E+01	1,40E-02	1,67E-02	4,15E-02	1,41E-01	3,65E-01	7,40E-01
1,59E+01	1,21E-02	1,44E-02	3,28E-02	1,04E-01	2,79E-01	5,51E-01



Hình 2.8. Sáu hàm đáp ứng của hệ BCS khi đo với ống đếm trôn ^3He (PE0) và tăng dần bề dày (từ PE1 đến PE5)

Hàm đáp ứng cho thấy mối quan hệ giữa độ nhạy của hệ phổ kế theo năng lượng neutron. Độ nhạy của ống đếm ^3He thay đổi theo năng lượng và nhạy nhất đối với neutron nhiệt. Vị trí đỉnh trong hàm đáp ứng di chuyển về phía năng lượng cao hơn khi bề dày của lớp chất làm chậm tăng.

2.4. THIẾT LẬP CẤU HÌNH PHỔ KẾ ĐO THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG ỐNG ĐẾM ^3He VÀ CÁC LỚP LÀM CHẬM BẰNG PE ĐÃ CHẾ TẠO

2.4.1. Trang thiết bị thực nghiệm

2.4.1.1. Thiết bị ghi đo neutron nhiệt

Đầu dò neutron nhiệt được sử dụng trong nghiên cứu này là ống đếm ^3He LND, INC 2528 sản xuất tại Mỹ (Hình 2.9) có các thông số kỹ thuật như mô tả trong Bảng 2.3 và được sản xuất theo bản thiết kế Hình 2.1. Các thông số này đã được sử dụng để khai báo chi tiết trong file input của chương trình mô phỏng PHITS.



Hình 2.9. Ống đếm ^3He LND 2528 sử dụng trong thí nghiệm

Mật độ khối của ^3He trong ống đếm ở điều kiện áp suất không quá lớn 405298,88 Pa và nhiệt độ 21°C (294 K) ta có thể sử dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng để tính thông số mật độ khối (khối lượng riêng) như sau:

$$p.V = n.R.T \quad (2.1)$$

$$\Rightarrow p.V = \frac{m}{A}.R.T \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{p.A}{R.T} \Rightarrow \rho = \frac{p.A}{R.T} \quad (2.2)$$

trong đó: p là áp suất của khối khí trong ống, đơn vị là Pa; V là thể tích khối khí, đơn vị là m^3 ; m là khối lượng khí trong ống, đơn vị là gam (g); A là nguyên tử khối của khí, đơn vị là g/mol; n là số mol của khối khí, đơn vị là mol; R là hằng số khí, trong hệ đo lường quốc tế $R=8.314462 \text{ (m}^3.\text{Pa}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1})$; T là nhiệt độ tuyệt đối của khối khí; $\rho=m/V$ là mật độ khối của khí He-3 trong ống, đơn vị là g/m^3 hoặc g/cm^3 .

Thay các số liệu vào công thức 2.2 ta xác định được mật độ khối của

$$^3\text{He} \text{ trong ống đếm là: } \rho = \frac{405298.3}{8,31.294} = 497,7 \text{ g} / \text{m}^3 = 0,0004977 \text{ g} / \text{cm}^3$$

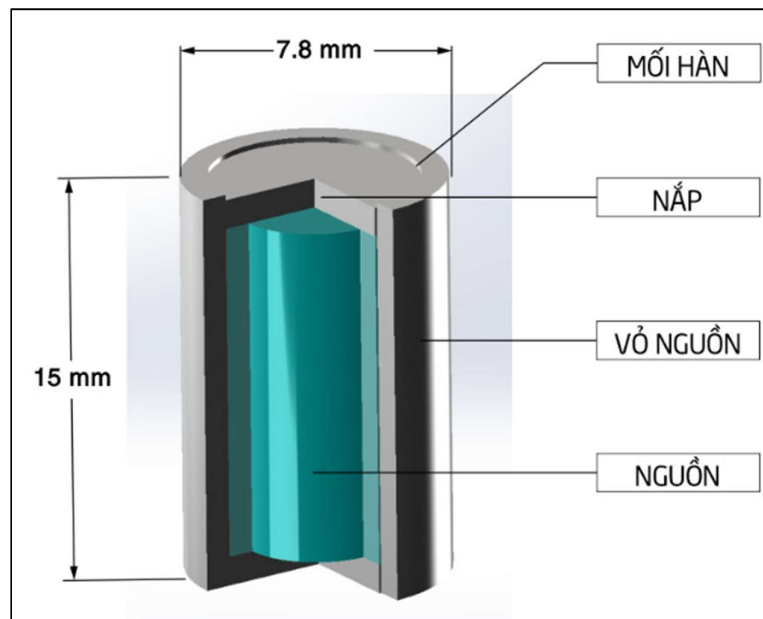
Bảng 2.3. Thông số kỹ thuật ống đếm ^3He 2528

Chiều dài tối đa (inch/mm)	11,34/288,04
Đường kính tối đa (inch/mm)	1,0/25,4
Chiều dài hiệu dụng (inch/mm)	8,0/203,2
Vật liệu cực âm (bên trong/ bên ngoài)	Thép không gỉ
Đường kính hiệu dụng (inch/mm)	0,96/24,38

Nhiệt độ hoạt động (°C)	-50 đến +100
Áp suất khí (Torr/Pa) tại 21°C	3040/405298,88
Thể tích hiệu dụng	94,84
Mật độ khối của ^3He (g/cm 3)	0,0004977
Điện áp hoạt động khuyên dùng (Vôn)	1250
Phạm vi điện áp hoạt động (Vôn)	1100 – 1400
Độ phân giải tối đa (% FWHM)	8
Độ nhạy neutron nhiệt (CPS/NV)	28,0

2.4.1.2. Nguồn neutron $^{241}\text{Am-Be}$ và ^{252}Cf

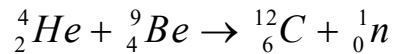
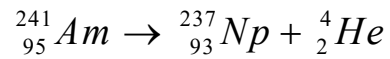
- Hệ chiếu chuẩn neutron dùng nguồn đồng vị $^{241}\text{Am-Be}$ đặt tại Phòng chuẩn liều neutron của Viện NCHN. Nguồn đặt ở tâm của container dạng hình trụ cao 12,6 mm và đường kính 5,8 mm; vỏ nguồn dạng hình trụ cao 15 mm và đường kính 7,8 mm làm bằng thép không gỉ (mặt trên và dưới dày 1,2 mm; thành trụ xung quanh dày 1 mm) được mô phỏng như Hình 2.10. Nguồn có cường độ phát là $5,6038 \cdot 10^6 \pm 6\%$ n/s năm 2001, và giảm còn $5,4181 \cdot 10^6 \pm 6\%$ n/s năm 2022.



Hình 2.10. Hình học nguồn neutron $^{241}\text{Am-Be}$ theo kích thước thực

Nguồn đồng vị này phát ra hạt alpha với năng lượng trung bình 5,4 MeV và kèm theo tia gamma có năng lượng khoảng 40 keV đến 60 keV. Quá trình

phát neutron của nguồn alpha-neutron ^{241}Am -Be dựa trên phản ứng giữa hạt alpha phát ra do ^{241}Am phân rã tương tác với bia Be được biểu diễn thông qua hai phản ứng :



Nhằm đảm bảo an toàn bức xạ và bảo vệ nguồn thì nó được đặt trong Howitzer parafin hình trụ (Hình 2.11), nguồn có thể được nâng lên và hạ xuống tự động nhờ hệ thống tự động có dây ròng rọc và có thể canh chỉnh thời gian theo yêu cầu thí nghiệm, đảm bảo an toàn cho người nghiên cứu trong quá trình tiến hành đo đạc.



Hình 2.11. Howitzer chứa nguồn ^{241}Am -Be

- Hệ chiếu chuẩn neutron dùng nguồn đồng vị ^{252}Cf đặt tại Phòng thí nghiệm của Trung tâm Đào tạo, Viện NCHN bao gồm:

- Howitzer chứa nguồn (Hình 2.12) là một thùng thép không gỉ dạng hình trụ dày 0,2 cm, cao 50 cm; đường kính ngoài 50 cm và đường kính trong 4,8 cm (không gian giữa được lấp đầy bằng paraffin và B_4C với tỉ lệ theo khối

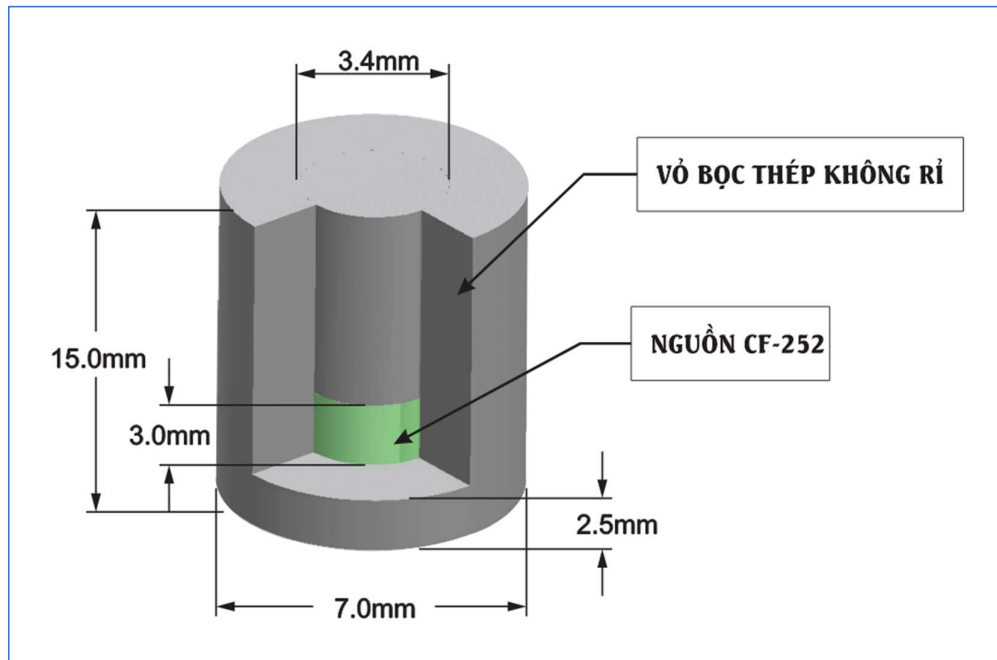
lượng 90% parafin và 10% B₄C); ở tâm container là không gian rỗng là nơi để nguồn neutron ²⁵²Cf.

- Thỏi nguồn ²⁵²Cf (dùng cho khởi động Lò phản ứng Đà Lạt, nhận năm 2011) có hoạt độ 407 MBq (11 mCi) đo ngày 02/08/2011 và cường độ phát $5.10^7 \pm 8\%$ n/s; cường độ phát giảm còn $2,8.10^6$ n/s ngày 19/5/2022. Nguồn có khối lượng 21 μ g, đường kính 3,4 mm, dài 3mm (Hình 2.13).

Khi chiếu xạ, nguồn ²⁵²Cf được đưa lên phía trên bằng hệ thống điều khiển tự động có dây ròng rọc.



Hình 2.12. Howitzer chứa nguồn ²⁵²Cf



Hình 2.13. Hình học nguồn neutron ^{252}Cf theo kích thước thực

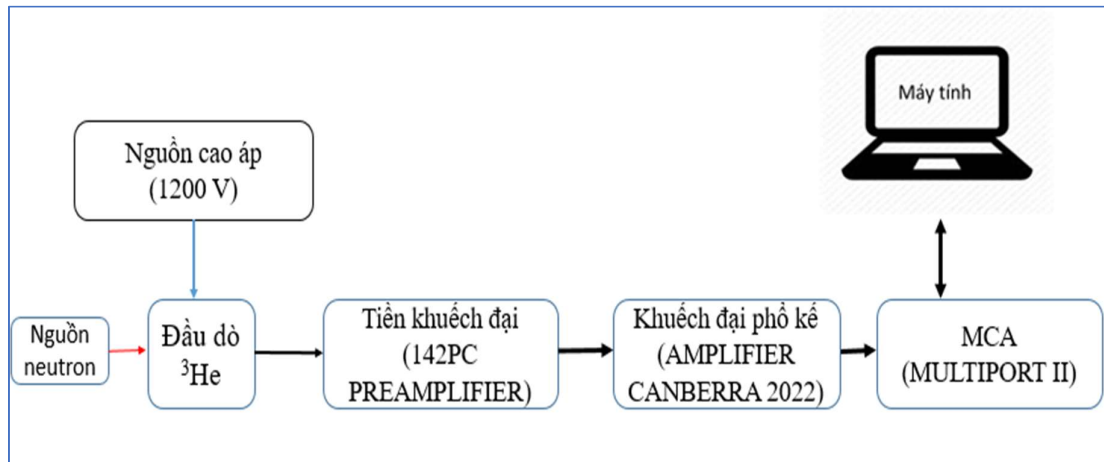
2.4.1.3. Thiết bị điện tử hệ phổ kế đa kênh

Máy phân tích biên độ đa kênh sử dụng tại Trung tâm Vật lý và Điện tử hạt nhân thuộc Viện NCHN là Multiport II, khối khuếch đại phổ và khối cao thế do hãng Canberra (Mỹ) chế tạo có dạng như Hình 2.14.



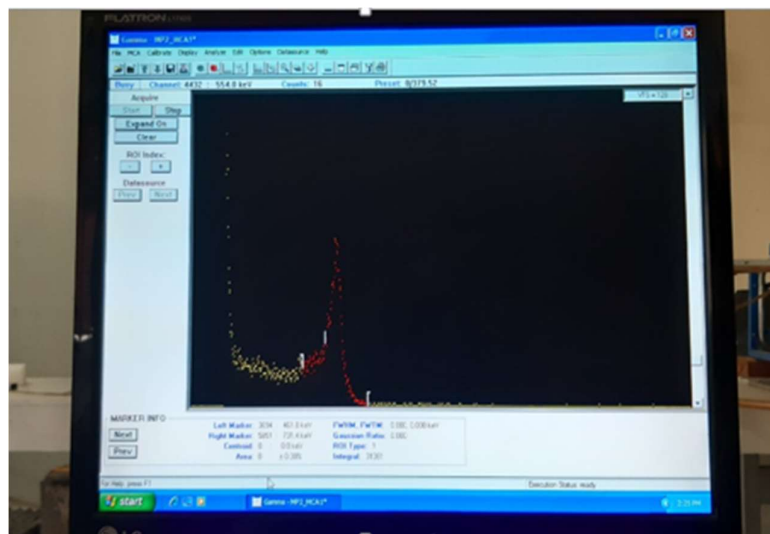
Hình 2.14. Các khối điện tử hệ phổ kế đa kênh Multiport II (Canberra)

Mạch điện tử hệ phổ kế đa kênh trên được mô tả theo sơ đồ Hình 2.15.



Hình 2.15. Sơ đồ mạch điện tử hệ phổ kế đa kênh

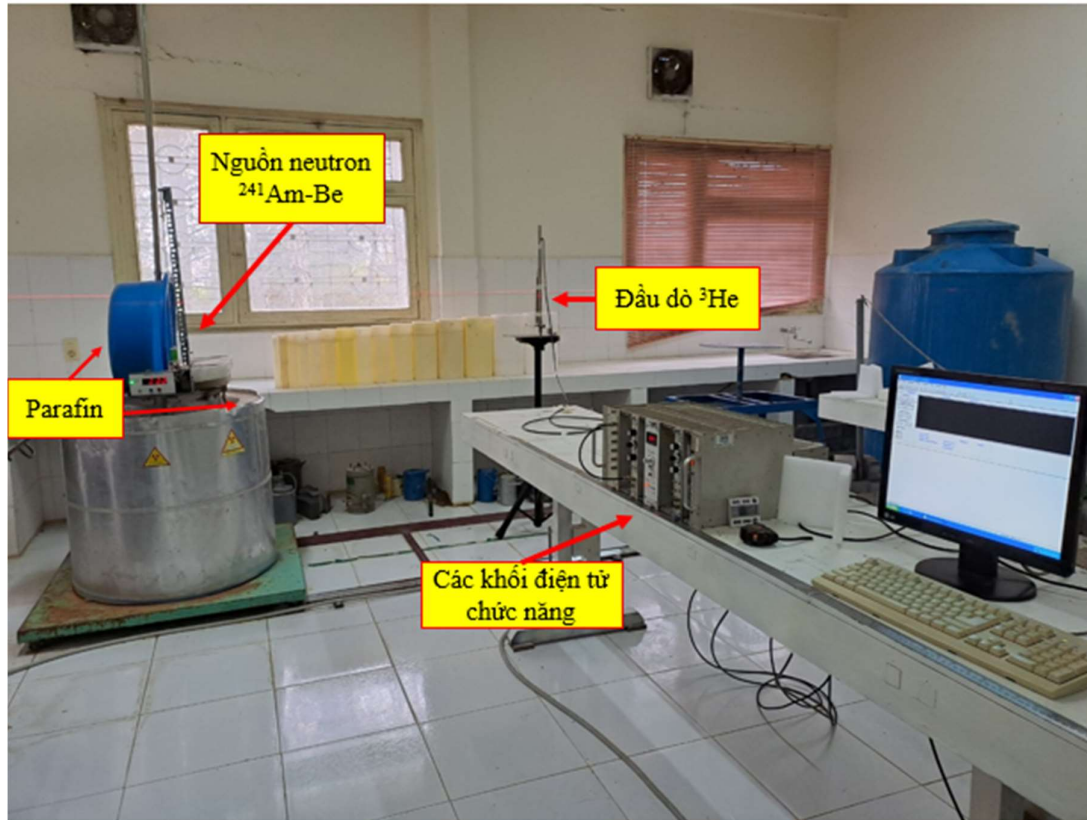
- Ống đếm ^3He LND, INC 2528 biến đổi bức xạ neutron thành tín hiệu điện;
- Nguồn cao áp có thể điều chỉnh được đến điện áp thích hợp cho ống đếm hoạt động. Trong thí nghiệm này điện áp được điều chỉnh đến 1200 V;
- Tiền khuếch đại sẽ khuếch đại các tín hiệu từ lõi ra của ống đếm ^3He ;
- Khuếch đại phổ kế (AMP) còn gọi là bộ xử lý tương tự có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu đồng thời xử lý dạng xung điện để cho độ chính xác cao trong phép đo;
- MCA là bộ phân tích đa kênh bao gồm ADC biến đổi tín hiệu tương tự thành tín hiệu số và MCD xử lý kết quả đo thông qua bộ giao diện MCD sau đó tín hiệu được đưa vào máy tính để xử lý và lưu kết quả bằng chương trình Gennie 2000 (Hình 2.16).



Hình 2.16. Phổ neutron thu được trong thí nghiệm đo nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ sử dụng chương trình Gennie2000

2.4.2. Bố trí thiết lập cấu hình thực nghiệm

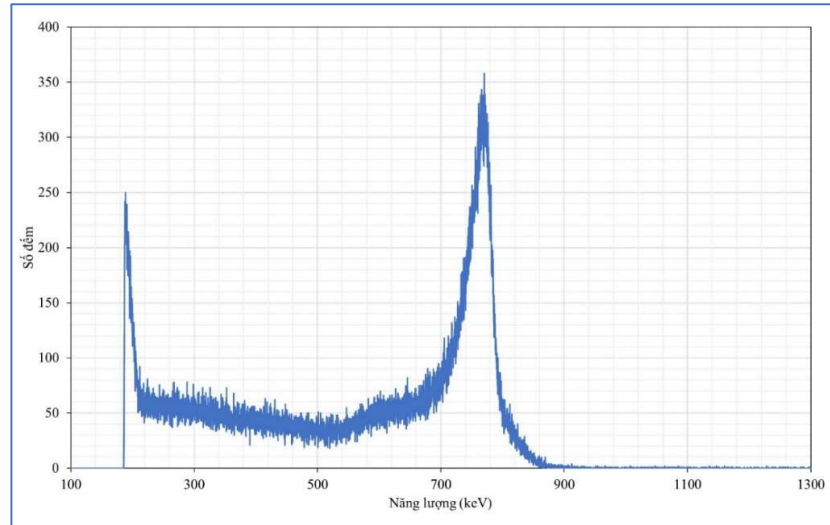
Khi các ống trụ PE được chế tạo thành công thì hệ BCS được đưa vào phòng chuẩn liều neutron thuộc Viện NCHN để tiến hành đo đặc phổ neutron nhằm so sánh với kết quả mô phỏng. Thí nghiệm được bố trí như Hình 2.17.



Hình 2.17. Bố trí thí nghiệm sử dụng hệ BCS đo phổ neutron của nguồn $^{241}\text{Am-Be}$

Hệ BCS được đặt trên một giá đỡ có thể di chuyển được để thay đổi khoảng cách từ hệ đo đến nguồn. Giá đỡ các ống PE chứa đầu dò ^3He được đặt cách nguồn neutron $^{241}\text{Am-Be}$ ở những khoảng cách 200, 150, 120, 100 và 65 cm và cách nguồn ^{252}Cf ở những khoảng cách 200, 100 và 60 cm. Ống đếm ^3He được cấp cao thế 1200V, ghép nối với tiền khuếch đại, tín hiệu từ tiền khuếch đại được khuếch đại sau đó kết nối qua khối Multiport và được ghi nhận lưu vào máy tính bằng chương trình Gennie2000. Mỗi phép đo được thực hiện trong khoảng thời gian 600 s đối với nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ và 1000 s đối với nguồn ^{252}Cf để đảm bảo sai số thống kê. Do các nguồn neutron đồng vị đều có phát kèm bức xạ gamma, gây nhiễu ở vùng năng lượng thấp của phổ ghi nhận bởi ống đếm ^3He , do đó ngưỡng dưới ADC được cắt để hạn chế tín hiệu nhiễu, phổ

năng lượng neutron thu được của nguồn ^{252}Cf từ thực nghiệm có dạng như Hình 2.18. Từ các kết quả đo đạc và tính toán CPS (số đếm xung/s) thực nghiệm so sánh với kết quả CPS trong mô phỏng PHITS.



Hình 2.18. Phổ năng lượng neutron thu được của nguồn ^{252}Cf từ thực nghiệm (dùng lớp PE dày 10,225 cm của hệ BCS ở khoảng cách 60 cm so với nguồn)

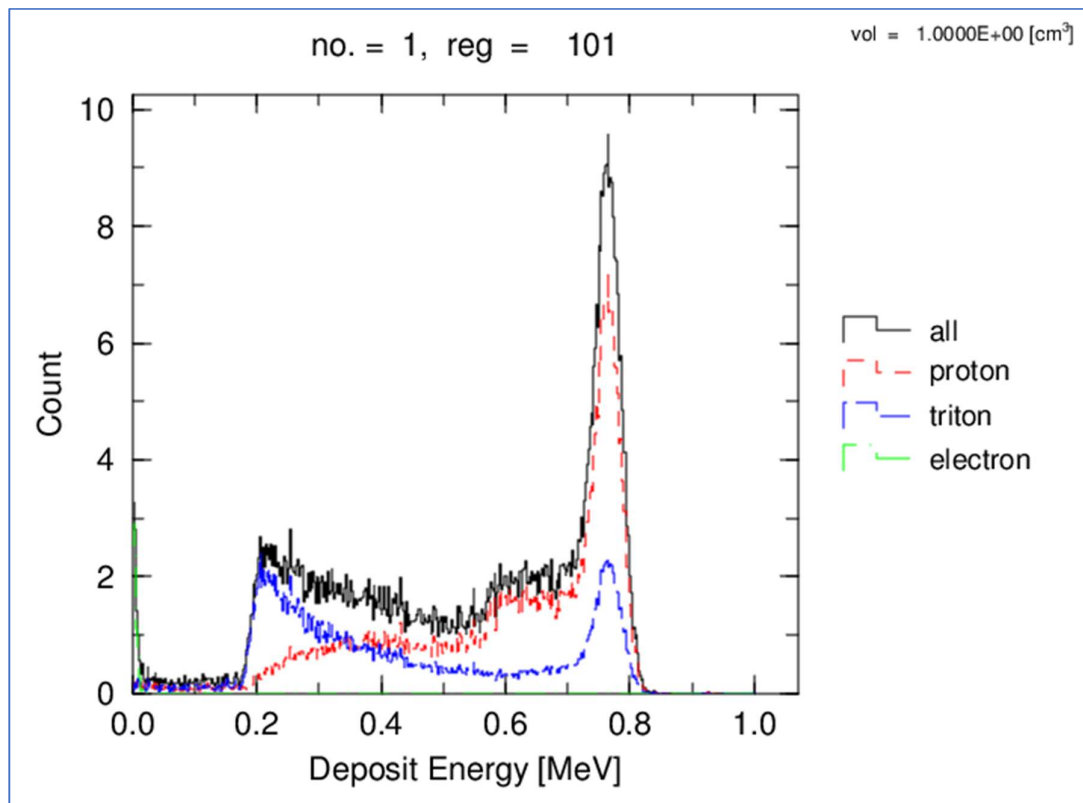
Ở mỗi khoảng cách thực hiện 16 phép đo: đầu tiên là đo trần chỉ với ống đếm ^3He , rồi lần lượt lồng các ống PE vào nhau bao bọc đầu dò để tăng dần độ dày của lớp làm chậm. Đồng thời giá đỡ hệ phổ kế cũng có thể điều chỉnh thay đổi được độ cao đảm bảo cho nguồn luôn trực diện với tâm của ống đếm ^3He . Sau mỗi bước lắp thêm ống PE sẽ làm thay đổi vị trí của ống đếm ^3He nên cần điều chỉnh lại chiều cao của giá đỡ, do đó sử dụng thêm thước laser định vị trong quá trình đo (Hình 2.19) để tăng tính chính xác của các phép đo.



Hình 2.19. Sử dụng thước laser định vị hỗ trợ điều chỉnh vị trí hệ Bonner

2.5. MÔ PHỎNG MONTE CARLO HỆ NNS VỚI NGUỒN BỨC XẠ NEUTRON (^{252}Cf)

Để kiểm tra tính khả dụng và mức độ phù hợp của các tính toán trong mô phỏng xác định hàm đáp ứng bằng phương pháp MC, cần tiến hành thực hiện so sánh kết quả đo số đếm thực của hệ phổ kế với các nguồn đồng vị và kết quả mô phỏng. Chương trình mô phỏng MC xác định tốc độ đếm của hệ BCS với nguồn bức xạ neutron ^{252}Cf được thực hiện với phần mềm PHITS, sử dụng các dữ liệu thông lượng neutron theo hoạt độ của nguồn ^{252}Cf và các thông số thiết bị thực nghiệm khai báo trong phần input (Phụ lục 2). Thực hiện mô phỏng nguồn và hình học hệ đo tương ứng với thực nghiệm, tính toán sự thay đổi tốc độ đếm của đầu dò theo bề dày các lớp làm chậm PE, khoảng cách giữa nguồn ^{252}Cf và hệ BCS được dùng để khảo sát là 60 cm. Phổ neutron trong tính toán mô phỏng có kết quả như Hình 2.20.



Hình 2.20. Phổ mô phỏng năng lượng hấp thụ của ống đếm ^3He đặt trong lớp PE dày 10,225 cm ở khoảng cách 60 cm so với nguồn phát neutron ^{252}Cf

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. MÔ HÌNH THIẾT KẾ VÀ KẾT QUẢ CHẾ TẠO HỆ BONNER-CYLINDER

Hệ Bonner-Cylinder đã được thiết kế bao gồm 15 ống trụ rỗng PE có thể lồng khít vào nhau và bao bọc ống đếm ^3He . Số lượng ống và độ dày của các lớp PE đã được tính toán phù hợp với mục tiêu dải năng lượng cần đo và chi phí sản xuất tiết kiệm nhất. Hệ Bonner-Cylinder đặt trên một giá đỡ có thể điều chỉnh độ cao nhằm đảm bảo chùm neutron luôn đến được tâm của ống đếm ^3He trong quá trình đo đạc (Hình 3.1).



Hình 3.1. Kết quả thiết kế mô hình các ống trụ PE và giá đỡ của hệ phổ kế Bonner-Cylinder

Các lớp chất làm chậm hình trụ được làm từ PE đã được chế tạo thành công theo kích thước thiết kế (Hình 3.2) và đưa vào tiến hành đo đạc thực nghiệm theo đúng mục tiêu ban đầu đề ra. Hệ Bonner-Cylinder có tổng khối

lượng là 15,7 kg; dễ dàng tháo lắp, thuận tiện trong quá trình tiến hành ghi đo và di chuyển hệ.



Hình 3.2. 15 ống trụ làm chậm neutron bằng PE của hệ Bonner-Cylinder đã được chế tạo

3.2. KẾT QUẢ XÁC ĐỊNH HÀM ĐÁP ỨNG CỦA HỆ PHỔ KẾ BONNER-CYLINDER

Các bước tính toán mô phỏng bằng chương trình PHITS đã được thực hiện và thu được kết quả số liệu các hàm đáp ứng của hệ Bonner-Cylinder được mô tả trong Bảng 3.2 và Hình 3.3.

Bảng 3.1. Bảng kết quả giá trị các hàm đáp ứng của hệ Bonner-Cylinder (từ PE0 đến PE15), đơn vị hàm đáp ứng là cm^2

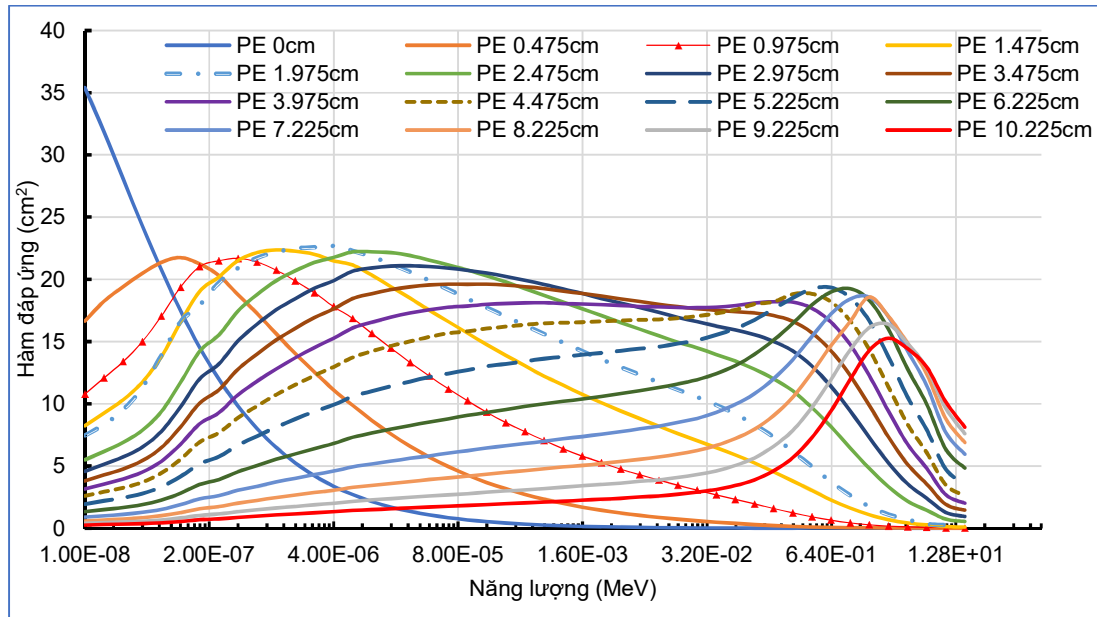
En (MeV)	PE 0 0,000 cm	PE 1 0,475 cm	PE 2 0,975 cm	PE 3 1,475 cm
1,00E-08	3,86E+01	1,67E+01	1,08E+01	8,24E+00
1,59E-08	3,54E+01	1,82E+01	1,21E+01	9,25E+00
2,51E-08	3,19E+01	1,94E+01	1,34E+01	1,03E+01
3,98E-08	2,81E+01	2,05E+01	1,50E+01	1,17E+01
6,31E-08	2,43E+01	2,14E+01	1,70E+01	1,38E+01
1,00E-07	2,08E+01	2,17E+01	1,94E+01	1,65E+01
1,59E-07	1,75E+01	2,12E+01	2,10E+01	1,90E+01
2,51E-07	1,46E+01	2,03E+01	2,15E+01	2,02E+01
3,98E-07	1,20E+01	1,88E+01	2,17E+01	2,15E+01
6,31E-07	9,85E+00	1,73E+01	2,14E+01	2,21E+01

1,00E-06	8,02E+00	1,56E+01	2,07E+01	2,24E+01
1,59E-06	6,50E+00	1,40E+01	1,99E+01	2,23E+01
2,51E-06	5,25E+00	1,26E+01	1,89E+01	2,20E+01
3,98E-06	4,23E+00	1,11E+01	1,78E+01	2,15E+01
6,31E-06	3,38E+00	9,89E+00	1,69E+01	2,12E+01
1,00E-05	2,71E+00	8,68E+00	1,57E+01	2,03E+01
1,59E-05	2,15E+00	7,58E+00	1,45E+01	1,94E+01
2,51E-05	1,71E+00	6,60E+00	1,33E+01	1,85E+01
3,98E-05	1,36E+00	5,73E+00	1,22E+01	1,75E+01
6,31E-05	1,08E+00	4,96E+00	1,12E+01	1,66E+01
1,00E-04	8,59E-01	4,28E+00	1,03E+01	1,57E+01
1,59E-04	6,78E-01	3,68E+00	9,33E+00	1,48E+01
2,51E-04	5,38E-01	3,18E+00	8,50E+00	1,39E+01
3,98E-04	4,24E-01	2,73E+00	7,76E+00	1,31E+01
6,31E-04	3,35E-01	2,35E+00	7,07E+00	1,22E+01
1,00E-03	2,65E-01	2,00E+00	6,39E+00	1,15E+01
1,59E-03	2,08E-01	1,70E+00	5,80E+00	1,08E+01
2,51E-03	1,62E-01	1,45E+00	5,28E+00	1,01E+01
3,98E-03	1,26E-01	1,24E+00	4,76E+00	9,44E+00
6,31E-03	9,86E-02	1,04E+00	4,31E+00	8,81E+00
1,00E-02	7,67E-02	8,79E-01	3,88E+00	8,22E+00
1,59E-02	5,73E-02	7,36E-01	3,45E+00	7,61E+00
2,51E-02	4,34E-02	6,06E-01	3,07E+00	7,05E+00
3,98E-02	3,34E-02	4,94E-01	2,70E+00	6,49E+00
6,31E-02	2,47E-02	3,98E-01	2,33E+00	5,91E+00
1,00E-01	1,79E-02	3,00E-01	1,97E+00	5,25E+00
1,59E-01	1,32E-02	2,18E-01	1,59E+00	4,55E+00
2,51E-01	1,08E-02	1,53E-01	1,24E+00	3,81E+00
3,98E-01	1,64E-02	1,05E-01	9,27E-01	3,04E+00
6,31E-01	2,01E-02	7,52E-02	6,50E-01	2,28E+00
1,00E+00	2,26E-02	5,52E-02	4,41E-01	1,64E+00
1,59E+00	2,51E-02	4,42E-02	2,87E-01	1,10E+00
2,51E+00	2,39E-02	3,55E-02	1,82E-01	7,05E-01
3,98E+00	2,07E-02	2,84E-02	1,11E-01	4,29E-01
6,31E+00	1,72E-02	2,26E-02	7,32E-02	2,75E-01
1,00E+01	1,40E-02	1,67E-02	4,15E-02	1,41E-01
1,59E+01	1,21E-02	1,44E-02	3,28E-02	1,04E-01
En	PE 4	PE 5	PE 6	PE 7
(MeV)	1,975 cm	2,475 cm	2,975 cm	3,475 cm
1,00E-08	6,68E+00	5,51E+00	4,58E+00	3,81E+00
1,59E-08	7,48E+00	6,17E+00	5,14E+00	4,29E+00
2,51E-08	8,36E+00	6,91E+00	5,73E+00	4,76E+00
3,98E-08	9,54E+00	7,87E+00	6,52E+00	5,43E+00
6,31E-08	1,13E+01	9,38E+00	7,79E+00	6,48E+00
1,00E-07	1,39E+01	1,17E+01	9,74E+00	8,13E+00
1,59E-07	1,66E+01	1,42E+01	1,20E+01	1,00E+01

2,51E-07	1,80E+01	1,55E+01	1,32E+01	1,11E+01
3,98E-07	1,97E+01	1,74E+01	1,50E+01	1,28E+01
6,31E-07	2,09E+01	1,88E+01	1,64E+01	1,40E+01
1,00E-06	2,17E+01	1,99E+01	1,76E+01	1,51E+01
1,59E-06	2,22E+01	2,07E+01	1,84E+01	1,61E+01
2,51E-06	2,25E+01	2,14E+01	1,93E+01	1,69E+01
3,98E-06	2,26E+01	2,18E+01	1,99E+01	1,76E+01
6,31E-06	2,27E+01	2,22E+01	2,07E+01	1,85E+01
1,00E-05	2,23E+01	2,22E+01	2,09E+01	1,88E+01
1,59E-05	2,18E+01	2,21E+01	2,11E+01	1,92E+01
2,51E-05	2,12E+01	2,19E+01	2,11E+01	1,94E+01
3,98E-05	2,06E+01	2,16E+01	2,10E+01	1,96E+01
6,31E-05	1,99E+01	2,12E+01	2,09E+01	1,96E+01
1,00E-04	1,92E+01	2,08E+01	2,07E+01	1,96E+01
1,59E-04	1,84E+01	2,03E+01	2,05E+01	1,96E+01
2,51E-04	1,77E+01	1,98E+01	2,02E+01	1,95E+01
3,98E-04	1,70E+01	1,93E+01	1,99E+01	1,94E+01
6,31E-04	1,63E+01	1,87E+01	1,96E+01	1,93E+01
1,00E-03	1,56E+01	1,82E+01	1,92E+01	1,90E+01
1,59E-03	1,49E+01	1,76E+01	1,89E+01	1,89E+01
2,51E-03	1,42E+01	1,71E+01	1,85E+01	1,87E+01
3,98E-03	1,36E+01	1,65E+01	1,81E+01	1,84E+01
6,31E-03	1,30E+01	1,60E+01	1,77E+01	1,82E+01
1,00E-02	1,23E+01	1,55E+01	1,74E+01	1,80E+01
1,59E-02	1,17E+01	1,49E+01	1,69E+01	1,78E+01
2,51E-02	1,11E+01	1,45E+01	1,66E+01	1,76E+01
3,98E-02	1,05E+01	1,40E+01	1,63E+01	1,75E+01
6,31E-02	9,92E+00	1,34E+01	1,59E+01	1,74E+01
1,00E-01	9,18E+00	1,28E+01	1,56E+01	1,73E+01
1,59E-01	8,33E+00	1,20E+01	1,50E+01	1,71E+01
2,51E-01	7,35E+00	1,10E+01	1,43E+01	1,66E+01
3,98E-01	6,18E+00	9,70E+00	1,30E+01	1,57E+01
6,31E-01	4,97E+00	8,19E+00	1,14E+01	1,43E+01
1,00E+00	3,74E+00	6,47E+00	9,44E+00	1,23E+01
1,59E+00	2,65E+00	4,81E+00	7,32E+00	9,89E+00
2,51E+00	1,77E+00	3,35E+00	5,26E+00	7,36E+00
3,98E+00	1,13E+00	2,18E+00	3,58E+00	5,16E+00
6,31E+00	7,22E-01	1,45E+00	2,42E+00	3,57E+00
1,00E+01	3,65E-01	7,40E-01	1,28E+00	1,93E+00
1,59E+01	2,79E-01	5,51E-01	9,54E-01	1,46E+00
En	PE 8	PE 9	PE10	PE11
(MeV)	3,975 cm	4,475 cm	5,225 cm	6,225 cm
1,00E-08	3,16E+00	2,63E+00	1,97E+00	1,34E+00
1,59E-08	3,56E+00	2,96E+00	2,23E+00	1,51E+00
2,51E-08	3,97E+00	3,29E+00	2,47E+00	1,67E+00
3,98E-08	4,51E+00	3,73E+00	2,81E+00	1,90E+00

6,31E-08	5,38E+00	4,47E+00	3,35E+00	2,27E+00
1,00E-07	6,75E+00	5,57E+00	4,19E+00	2,82E+00
1,59E-07	8,39E+00	6,96E+00	5,20E+00	3,52E+00
2,51E-07	9,28E+00	7,69E+00	5,78E+00	3,92E+00
3,98E-07	1,07E+01	8,90E+00	6,70E+00	4,54E+00
6,31E-07	1,18E+01	9,84E+00	7,43E+00	5,04E+00
1,00E-06	1,28E+01	1,08E+01	8,15E+00	5,55E+00
1,59E-06	1,37E+01	1,15E+01	8,80E+00	5,98E+00
2,51E-06	1,45E+01	1,23E+01	9,40E+00	6,40E+00
3,98E-06	1,53E+01	1,30E+01	9,94E+00	6,81E+00
6,31E-06	1,61E+01	1,37E+01	1,06E+01	7,31E+00
1,00E-05	1,66E+01	1,42E+01	1,10E+01	7,65E+00
1,59E-05	1,70E+01	1,47E+01	1,14E+01	7,96E+00
2,51E-05	1,73E+01	1,50E+01	1,18E+01	8,25E+00
3,98E-05	1,76E+01	1,54E+01	1,22E+01	8,54E+00
6,31E-05	1,78E+01	1,57E+01	1,25E+01	8,80E+00
1,00E-04	1,79E+01	1,58E+01	1,27E+01	9,07E+00
1,59E-04	1,80E+01	1,61E+01	1,30E+01	9,30E+00
2,51E-04	1,81E+01	1,62E+01	1,32E+01	9,54E+00
3,98E-04	1,81E+01	1,64E+01	1,34E+01	9,79E+00
6,31E-04	1,81E+01	1,65E+01	1,36E+01	1,00E+01
1,00E-03	1,81E+01	1,65E+01	1,38E+01	1,02E+01
1,59E-03	1,80E+01	1,66E+01	1,40E+01	1,04E+01
2,51E-03	1,80E+01	1,66E+01	1,41E+01	1,06E+01
3,98E-03	1,79E+01	1,67E+01	1,43E+01	1,08E+01
6,31E-03	1,78E+01	1,68E+01	1,44E+01	1,11E+01
1,00E-02	1,78E+01	1,68E+01	1,46E+01	1,13E+01
1,59E-02	1,77E+01	1,69E+01	1,49E+01	1,16E+01
2,51E-02	1,77E+01	1,71E+01	1,51E+01	1,19E+01
3,98E-02	1,78E+01	1,73E+01	1,56E+01	1,24E+01
6,31E-02	1,79E+01	1,76E+01	1,61E+01	1,31E+01
1,00E-01	1,81E+01	1,80E+01	1,68E+01	1,40E+01
1,59E-01	1,82E+01	1,82E+01	1,76E+01	1,51E+01
2,51E-01	1,82E+01	1,88E+01	1,85E+01	1,65E+01
3,98E-01	1,77E+01	1,88E+01	1,93E+01	1,79E+01
6,31E-01	1,66E+01	1,82E+01	1,93E+01	1,90E+01
1,00E+00	1,48E+01	1,67E+01	1,86E+01	1,93E+01
1,59E+00	1,23E+01	1,44E+01	1,67E+01	1,83E+01
2,51E+00	9,43E+00	1,14E+01	1,38E+01	1,60E+01
3,98E+00	6,77E+00	8,39E+00	1,06E+01	1,28E+01
6,31E+00	4,83E+00	6,11E+00	7,94E+00	9,99E+00
1,00E+01	2,71E+00	3,51E+00	4,77E+00	6,37E+00
1,59E+01	2,02E+00	2,66E+00	3,60E+00	4,84E+00
En (MeV)	PE12 7,225 cm	PE13 8,225 cm	PE14 9,225 cm	PE15 10,225cm
1,00E-08	9,03E-01	5,98E-01	3,98E-01	2,67E-01

1,59E-08	1,01E+00	6,77E-01	4,49E-01	3,01E-01
2,51E-08	1,12E+00	7,51E-01	5,02E-01	3,32E-01
3,98E-08	1,29E+00	8,55E-01	5,66E-01	3,76E-01
6,31E-08	1,52E+00	1,02E+00	6,78E-01	4,41E-01
1,00E-07	1,90E+00	1,26E+00	8,34E-01	5,48E-01
1,59E-07	2,36E+00	1,57E+00	1,04E+00	6,91E-01
2,51E-07	2,62E+00	1,74E+00	1,15E+00	7,59E-01
3,98E-07	3,05E+00	2,02E+00	1,34E+00	8,74E-01
6,31E-07	3,38E+00	2,25E+00	1,49E+00	9,81E-01
1,00E-06	3,72E+00	2,47E+00	1,64E+00	1,07E+00
1,59E-06	4,02E+00	2,67E+00	1,76E+00	1,16E+00
2,51E-06	4,31E+00	2,87E+00	1,89E+00	1,25E+00
3,98E-06	4,59E+00	3,06E+00	2,01E+00	1,34E+00
6,31E-06	4,94E+00	3,29E+00	2,16E+00	1,43E+00
1,00E-05	5,17E+00	3,44E+00	2,28E+00	1,50E+00
1,59E-05	5,39E+00	3,60E+00	2,38E+00	1,57E+00
2,51E-05	5,62E+00	3,75E+00	2,49E+00	1,65E+00
3,98E-05	5,82E+00	3,92E+00	2,59E+00	1,71E+00
6,31E-05	6,05E+00	4,05E+00	2,69E+00	1,77E+00
1,00E-04	6,23E+00	4,19E+00	2,79E+00	1,84E+00
1,59E-04	6,45E+00	4,34E+00	2,90E+00	1,91E+00
2,51E-04	6,63E+00	4,50E+00	3,00E+00	1,98E+00
3,98E-04	6,81E+00	4,62E+00	3,08E+00	2,05E+00
6,31E-04	6,99E+00	4,79E+00	3,19E+00	2,10E+00
1,00E-03	7,21E+00	4,93E+00	3,31E+00	2,18E+00
1,59E-03	7,37E+00	5,05E+00	3,41E+00	2,27E+00
2,51E-03	7,57E+00	5,21E+00	3,52E+00	2,34E+00
3,98E-03	7,76E+00	5,37E+00	3,62E+00	2,41E+00
6,31E-03	8,00E+00	5,54E+00	3,78E+00	2,52E+00
1,00E-02	8,21E+00	5,73E+00	3,89E+00	2,60E+00
1,59E-02	8,50E+00	5,96E+00	4,09E+00	2,74E+00
2,51E-02	8,83E+00	6,26E+00	4,31E+00	2,91E+00
3,98E-02	9,31E+00	6,65E+00	4,61E+00	3,12E+00
6,31E-02	9,95E+00	7,22E+00	5,05E+00	3,44E+00
1,00E-01	1,08E+01	7,96E+00	5,65E+00	3,89E+00
1,59E-01	1,20E+01	9,05E+00	6,59E+00	4,62E+00
2,51E-01	1,35E+01	1,05E+01	7,85E+00	5,67E+00
3,98E-01	1,54E+01	1,25E+01	9,70E+00	7,27E+00
6,31E-01	1,72E+01	1,47E+01	1,20E+01	9,42E+00
1,00E+00	1,84E+01	1,66E+01	1,43E+01	1,19E+01
1,59E+00	1,86E+01	1,86E+01	1,61E+01	1,43E+01
2,51E+00	1,70E+01	1,70E+01	1,64E+01	1,53E+01
3,98E+00	1,43E+01	1,49E+01	1,49E+01	1,44E+01
6,31E+00	1,15E+01	1,24E+01	1,29E+01	1,30E+01
1,00E+01	7,72E+00	8,81E+00	9,65E+00	1,02E+01
1,59E+01	5,96E+00	6,90E+00	7,60E+00	8,13E+00



Hình 3.3. Kết quả số liệu các hàm đáp ứng của hệ Bonner-Cylinder (từ PE0 đến PE10) được xác định bằng mô phỏng PHITS

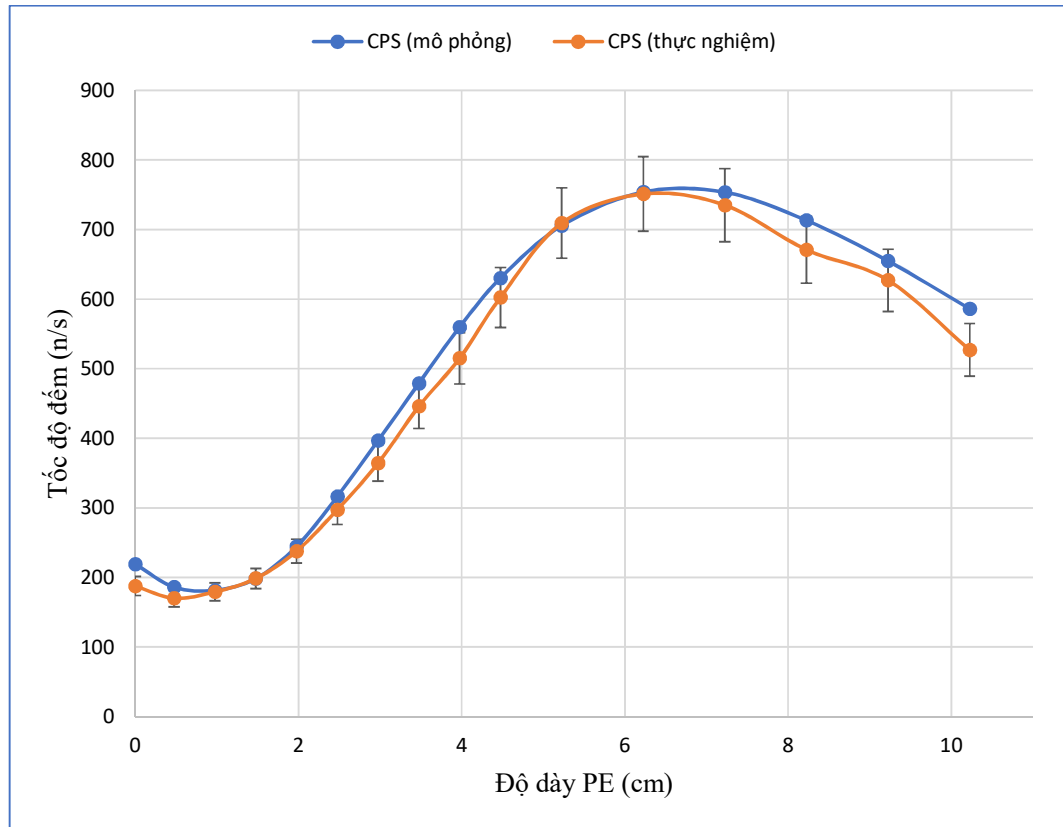
Các phép tính toán hàm đáp ứng cho kết quả tốt, phù hợp với kỳ vọng. Hàm đáp ứng này đã được đưa vào sử dụng trong giải cuộn xác định phổ thông lượng neutron của các nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ và ^{252}Cf và đánh giá trường liều bức xạ của các nguồn neutron này tại Viện NCHN.

3.3. KẾT QUẢ ĐO THỰC NGHIỆM VÀ SO SÁNH VỚI MÔ PHỎNG

Để kiểm chứng về độ tin cậy của chương trình PHITS mô phỏng các hàm đáp ứng và các mô hình thực nghiệm đã chế tạo và thiết lập, việc so sánh số liệu tốc độ đếm (CPS) bằng thực nghiệm đối với nguồn ^{252}Cf tại khoảng cách 60 cm so với kết quả tính toán mô phỏng tương ứng bằng chương trình PHITS đã được thực hiện và mô tả trong các Bảng 3.2 và Hình 3.4.

Bảng 3.2. Kết quả so sánh số liệu tốc độ đếm mô phỏng và thực nghiệm ở khoảng cách 60 cm đối với nguồn ^{252}Cf

STT	Bề dày PE (cm)	CPS mô phỏng (n/s)	CPS thực nghiệm (n/s)	Sai số thực nghiệm (n/s)
PE 0	0	219	188	14
PE 1	0,475	186	170	12
PE 2	0,975	181	179	13
PE 3	1,475	198	199	14
PE 4	1,975	244	238	17
PE 5	2,475	316	297	21
PE 6	2,975	397	364	26
PE 7	3,475	479	446	32
PE 8	3,975	560	515	37
PE 9	4,475	630	602	43
PE 10	5,225	706	709	51
PE 11	6,225	754	751	54
PE 12	7,225	754	735	52
PE 13	8,225	713	671	48
PE 14	9,225	655	627	45
PE 15	10,225	586	527	38



Hình 3.4. Đồ thị so sánh tốc độ đếm mô phỏng và thực nghiệm ở khoảng cách 60 cm từ nguồn ^{252}Cf đến hệ đo

Từ số liệu so sánh tốc độ đếm neutron mô phỏng và thực nghiệm trong Bảng 3.2 và đồ thị Hình 3.4 cho thấy kết quả số đếm xung/thời gian (CPS) đo thực nghiệm nguồn ^{252}Cf xác định từ hệ quang phổ Bonner-Cylinder hoàn toàn phù hợp với kết quả số liệu từ mô phỏng bằng chương trình PHITS. Như vậy, các kết quả thiết kế, chế tạo các lớp chất làm chậm có dạng hình học Bonner-Cylinder, số liệu tính toán mô phỏng hàm đáp ứng sử dụng chương trình PHITS trong luận văn này là phù hợp và có độ chính xác tốt và có thể đưa vào áp dụng trong thực tiễn. Luận văn đã góp phần thiết lập được một hệ đo mới phục vụ công tác ghi đo phổ năng lượng neutron và đánh giá liều neutron đối với các nguồn phóng xạ neutron đồng vị tại Viện NCHN và các cơ sở bức xạ khác có sử dụng nguồn neutron.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn, học viên đã thu được một số kết quả như sau:

1. Về lý thuyết:

Đã tìm hiểu và nghiên cứu tổng quan lý thuyết về các đặc trưng cơ bản của bức xạ neutron; giới thiệu tổng quan về đặc trưng của các loại nguồn neutron; trình bày cơ sở lý thuyết về các tương tác của neutron với vật chất làm cơ sở cho các phương pháp ghi đo phổ năng lượng neutron. Luận văn nghiên cứu về phương pháp xác định phổ năng lượng neutron bằng kỹ thuật làm chậm neutron; phương pháp mô phỏng Monte Carlo dùng để xác định hàm đáp ứng của hệ phổ kế Bonner-Cylinder đã thiết kế chế tạo; tổng quan về cấu tạo hệ phổ kế đa kênh sử dụng ống đếm ^3He . Trên đây là các vấn đề đã được tìm hiểu và tổng quan trong luận văn, có ý nghĩa làm nền tảng về lý thuyết và phương pháp hữu ích phục vụ cho toàn bộ quá trình thực hiện thành công mục tiêu và các nội dung nghiên cứu đã đặt ra của đề tài.

2. Về thực nghiệm:

Đề tài nghiên cứu đã thành công trong tính toán thiết kế và chế tạo các lớp chất làm chậm neutron có dạng hình trụ bằng vật liệu polyethylene để thiết lập một hệ phổ kế đo phổ neutron bằng phương pháp làm chậm neutron loại Bonner-Cylinder sử dụng ống đếm chứa khí ^3He . Hệ phổ kế mới thiết lập đã được áp dụng thực tế ghi đo phổ neutron từ các nguồn chuẩn neutron đồng vị $^{241}\text{Am-Be}$ và ^{252}Cf . Hàm đáp ứng của hệ phổ kế đã được xác định thông qua tính toán mô phỏng Monte Carlo bằng chương trình PHITS. Sự phù hợp của hàm đáp ứng được kiểm chứng bằng cách so sánh tốc độ đếm mô phỏng và thực nghiệm đối với nguồn chuẩn neutron ^{252}Cf .

Đây là hệ phổ kế Bonner-Cylinder đầu tiên được chế tạo tại Viện Nghiên cứu hạt nhân (Đà Lạt) nên Luận văn có ý nghĩa thực tiễn cao trong công tác ghi đo neutron phục vụ cho công tác nghiên cứu, đào tạo tại đơn vị Viện Nghiên cứu hạt nhân và các cơ sở liên quan khác. Hệ đo đã sẵn sàng cho việc ứng dụng vào chuẩn hóa các thiết bị ghi đo neutron, định liều neutron.

KIẾN NGHỊ

Hệ phổ kế Bonner-Cylinder đã nghiên cứu thiết lập trong luận văn này có dải đo năng lượng neutron đáp ứng được là từ 10^{-9} MeV đến 13 MeV. Để mở rộng khả năng ghi đo neutron năng lượng cao đến 20 MeV hoặc hơn thì cần có nghiên cứu thiết kế thêm các lớp làm chậm có đường kính lớn hơn và cũng cần thiết tính toán mô phỏng thêm các hàm đáp ứng tương ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Andrea Pola, Roberto Bedogni, Davide Bortot, 2012, *Feasibility study of a neutron spectrometer for complex fields*, Politecnico di Milano, Milan.
2. Lise Verbraeken, 2015, *Neutron spectrometry using a simplified Bonner Sphere system*, , Ph.D. Thesis, SCK-CEN, Mol.
3. Felix Mathew, 2019, *Measurement of neutron fluence spectra using a passive nested neutron spectrometer with gold foils*, Master Thesis, McGill University, Quebec.
4. Ngô Quang Huy, 2006, *Cơ sở vật lý hạt nhân*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
5. Phạm Đình Khang, 2011, *Cơ sở các phương pháp vật lý hạt nhân thực nghiệm*, (bản dịch từ giáo trình tiếng Nga của các tác giả A.I. Abramov, IU.A. Kazanski và E.X. Matuxevich, 1985), Trung tâm Đào tạo hạt nhân, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam, Hà Nội.
6. Michael D. Glascock, 2003, *An overview of neutron activation analysis*, University of Missouri Research Reactor (MURR), Columbia.
7. International Atomic Energy Agency, 2000, *Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*, Safety Reports Series No. 16, IAEA, Vienna.
8. Nguyễn An Sơn, 2016, *Cơ sở vật lý hạt nhân*, NXB Đại Học Quốc Gia TP Hồ Chí Minh.
9. F.D.Becchetti, M.Febbraro, R.Torres-Isea, M.Ojaruega, L.Baum, 2013, ^{252}Cf fission-neutron spectrum using a simplified time-of-flight setup: An advanced teaching laboratory experiment, *American Journal of Physics*, 81 (112).
10. Kuo-Wei Lee, Ming-Chen Yuan, Shiang-Huei Jiang, Rong-Jiun Sheu, 2014, Comparing standard Bonner Sphere and high-sensitivity Bonner cylinder, *Radiation Protection Dosimetry*, 161(1-4), 233-236.
11. Briesmeister J.F, 2000, *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C*, Manual, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, New Mexico.

12. Cashwell E.D. Cornelieus Joseph Everett, 1959, *A practical manual on the Monte Carlo method fo random walk problems*, Manual, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, New Mexico.
13. T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, T. Furuta, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, L. Sihver, 2015, Overview of particle and heavy ion transport code system PHITS, *Annals of Nuclear Energy*, 8, 110-115.
14. T. Sato, Y. Iwamoto, S. Hashimoto, T. Ogawa, T. Furuta, S.-i. Abe, T. Kai, Pi-En Tsai, N. Matsuda, H. Iwase, N. Shigyo, L. Sihver and K. Niita, 2018, Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 55(6), 684-690.

PHỤ LỤC 1. FILE INPUT MÔ PHỎNG HỆ PHỔ KẾ BONNER CYLINDER VÀ XÁC ĐỊNH ĐÁP ỨNG CỦA HỆ PHỔ KẾ

\$OMP = 3

[Title]

BONNER CYLINDER SPECTROMETER

[Parameters]

icntl = 0 # (D=0) 3:ECH 5:NOR 6:SRC 7,8:GSH 11:DSH
12:DUMP

maxcas = 1000000 # (D=10) number of particles per one batch

maxbch = 100 # (D=10) number of batches

negs = 1 # (D=0) =1 EGS photon and electron

e-mode = 1 # (D=0) 0: Normal, 1: Event generator mode

c itall = 1 # (D=0) 0:no tally at batch, 1:same, 2:different

file(1) = c:/phits # (D=c:/phits) PHITS install folder name

file(6) = phits.out # (D=phits.out) general output file name

set: c1[10.225] \$ polyethylene thickness ///NHAP THEO SO LIEU
TRONG FILE EXCEL////////

set: c2[6.31E-4] \$ incident neutron energy ///NHAP THEO SO
LIEU TRONG FILE EXCEL////////

[Source]

s-type = 1 # mono-energetic axial source

proj = neutron # kind of incident particle

dir = 1.0 # z-direction of beam [cosine]

r0 = 35.0 # radius [cm]

z0 = -40. # minimum position of z-axis [cm]

z1 = -40. # maximum position of z-axis [cm]

e0 = c2 # energy of beam [MeV/u]

[M a t e r i a l]

mat[1] C 2 H 4 \$ Polyethylene

mt1 poly.20t

mat[2] He-3 1.0 \$ He-3 counter

mat[3] 7014 0.742835 \$ Air

8016 0.242585

6000 0.000122

1001 0.001842

18000 0.012616

mat[4] 26054 0.045442 \$ Steel

26056 0.718611

26057 0.017237

24050 0.008659

24052 0.166984

24053 0.018935

24054 0.004713

14000 0.019482

[S u r f a c e]

10 cx 1.27

11 px -12.05

12 px 12.05

13 px -10.16

14 px 10.16

15 cx 1.32

16 cx 1.32+c1 \$ PE thicknesss

17 px -12.1

18 px 12.1

```

19 px  -12.1-c1
20 px   12.1+c1
21 so   100.0

```

```
[ C e 11 ]
```

```

100 -1    21
101  2 -0.0004977 -10 13 -14
102  2 -0.0004977 -10 11 -13
103  2 -0.0004977 -10 14 -12
c
201  4 -8.000    -15 10 11 -12
202  4 -8.000    -15 17 -11
203  4 -8.000    -15 12 -18
c
301  1 -0.95     -16 15 17 -18
302  1 -0.95     -16 19 -17
303  1 -0.95     -16 18 -20
c
400  3 2.445847e-5 -21 #101 #102 #103 #201 #202 #203
      #301 #302 #303

```

```
[ T - T r a c k ]
```

```

mesh = xyz      # mesh type is xyz scoring mesh
x-type = 2      # x-mesh is linear given by xmin, xmax and nx
nx = 100       # number of x-mesh points
xmin = -60.0   # minimum value of x-mesh points
xmax = 60.0    # maximum value of x-mesh points
y-type = 1     # y-mesh is given by the below data

```

```

ny = 1      # number of y-mesh points
          -1.50 1.50
z-type = 2   # z-mesh is linear given by zmin, zmax and nz
nz = 100    # number of z-mesh points
zmin = -200.0 # minimum value of z-mesh points
zmax = 50.   # maximum value of z-mesh points
part = all
e-type = 1   # e-mesh is given by the below data
ne = 1      # number of e-mesh points
          0.0 100.0
unit = 1     # unit is [1/cm^2/source]
axis = xz    # axis of output
file = track_xz.out # file name of output for the above axis
title = Track Detection using [T-track] tally
gshow = 3    # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
epsout = 1   # (D=0) generate eps file by ANGEL
c factor = 6.50E11

[ T - 3Dshow ]
output = 3    # (D=3) 0:draft, 1:line, 2:col, 3:line+col
x0 = 0.       # (D=0.0) x-coordinate of the origin
y0 = 0.       # (D=0.0) y-coordinate of the origin
z0 = 0.       # (D=0.0) z-coordinate of the origin
e-the = 130.  # (D=80.0) eye point theta(degree) from z-axis
e-phi = 45.   # (D=140.0) eye point phi(degree) from x-axis
e-dst = 300.  # (D=w-dst*10) eye point distance from origin
l-the = 150.  # (D=e-the) light point theta from z-axis
l-phi = 30.   # (D=e-phi) light point phi from x-axis

```

```

l-dst = 100.      # (D=e-dst) light point distance from origin
w-wdt = 50.      # (D=100) width of window (cm)
w-hgt = 50.      # (D=100) hight of window (cm)
w-dst = 30.      # (D=200) window distance from origin
heaven = x       # (D=y) direction to heaven
line = 1         # (D=0) 0:surface+mat, 1:+region
shadow = 2       # (D=0) 0:no, 1:shadow
resol = 2        # (D=1) resolution of 3dshow
file = 3dshow.out # file name of output
title = Check geometry using [T-3dshow] tally
epsout = 1       # (D=0) generate eps file by ANGEL

```

[T-Deposit]

```

title = Energy Deposition for each cell
mesh = reg       # mesh type is region-wise
reg = 101
unit = 3         # unit is [1/source] : only for output=deposit
letmat = 0       # (D=0) material id for LET, 0: real material
dedxfnc = 0     # (D=0) user defined multiplier, 0(no), 1, 2
material = all   # (D=all) number of specific material
output = deposit # deposit energygy distribution
e-type = 2       # e-mesh is linear given by emin, emax and ne
emin = 0.2000   # minimum value of e-mesh points
emax = 1.2000   # maximum value of e-mesh points
ne = 100        # number of e-mesh points
axis = eng       # axis of output
file = deposit.out # file name of output for the above axis
part = all proton triton electron

```

```
y-txt = Response [cm^2]
epsout = 1      # (D=0) generate eps file by ANGEL
dresol = 0.002  # (D=0) width = sqrt(dresol**2 + dfano*E)
dfano = 0.0005  # (D=0) width = sqrt(dresol**2 + dfano*E)
angel = xlin ylin
factor = 35*35*pi
```

```
[ E n d ]
```


**PHỤ LỤC 2. FILE INPUT MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN TỐC ĐỘ ĐẾM
CỦA HỆ PHỔ KẾ BONNER-CYLINDER VỚI NGUỒN NEUTRON ²⁵²Cf**

\$OMP = 3

[Title]

BONNER CYLINDER SPECTROMETER

[Parameters]

```
icntl = 0 # (D=0) 3:ECH 5:NOR 6:SRC 7,8:GSH 11:DSH 12:DUMP
maxcas = 10000 # (D=10) number of particles per one batch
maxbch = 5000 # (D=10) number of batches
negs = 1 # (D=0) =1 EGS photon and electron
e-mode = 1 # (D=0) 0: Normal, 1: Event generator mode
c itall = 1 # (D=0) 0:no tally at batch, 1:same, 2:different
file(1) = c:/phits # (D=c:/phits) PHITS install folder name
file(6) = phits.out # (D=phits.out) general output file name
set: c1[10.225] $ polyethylene thickness ///NHAP THEO SO LIEU
TRONG FILE EXCEL////////
```

[Source]

```
s-type = 4 # cylindrical source
proj = neutron # kind of incident particle
dir = 1.0 # z-direction of beam [cosine]
r0 = 35.0 # radius [cm]
z0 = -40. # minimum position of z-axis [cm]
z1 = -40. # maximum position of z-axis [cm]
e-type = 21 # energy distribution given by data
ne = 48 # number of energy and dN/dE n/cm2/s/MeV
1.0000E-09 0.000000E+00
7.9430E-09 5.461588E+07
1.2590E-08 5.432065E+07
1.9950E-08 5.222793E+07
3.1620E-08 5.290270E+07
5.0120E-08 4.873806E+07
7.9440E-08 3.353422E+07
1.2590E-07 1.559783E+07
1.9950E-07 8.251928E+06
```

3.1620E-07	3.075135E+06
5.0120E-07	1.162347E+06
7.9440E-07	4.504950E+05
1.2590E-06	1.809783E+05
1.9950E-06	6.803770E+04
3.1620E-06	2.711892E+04
5.0120E-06	1.171555E+04
7.9440E-06	5.122686E+03
1.2590E-05	2.226902E+03
1.9950E-05	1.056555E+03
3.1620E-05	5.205405E+02
5.0120E-05	2.750341E+02
7.9440E-05	1.463840E+02
1.2590E-04	8.017663E+01
1.9950E-04	4.489289E+01
3.1620E-04	2.710811E+01
5.0120E-04	1.623465E+01
7.9440E-04	1.061343E+01
1.2590E-03	6.895380E+00
1.9950E-03	4.446444E+00
3.1620E-03	3.211351E+00
5.0120E-03	2.299113E+00
7.9440E-03	1.594490E+00
1.2590E-02	1.324728E+00
1.9950E-02	9.640103E-01
3.1620E-02	8.583784E-01
5.0120E-02	8.516371E-01
7.9440E-02	9.134740E-01
1.2590E-01	1.199864E+00
1.9950E-01	1.936590E+00
3.1620E-01	3.784324E+00
5.0120E-01	9.764666E+00
7.9440E-01	1.869565E+01
1.2590E+00	1.527174E+01
1.9950E+00	9.031705E+00

3.1620E+00 2.740541E+00
 5.0120E+00 3.775580E-01
 7.9440E+00 1.092768E-02
 1.2590E+01 2.421196E-04
 1.9950E+01

[M a t e r i a l]

mat[1] C 2 H 4 \$ Polyethylene
 mt1 poly.20t
 mat[2] He-3 1.0 \$ He-3 counter
 mat[3] 7014 0.742835 \$ Air
 8016 0.242585
 6000 0.000122
 1001 0.001842
 18000 0.012616
 mat[4] 26054 0.045442 \$ Steel
 26056 0.718611
 26057 0.017237
 24050 0.008659
 24052 0.166984
 24053 0.018935
 24054 0.004713
 14000 0.019482

[S u r f a c e]

10 cx 1.27
 11 px -12.05
 12 px 12.05
 13 px -10.16
 14 px 10.16
 15 cx 1.32
 16 cx 1.32+c1 \$ PE thickness
 17 px -12.1
 18 px 12.1
 19 px -12.1-c1

20 px 12.1+c1
 21 so 100.0

[C e l l]

100 -1 21
 101 2 -0.0004998 -10 13 -14
 102 2 -0.0004998 -10 11 -13
 103 2 -0.0004998 -10 14 -12

c

201 4 -8.000 -15 10 11 -12
 202 4 -8.000 -15 17 -11
 203 4 -8.000 -15 12 -18

c

301 1 -0.95 -16 15 17 -18
 302 1 -0.95 -16 19 -17
 303 1 -0.95 -16 18 -20

c

400 3 2.445847e-5 -21 #101 #102 #103 #201 #202 #203
 #301 #302 #303

[T - T r a c k]

mesh = xyz # mesh type is xyz scoring mesh
 x-type = 2 # x-mesh is linear given by xmin, xmax and nx
 nx = 100 # number of x-mesh points
 xmin = -60.0 # minimum value of x-mesh points
 xmax = 60.0 # maximum value of x-mesh points
 y-type = 1 # y-mesh is given by the below data
 ny = 1 # number of y-mesh points
 -1.50 1.50
 z-type = 2 # z-mesh is linear given by zmin, zmax and nz
 nz = 100 # number of z-mesh points
 zmin = -200.0 # minimum value of z-mesh points
 zmax = 50. # maximum value of z-mesh points
 part = all
 e-type = 1 # e-mesh is given by the below data

```

ne = 1      # number of e-mesh points
      0.0 100.0
unit = 1    # unit is [1/cm^2/source]
axis = xz   # axis of output
file = track_xz.out # file name of output for the above axis
title = Track Detection using [T-track] tally
gshow = 3   # 0: no 1:bnd, 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
epsout = 1  # (D=0) generate eps file by ANGEL
c factor = 6.50E11

```

[T - 3Dshow]

```

output = 3      # (D=3) 0:draft, 1:line, 2:col, 3:line+col
  x0 = 0.        # (D=0.0) x-coordinate of the origin
  y0 = 0.        # (D=0.0) y-coordinate of the origin
  z0 = 0.        # (D=0.0) z-coordinate of the origin
e-the = 130.    # (D=80.0) eye point theta(degree) from z-axis
e-phi = 45.     # (D=140.0) eye point phi(degree) from x-axis
e-dst = 300.   # (D=w-dst*10) eye point distance from origin
l-the = 150.    # (D=e-the) light point theta from z-axis
l-phi = 30.     # (D=e-phi) light point phi from x-axis
l-dst = 100.   # (D=e-dst) light point distance from origin
w-wdt = 50.    # (D=100) width of window (cm)
w-hgt = 50.    # (D=100) hight of window (cm)
w-dst = 30.    # (D=200) window distance from origin
heaven = x     # (D=y) direction to heaven
  line = 1     # (D=0) 0:surface+mat, 1:+region
shadow = 2     # (D=0) 0:no, 1:shadow
resol = 2      # (D=1) resolution of 3dshow
  file = 3dshow.out # file name of output
title = Check geometry using [T-3dshow] tally
epsout = 1    # (D=0) generate eps file by ANGEL

```

[T-Deposit]

```

title = Energy Deposition for each cell
  mesh = reg      # mesh type is region-wise

```

```
reg = 101
unit = 3      # unit is [1/source] : only for output=deposit
letmat = 0    # (D=0) material id for LET, 0: real material
dedxfnc = 0   # (D=0) user defined multiplier, 0(no), 1, 2
material = all # (D=all) number of specific material
output = deposit # deposit energy distribution
e-type = 2    # e-mesh is linear given by emin, emax and ne
emin = 0.0    # minimum value of e-mesh points
emax = 1.0000 # maximum value of e-mesh points
ne = 500      # number of e-mesh points
axis = eng    # axis of output
file = deposit.out # file name of output for the above axis
part = all proton triton electron
y-txt = Count
epsout = 1    # (D=0) generate eps file by ANGEL
dresol = 0.002 # (D=0) width = sqrt(dresol**2 + dfano*E)
dfano = 0.0005 # (D=0) width = sqrt(dresol**2 + dfano*E)
angel = xlin ylin
factor = 4.9566E+01*35*35*pi
```

[E n d]