

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Cao Minh Nhân

**NGHIÊN CỨU PHÂN RÃ GAMMA NÓI TẦNG TỪ TRẠNG
THÁI HỢP PHẦN GÂY BỞI PHẢN ỨNG $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ VỀ
TRẠNG THÁI 97,8304 keV (4^-) VÀ 114,3126 keV (4^-) TRÊN LÒ
PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH VẬT LÝ

Nha Trang -2023

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Cao Minh Nhân

Chuyên ngành: Vật lý nguyên tử và hạt nhân
Mã số: 8440106

**NGHIÊN CỨU PHÂN RÃ GAMMA NỘI TẦNG TỪ TRẠNG
THÁI HỢP PHẦN GÂY BỞI PHẢN ỨNG $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ VỀ
TRẠNG THÁI 97,8304 keV (4⁻) VÀ 114,3126 keV (4⁻) TRÊN LÒ
PHẢN ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

TS. Nguyễn Ngọc Anh

Nha Trang- 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi tên là Cao Minh Nhân, học viên lớp cao học PHY-2020B-3 chuyên ngành Vật lý nguyên tử và hạt nhân. Tôi xin cam đoan đây là đề tài nghiên cứu do chính tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của TS. Nguyễn Ngọc Anh. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận văn

Cao Minh Nhân

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. Nguyễn Ngọc Anh 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 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!

Nha Trang, tháng 06 năm 2023

Cao Minh Nhân

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Minh họa cho sự giải kích thích của hạt nhân hợp phần.....	7
Hình 1.2: Minh họa cách lưu trữ sơ đồ mức của thư viện ENSDF	10
Hình 1.3: Minh họa cách biểu diễn sơ đồ mức hạt nhân dưới dạng hình ảnh	12
Hình 1.4: Các khả năng xảy ra khi gamma đi vào tinh thể đầu dò. Tinh thể đầu dò được minh họa bởi một hình vuông. (a) gamma đi xuyên qua đầu dò mà không bị hấp thụ năng lượng, (b) gamma đi qua đầu dò và bị hấp thụ một phần năng lượng, (c) gamma bị hấp thụ toàn bộ năng lượng trong tinh thể đầu dò.....	13
Hình 1.5: Phổ gamma thu được khi đo nguồn hỗn hợp $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$	14
Hình 1.6: Phổ gamma thu được khi đo sự giải kích thích của ^{36}Cl tạo ra từ phản ứng $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$	15
Hình 1.7: Một phần sơ đồ mức của ^{182}Ta xác định từ kênh phản ứng (n,γ) sử dụng neutron nhiệt.....	18
Hình 2.1: Sơ đồ bố trí thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân.....	21
Hình 2.2: Sơ đồ khối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân.....	24
Hình 2.3: Một phần phổ tổng thu được thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta	27
Hình 2.4: Phổ phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về các trạng thái cuối: (a) 97,8304 keV và (b) 114,3126 keV.....	28
Hình 2.5: Hiệu suất ghi trùng phùng tương đối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân.....	28
Hình 2.6: Giá đặt mẫu.....	29
Hình 2.7: Hệ thống xác định vị trí dòng.....	30
Hình 2.8: Phổ biến dạng với sự xuất hiện các kênh có giá trị bằng không do hệ số khuếch đại được chọn không phù hợp.....	32
Hình 2.9: Ảnh hưởng của kích thước phổ tới dạng đỉnh. (a). Kích thước phổ	

quá nhỏ do đó không nhận diện được hai đỉnh trên phổ. (b) hai đỉnh chập có tách nhưng chưa rõ rệt. (c) hai đỉnh chập tách rõ rệt và độ cao đỉnh phổ so với nền phong lớn. (d) hai đỉnh tách rõ, tuy nhiên độ cao đỉnh so với nền phong không cao.....	34
Hình 2.10: Dạng xung của lối ra TFA khi cố định hệ số khuếch đại và thay đổi INT và DIFF.....	36
Hình 2.11: Phổ thời gian xuất hiện hai đỉnh trong trường hợp tham số CFD chọn không thích hợp.....	38
Hình 2.12: Phổ năng lượng hai kênh. (a) chỉnh chưa đúng các tham số thời gian. (b) chỉnh đúng các tham số thời gian.....	38
Hình 2.13: Biểu đồ đánh giá sự chênh lệch số liệu thu được trên hai kênh năng lượng theo ngưỡng CFD hai kênh. Code màu biểu diễn tỷ số độ lệch, giá trị tỷ số độ lệch càng nhỏ thì lượng chênh lệch số liệu thu được trên hai kênh năng lượng càng nhỏ.....	40
Hình 3.1: Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cơ bản và trạng thái 97,8304 keV.....	47
Hình 3.2: Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cơ bản và trạng thái 114,3126 keV.....	48

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1: Sự suy giảm của cường độ gamma khi đi qua chì với các bề dày (d) khác nhau.....	23
Bảng 3.1 Danh sách các chuyển dời nổi tầng về trạng thái 97,8304 keV. Giải thích chi tiết các thành phần trong Bảng được trình bày trong Chương 3 của luận văn.....	42
Bảng 3.2: Danh sách các chuyển dời nổi tầng về trạng thái 114,3126 keV. Giải thích chi tiết các thành phần trong Bảng được trình bày trong Chương 3 của luận văn.....	43
Bảng 3.3: So sánh năng lượng và spin của các trạng thái kích thích ghi nhận được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta tại Viện nghiên cứu hạt nhân với các giá trị lưu trữ trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF.....	45

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tiếng Việt
SĐM	Sơ đồ mức
MDM	Mật độ mức
HLBX	Hàm lực bức xạ

Mục lục

LỜI CAM ĐOAN

LỜI CẢM ƠN

DANH MỤC HÌNH VẼ

DANH MỤC BẢNG BIỂU

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

MỞ ĐẦU

Chương 1: TỔNG QUAN TÀI LIỆU

- 1 Một số lý thuyết nền tảng và tổng quan tình hình nghiên cứu sơ đồ mức của ^{182}Ta5**
- 1.1 Một số lý thuyết nền tảng5
- 1.1.1 Phản ứng bắt bức xạ (n,γ) 5
- 1.1.2 Sơ lược về sơ đồ mức hạt nhân7
- 1.1.3 Bậc đa cực và các loại chuyển dời gamma10
- 1.1.4 Phổ gamma ghi bởi đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết.....13
- 1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta 15

Chương 2: NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- 2 Thực nghiệm và Xử lý số liệu.....20**
- 2.1 Thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng.....20
- 2.2 Phổ kế trùng phùng gamma - gamma.....23
- 2.3 Phương pháp xác định phân rã gamma nổi tầng.....25
- 2.4. Phân tích một số yếu tố ảnh hưởng tới kết quả đo phân rã gamma nổi tầng.....29

Chương 3: KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3 Kết quả và Thảo luận.....	41
3.1 Kết quả	41
3.2 Thảo luận	48
Kết luận và Kiến nghị.....	49
Kết luận.....	49
Kiến nghị.....	49
Tài liệu tham khảo.....	50

MỞ ĐẦU

Phương pháp phổ biến để tìm hiểu bản chất của một đối tượng nào đó trong tự nhiên là quan sát các đặc trưng của đối tượng cũng như cách hành xử của đối tượng trong những điều kiện cụ thể, từ đó đưa ra các mô hình và phương pháp luận giải để có thể giải thích các đặc trưng của đối tượng nghiên cứu cũng như tiên đoán chính xác cách hành xử của đối tượng trong những điều kiện xác định. Hạt nhân nguyên tử là một đối tượng hấp dẫn mà cho đến nay chưa có một lý thuyết hay mô hình nào có thể hoàn toàn mô tả và tiên đoán chính xác các đặc trưng của chúng. Một số đặc trưng quan trọng có thể kể tới của hạt nhân nguyên tử là khối lượng, phân bố khối lượng và điện tích theo bán kính hạt nhân, và cấu trúc các mức kích thích của hạt nhân.

Cấu trúc các mức kích thích của hạt nhân có thể được biểu diễn dưới dạng của một sơ đồ mức hạt nhân. Sơ đồ mức hạt nhân chứa đựng thông tin về năng lượng của các trạng thái kích thích của hạt nhân, các số lượng tử đặc trưng cho các trạng thái kích thích đó, cũng như thông tin về các dịch chuyển điện từ phát ra khi hạt nhân chuyển đổi trạng thái. Các thông tin trong sơ đồ mức hạt nhân rất phong phú và đa dạng, do đó là nguồn thông tin quan trọng để nghiên cứu cấu trúc hạt nhân. Ý tưởng của nhiều mô hình và phương pháp luận giải cấu trúc hạt nhân xuất phát từ sự quan sát, phân tích sơ đồ mức hạt nhân. Đồng thời, sơ đồ mức hạt nhân cũng được sử dụng như một công cụ để hiệu lực hóa và đánh giá các mô hình lý thuyết. Ví dụ, để giải thích sự xuất hiện của các trạng thái kích thích hạt nhân cùng các đặc trưng lượng tử tương ứng, mẫu lớp (nuclear shell model) [1] đã được phát triển. Mẫu lớp cho phép tiên đoán sơ đồ mức của các hạt nhân nhẹ (các hạt nhân có số khối A nhỏ) với độ chính xác khá cao, tuy nhiên vẫn còn hạn chế khi áp dụng với các hạt nhân nặng. Ý tưởng về các hiệu ứng tập thể bao gồm hiệu ứng dao động và hiệu ứng quay của hệ hạt nhân cũng xuất phát từ việc một số mức kích thích thực nghiệm quan sát thấy không thể được giải thích bằng mô hình mẫu lớp đơn thuần [2].

Với tầm quan trọng như vậy, sơ đồ mức hạt nhân thực nghiệm được thu thập bởi nhiều phòng thí nghiệm và các nhóm nghiên cứu trên khắp thế giới. Trung tâm số liệu hạt nhân quốc gia của Phòng thí nghiệm Quốc Gia Brookhaven, Hoa Kỳ, thu thập số liệu về sơ đồ mức hạt nhân từ tất cả các công bố trên các tạp chí khoa học và hội nghị chuyên ngành uy tín, sau đó tiến hành đánh giá và tập hợp lại trong thư viện số liệu ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) [3]. Tính tới tháng 7 năm 2022, thư viện ENSDF tập hợp 19557 bộ số liệu tương ứng với 3408 hạt nhân. Năm 2017, thư viện này mới chỉ có 18067 bộ số liệu cho 3312 hạt nhân. Điều này cho thấy nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân là một chủ đề có tính thời sự.

Thực tế, mỗi thí nghiệm và/hoặc phương pháp đo khác nhau cho phép thu thập một phần của sơ đồ mức, tập hợp các dữ liệu từ nhiều phương pháp khác nhau cho phép ta thu được sơ đồ mức đầy đủ. Trong luận văn này, học viên xây dựng một phần sơ đồ mức hạt nhân tương ứng với các chuyển dịch nối tầng từ trạng thái hợp phần 6062,93 keV về các trạng thái 97,8304 keV (4^-) và 114,3126 keV (4^-) từ số liệu phân rã gamma nối tầng đo bởi phổ kế trùng phùng gamma - gamma trên kênh neutron số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt.

Luận văn được bố cục gồm phần mở đầu đã trình bày ở trên, ba chương nội dung chính, và một phần kết luận. Trong Chương 1, học viên tổng quan lại tình hình nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta và trình bày một số cơ sở lý thuyết cần thiết. Cấu hình bố trí thí nghiệm và phương pháp xử lý số liệu được trình bày trong Chương 2. Chương 3 trình bày và thảo luận về các kết quả thu được.

Chương 1

MỘT SỐ LÝ THUYẾT NỀN TẢNG VÀ TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU SƠ ĐỒ MỨC CỦA ¹⁸²Ta

1.1 Một số lý thuyết nền tảng

Để chuẩn bị cho chủ đề của luận văn là nghiên cứu phân rã gamma nổi tầng do sự giải kích thích của hạt nhân ¹⁸²Ta ở trạng thái 6062,93 keV (3⁺, 4⁺) về các trạng thái 97,8304 keV (4⁻) và 114,3126 keV (4⁻), một số cơ sở lý thuyết căn bản bao gồm phản ứng bắt bức xạ, sơ lược về sơ đồ mức hạt nhân, bậc đa cực và các loại chuyển dời gamma, và tương tác của gamma với môi trường đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết (HPGe) sẽ được trình bày. Lý thuyết về phản ứng (n,γ) mô tả trong Mục 1.1.1 là vô cùng cần thiết để hiểu về quá trình tạo ra hạt nhân ¹⁸²Ta ở trạng thái kích thích. Các Mục 1.1.2 và 1.1.3 cung cấp các kiến thức cơ bản về sơ đồ mức hạt nhân, các đặc trưng lượng tử thường được cung cấp trong các cơ sở dữ liệu về sơ đồ mức. Mục 1.1.4 giúp hiểu các đặc trưng cơ bản của một phổ gamma thực nghiệm. Nhìn chung, các kiến thức được trình bày trong Mục 1.1 đều là các kiến thức kinh điển, mà trong khuôn khổ một luận văn cao học chỉ có thể được trình bày một cách vắn tắt. Để tìm hiểu chi tiết, người đọc có thể tham khảo các tài liệu tham khảo [2, 4–6].

1.1.1 Phản ứng bắt bức xạ (n,γ)

Phản ứng bắt bức xạ, hay còn gọi là phản ứng (n,γ), xảy ra khi một neutron tương tác với hạt nhân A_ZX để tạo thành hạt nhân hợp phần ${}^{A+1}_ZX^*$, hạt nhân hợp phần này sau đó giải thích kích bằng cách phát ra các gamma để trở về trạng thái cơ bản. Như vậy, phản ứng (n,γ) gồm hai quá trình được biểu diễn như sau:



Gọi năng lượng của neutron tới là E_n và năng lượng kích thích của hạt nhân ${}^{A+1}_{Z}X^*$ là E_x , theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

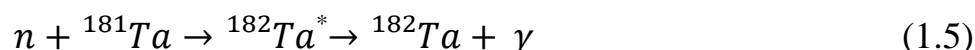
$$E_n + m({}^A_ZX)c^2 = m({}^{A+1}_ZX)c^2 + E_x \quad (1.3)$$

Đối với các thí nghiệm sử dụng neutron năng lượng thấp, ví dụ neutron nhiệt ($E_n \approx 0,025\text{eV}$), $E_x \approx S_n = m({}^A_ZX) - m({}^{A+1}_ZX)$. Trong đó $m({}^A_ZX)$ và $m({}^{A+1}_ZX)$ lần lượt là khối lượng ở trạng thái nghỉ của các hạt nhân A_ZX và ${}^{A+1}_ZX$, đại lượng S_n có tên gọi là năng lượng phân tách neutron, còn c là tốc độ ánh sáng. Trong một số tài liệu khác, S_n còn được gọi là năng lượng liên kết neutron và ký hiệu là B_n .

Gọi xung lượng góc tổng hay còn gọi là spin ở trạng thái cơ bản của hạt nhân bia là I_t thì theo định luật bảo toàn xung lượng spin của hạt nhân hợp phần, ta có:

$$J_c = I_t \pm \frac{1}{2} \quad (1.4)$$

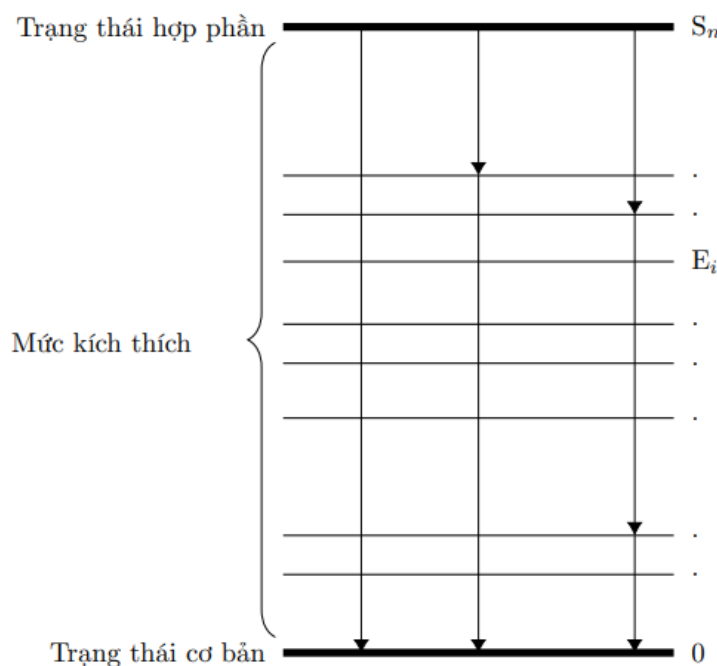
Mặt khác, theo định luật bảo toàn độ chẵn lẻ, độ chẵn lẻ của hạt nhân hợp phần sẽ giống với độ chẵn lẻ của hạt nhân bia do độ chẵn lẻ của neutron là $+$. Khái niệm về xung lượng góc tổng và độ chẵn lẻ sẽ được làm rõ trong mục. Xét phản ứng:



với ($E_n \approx 0,025\text{ eV}$), hạt nhân hợp phần ${}^{182}\text{Ta}^*$ sẽ hình thành ở trạng thái kích thích có năng lượng bằng $S_n = 6092,93$ và spin (độ chẵn lẻ) bằng 3^+ , 4^+ [7, 8], biết khối lượng neutron và proton lần lượt bằng $939,565420$ và $938,272088\text{ MeV}/c^2$ [9], và I_t và độ chẵn lẻ của hạt nhân ${}^{181}\text{Ta}$ ở trạng thái cơ bản bằng $\frac{7^+}{2}$ [10].

Hình 1.1 minh họa cho quá trình giải kích thích từ trạng thái hợp phần về trạng thái cơ bản. Các mũi tên minh họa cho sự chuyển trạng thái của hạt nhân, tương ứng với mỗi sự chuyển trạng thái là sự phát ra của chuyển dời gamma tương ứng. Phân bố cường độ chuyển dời gamma

theo năng lượng của các hạt nhân khác nhau là rất khác nhau, do các hạt nhân khác nhau có sơ đồ mức khác nhau. Đo cường độ và năng lượng của các gamma phát ra trong quá trình giải kích thích của hạt nhân hợp phần do đó là một phương pháp hiệu quả để nghiên cứu sơ đồ mức trong vùng năng lượng kích thích nhỏ hơn S_n .



Hình 1.1: Minh họa cho sự giải kích thích của hạt nhân hợp phần.

1.1.2 Sơ lược về sơ đồ mức hạt nhân

Sơ đồ mức hạt nhân có thể được hiểu như là một tập hợp thông tin về các trạng thái kích thích của hạt nhân, các đặc trưng lượng tử của hạt nhân tương ứng với các trạng thái kích thích đó, sự chuyển dời gamma và các đặc trưng của chuyển dời gamma tương ứng với sự chuyển trạng thái của hạt nhân và nhiều thông tin khác như thời gian sống của hạt nhân ở các trạng thái kích thích. Hệ hạt nhân tuân theo các quy tắc của cơ học lượng tử, do đó năng lượng kích thích của hạt nhân chỉ có thể nhận các giá trị gián đoạn xác định.

Các đặc trưng lượng tử quan trọng gắn với các trạng thái kích thích của hạt nhân bao gồm xung lượng góc toàn phần hay còn gọi là spin, và độ chẵn lẻ. Spin và độ chẵn lẻ là các đặc trưng nội tại của hạt nhân ở một

trạng thái xác định. Một cách gần đúng, ta có thể coi hạt nhân là một hệ các nucleon độc lập chuyển động trong một trường thế trung bình. Mỗi nucleon trong hạt nhân có spin quỹ đạo \vec{l} và spin nội tại \vec{s} . Spin toàn phần của một nucleon bằng tổng của spin quỹ đạo và spin nội tại, $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$. Hệ hạt nhân gồm N nucleon sẽ có spin toàn phần bằng tổng spin toàn phần của từng nucleon riêng lẻ:

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^N \vec{j}_i \quad (1.6)$$

Một điều thú vị là các neutron/proton trong hạt nhân luôn có xu hướng ghép cặp với nhau để tạo thành các cặp neutron/proton có spin ngược chiều nhau, và do đó triệt tiêu nhau. Spin của hạt nhân do vậy chỉ được quyết định bởi neutron và proton đơn lẻ không được ghép cặp. Do đó, công thức (1.6) có thể được rút gọn thành

$$\vec{J} = \vec{j}_n + \vec{j}_p, \quad (1.7)$$

với \vec{j}_n và \vec{j}_p là spin của neutron và proton đơn lẻ không được ghép cặp.

Biểu thức 1.7 cho phép dẫn tới các kết luận sau:

- Hạt nhân có số khối A chẵn có spin là một số nguyên.
- Hạt nhân có số khối A lẻ có spin là một số bán nguyên.
- Tương tự như spin, độ chẵn lẻ cũng là một đặc trưng nội tại của hạt nhân. Độ chẵn lẻ P của một nucleon được định nghĩa như sau:

$$\begin{aligned} \psi(\mathbf{x}) = \psi(-\mathbf{x}) &\rightarrow P = +, \\ \psi(\mathbf{x}) = -\psi(-\mathbf{x}) &\rightarrow P = -, \end{aligned} \quad (1.8)$$

với ψ là hàm sóng đặc trưng của các nucleon trong hạt nhân và \mathbf{x} là một vị trí xác định trong không gian. Độ chẵn lẻ của hạt nhân sẽ bằng tích của độ chẵn lẻ của các nucleon P_i .

$$P = \prod_i P_i \quad (1.9)$$

Một thông tin khác rất quan trọng là xác suất biến đổi từ trạng thái kích

thích này sang trạng thái kích thích khác của hạt nhân. Về mặt thực nghiệm, thông tin này được đại diện bởi cường độ phát của chuyển dời gamma tương ứng với sự chuyển đổi trạng thái của hạt nhân. Do vậy, đây cũng là một thông tin cần thiết để xây dựng sơ đồ mức hạt nhân.

Sơ đồ mức hạt nhân chứa đựng nhiều thông tin, và do đó cần được lưu trữ và tổ chức một cách khoa học để có thể sử dụng cho các mục đích cụ thể, ví dụ nghiên cứu về cấu trúc hạt nhân. Thư viện ENSDF [3] lưu trữ sơ đồ mức hạt nhân ở một định dạng dễ truy cập và có thể dễ dàng biến đổi, tách lọc để phục vụ cho nhiều mục đích sử dụng khác nhau. Hình 1.2 là một phần sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta được lưu trữ dưới dạng bảng số liệu của thư viện ENSDF. Đối với một số sơ đồ mức đơn giản, người ta cũng có thể biểu diễn sơ đồ mức bằng các sơ đồ trực quan, với các đường kẻ ngang đại diện cho các mức kích thích, và các mũi tên biểu thị cho các chuyển dời gamma gây bởi sự chuyển trạng thái. Hình 1.3 là một ví dụ về biểu diễn sơ đồ mức hạt nhân dưới dạng hình ảnh.

Adopted Levels, Gammas (continued)									
$y(^{182}\text{Tl})$									
$E_i(\text{level})$	J_i^π	E_f^\dagger	L_γ	E_γ	J_f^π	Multi. &	δ	α^d	Comments
16.273	5 ⁺	(16.273 4)	100	0.0	3 ⁻	(M2)		4.30x10 ⁴	Br(M2)(W.u.)=6.6x10 ⁻⁵ 2 $\alpha(K)=3.21 \times 10^3$ 5; $\alpha(M)=8.54 \times 10^7$ 12; $\alpha(N \dots)=2.40 \times 10^5$ 4 $\alpha(N)=2.07 \times 10^3$ 3; $\alpha(O)=309$ 5; $\alpha(P)=15.30$ 22 E_γ : deduced from level-scheme fitting procedure (evaluators). This E_γ is adopted in all the other datasets. Apparently, there is no direct measurement of this energy.
97.8304	4 ⁻	97.8318 19	100	0.0	3 ⁻	M1		4.64	$\alpha(K)=3.86$ 6; $\alpha(L)=0.609$ 9; $\alpha(M)=0.1382$ 20 $\alpha(N)=0.0331$ 5; $\alpha(O)=0.00523$ 8; $\alpha(P)=0.000362$ 5
114.3126	4 ⁻	114.3151 25	100	0.0	3 ⁻	(M1)		2.97	$\alpha(K)=2.47$ 4; $\alpha(L)=0.389$ 6; $\alpha(M)=0.0882$ 13 $\alpha(N)=0.0211$ 3; $\alpha(O)=0.00334$ 5; $\alpha(P)=0.000231$ 4
150.150	4 ⁺	133.877 3	100 11	16.273	5 ⁺	M1(+E2)	<0.5	1.89	$\alpha(K)=1.576$ 22; $\alpha(L)=0.247$ 4; $\alpha(M)=0.0561$ 8 $\alpha(N)=0.01343$ 19; $\alpha(O)=0.00213$ 3; $\alpha(P)=0.0001472$ 21 δ : from ce data in (n,y) E=thermal.
163.047	6 ⁺	150.142 4 146.7731 25	1.28 17 100	0.0	3 ⁻	M1		1.460	Br(M1)(W.u.)=0.090 $\alpha(K)=1.214$ 17; $\alpha(L)=0.190$ 3; $\alpha(M)=0.0432$ 6 $\alpha(N)=0.01033$ 15; $\alpha(O)=0.001636$ 23; $\alpha(P)=0.0001133$ 16
173.2370	5 ⁻	58.9277 19	65 8	114.3126	4 ⁻	(M1)		3.44	$\alpha(L)=2.67$ 4; $\alpha(M)=0.605$ 9 $\alpha(N)=0.1447$ 21; $\alpha(O)=0.0229$ 4; $\alpha(P)=0.001580$ 23
237.2860	5 ⁻	75.414 5	100 57	97.8304	4 ⁻	(M1)		9.81	$\alpha(K)=8.14$ 12; $\alpha(L)=1.296$ 19; $\alpha(M)=0.294$ 5 $\alpha(N)=0.0703$ 10; $\alpha(O)=0.01113$ 16; $\alpha(P)=0.000769$ 11
		122.9727 25	55 6	114.3126	4 ⁻	(M1+E2)		2.0 4	$\alpha(K)=1.3$ 7; $\alpha(L)=0.6$ 3; $\alpha(M)=0.14$ 7 $\alpha(N)=0.033$ 16; $\alpha(O)=0.0045$ 19; $\alpha(P)=0.00011$ 8
		139.455 3	100 9	97.8304	4 ⁻	M1		1.687	$\alpha(K)=1.403$ 20; $\alpha(L)=0.220$ 3; $\alpha(M)=0.0500$ 7 $\alpha(N)=0.01195$ 17; $\alpha(O)=0.00189$ 3; $\alpha(P)=0.0001310$ 19
249.982	(3) ⁺	237.287 4 99.8304 22	20.9 19 100 8	0.0	3 ⁻	M1		4.38	$\alpha(K)=3.64$ 5; $\alpha(L)=0.575$ 8; $\alpha(M)=0.1303$ 19 $\alpha(N)=0.0312$ 5; $\alpha(O)=0.00494$ 7; $\alpha(P)=0.000341$ 5
		233.714 4	23.3 17	16.273	5 ⁺				E_γ : level-energy difference=249.982.
269.047	(5) ⁺	249.955 ⁶ 7 106.006 11 118.8960 25	2.4 3 8.4 20 100 9	0.0	3 ⁻	M1		2.66	$\alpha(K)=2.21$ 3; $\alpha(L)=0.347$ 5; $\alpha(M)=0.0788$ 11 $\alpha(N)=0.0189$ 3; $\alpha(O)=0.00298$ 5; $\alpha(P)=0.000207$ 3
270.4027	2 ⁻	252.769 5 156.089 3	15.8 13 9.8 9	16.273	5 ⁺	E2		0.700	Br(E2)(W.u.)=6.3 13 $\alpha(K)=0.327$ 5; $\alpha(L)=0.284$ 4; $\alpha(M)=0.0706$ 10 $\alpha(N)=0.01654$ 24; $\alpha(O)=0.00222$ 4; $\alpha(P)=2.26 \times 10^{-5}$ 4
		172.563 9	0.38 7	97.8304	4 ⁻	[E2]		0.492	Br(E2)(W.u.)=0.15 4 $\alpha(K)=0.251$ 4; $\alpha(L)=0.184$ 3; $\alpha(M)=0.0456$ 7 $\alpha(N)=0.01069$ 15; $\alpha(O)=0.001443$ 21; $\alpha(P)=1.766 \times 10^{-5}$ 25
		270.406 4	100 5	0.0	3 ⁻	E2(+M1)	>3	0.120 8	Br(E2)(W.u.)=4.1 8 $\alpha(K)=0.081$ 8; $\alpha(L)=0.0298$ 5; $\alpha(M)=0.00722$ 11

Hình 1.2: Minh họa cách lưu trữ sơ đồ mức của thư viện ENSDF [3].

1.1.3 Bậc đa cực và các loại chuyển dời gamma

Mỗi chuyển dời gamma sẽ có các đặc trưng bao gồm năng lượng E_γ , bậc đa cực L , và loại chuyển dời X . Bậc đa cực của chuyển dời gamma có thể nhận các giá trị nguyên dương $L = 0, 1, 2, \dots$, còn X có thể là E hoặc M tương ứng với loại chuyển dời điện và loại chuyển dời từ. Xét sự chuyển trạng thái của hạt nhân từ trạng thái (i) về trạng thái (f). Năng lượng, spin, và độ chẵn lẻ của trạng thái (i) và (f) lần lượt là E_i, J_i, P_i và E_f, J_f, P_f . Các đặc trưng của chuyển dời gamma tương ứng với sự chuyển trạng thái này sẽ được xác định như sau:

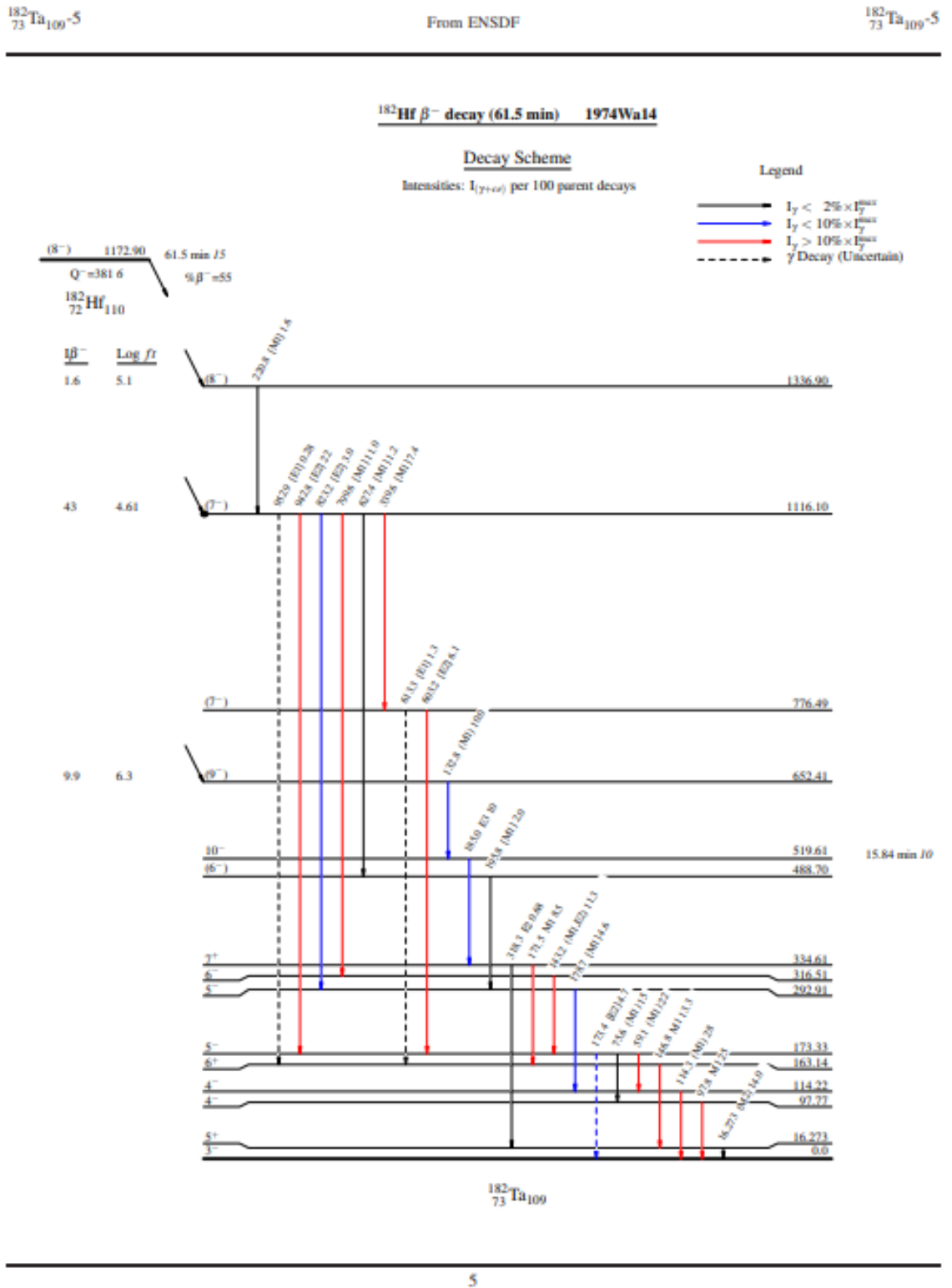
$$E_\gamma = E_i - E_f \quad (1.10)$$

$$|J_i - J_f| \leq L \leq J_i + J_f \quad (1.11)$$

$$X = E \text{ nếu } (-1)^L = -1 \quad (1.12)$$

$$X = M \text{ nếu } (-1)^L = 1 \quad (1.13)$$

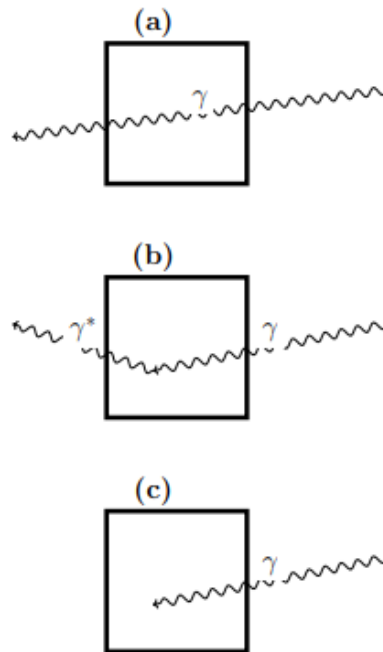
Gọi $\lambda(X, L)$ là xác suất xảy ra chuyển dời gamma XL . Các tiên đoán lý thuyết [4] cho thấy $\frac{\lambda(E,L)}{\lambda(M,L)} \approx 10^2$, $\frac{\lambda(E,L)}{\lambda(E,L+1)} \approx 10^5$, và $\frac{\lambda(E,L)}{\lambda(M,L+1)} \approx 10^5$. Do đó trong thực tế bậc đa thức của chuyển dời gamma thường được gán cho giá trị khả dĩ nhỏ nhất trong biểu thức (1.12). Các chuyển dời loại $E1$, $M1$ và $E2$ là các chuyển dời thường gặp nhất.



Hình 1.3: Minh họa cách biểu diễn sơ đồ mức hạt nhân dưới dạng hình ảnh. Hình trích từ thư viện ENSDF [3].

1.1.4 Phổ gamma ghi bởi đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết

Gamma tương tác và mất năng lượng trong môi trường vật chất thông qua ba cơ chế chính là hấp thụ quang điện, tán xạ Compton và tạo cặp. Các đầu dò gamma, bao gồm cả đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết, đều hoạt động theo nguyên lý biến đổi năng lượng gamma bị hấp thụ bên trong đầu dò thành tín hiệu điện. Tinh thể của đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết có thể coi như một khối vật chất có thể tích hữu hạn. Một tia gamma có thể đi xuyên qua tinh thể đầu dò mà không để lại bất cứ năng lượng nào (Hình 1.4a), nó cũng có thể tương tác với tinh thể của đầu dò và để lại một phần năng lượng trước khi thoát ra ngoài (Hình 1.4b), hoặc bị hấp thụ toàn bộ năng lượng bên trong đầu dò (Hình 1.4c). Do đó phổ gamma thu được không có dạng phổ vạch mà là phổ liên tục.

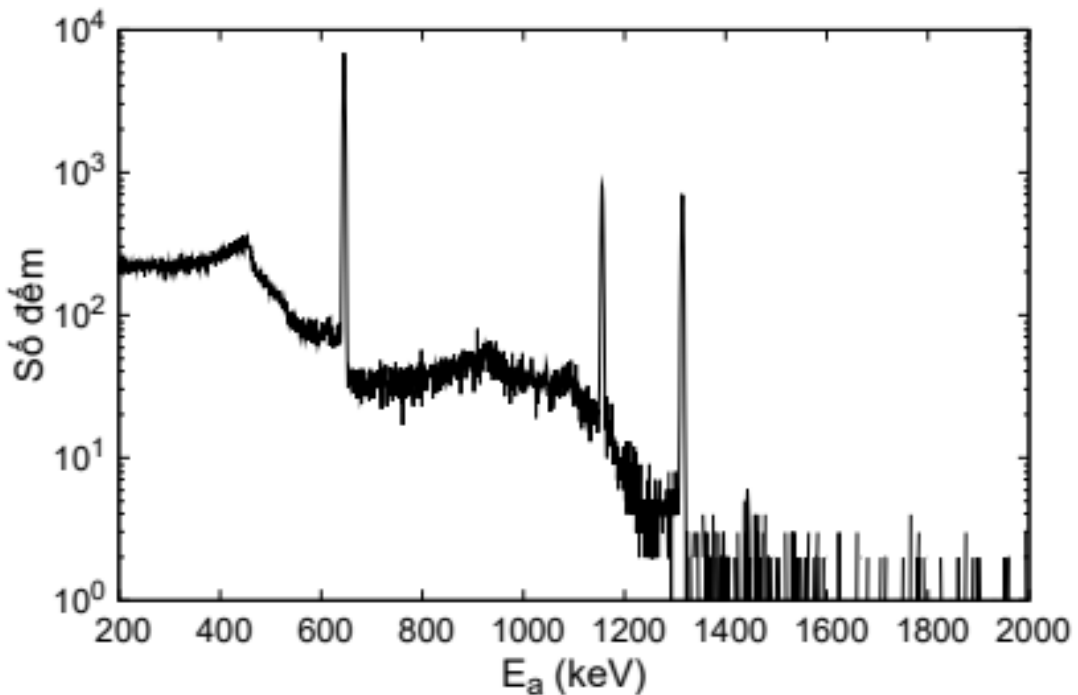


Hình 1.4: Các khả năng xảy ra khi gamma đi vào tinh thể đầu dò.

Tinh thể đầu dò được minh họa bởi một hình vuông. (a) gamma đi xuyên qua đầu dò mà không bị hấp thụ năng lượng, (b) gamma đi qua đầu dò và bị hấp thụ một phần năng lượng, (c) gamma bị hấp thụ toàn bộ năng lượng trong tinh thể đầu dò dạng phổ vạch mà là những phổ liên tục. Mặc dù vậy, năng lượng của các gamma đi vào đầu dò vẫn có thể

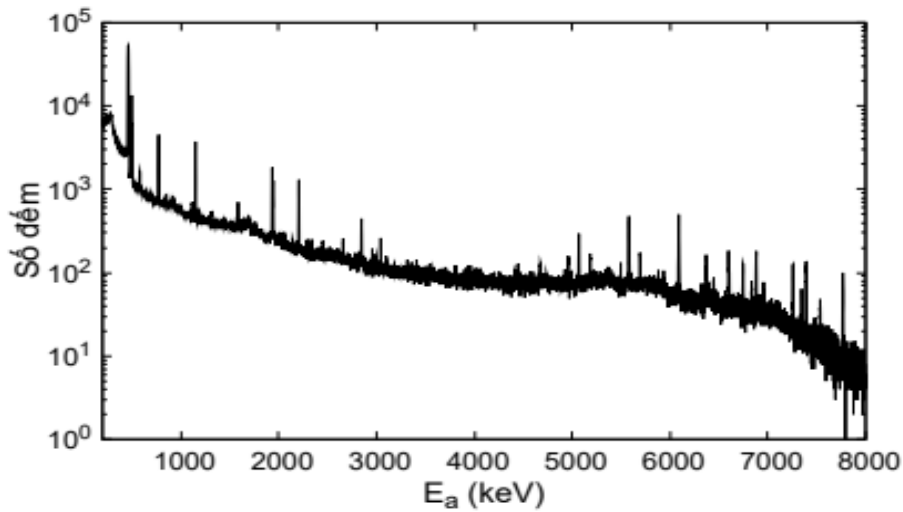
được nhận diện thông qua các đỉnh hấp thụ toàn phần. Đỉnh này đặc biệt sắc nét với các đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết HPGe. Tùy theo năng lượng gamma tới và một số thông số hình học của tinh thể đầu dò và bố trí thí nghiệm, độ tòi của các đỉnh hấp thụ toàn phần, hay còn được biết đến dưới khái niệm độ phân giải năng lượng, chỉ vào khoảng vài keV.

Ở những trường hợp đơn giản, năng lượng của tất cả các gamma phát ra từ nguồn phát đều có thể được nhận diện trên phổ gamma. Ví dụ, ta có thể nhận diện rõ ba đỉnh năng lượng 662, 1173, và 1332 keV trong phổ đo đo nguồn hỗn hợp $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$ trong Hình 1.5. Khi phân bố năng lượng gamma từ nguồn phát trở lên phức tạp, ví dụ như sự phát gamma từ



Hình 1.5: Phổ gamma thu được khi đo nguồn hỗn hợp $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$.

trạng thái hợp phần của ^{36}Cl để giải thích về trạng thái cơ bản, phổ gamma trở nên phức tạp với nhiều đỉnh hấp thụ toàn phần bị che phủ bởi nền Compton gây bởi các gamma có năng lượng cao hơn, cũng như sự chồng chập đỉnh do các gamma có năng lượng gần tương đương nhau (xem Hình 1.6).



Hình 1.6: Phổ gamma thu được khi đo sự giải kích thích của ^{36}Cl tạo ra từ phản ứng $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$.

1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta

Theo khuyến cáo của thư viện tham số hạt nhân RIPL [11], sơ đồ mức của hạt nhân cần phải được nghiên cứu bởi nhiều kênh phân rã và phản ứng khác nhau. Các kênh phân rã và phản ứng khác nhau sẽ tạo ra hạt nhân ở các trạng thái kích thích khác nhau, các trạng thái kích thích khác nhau sẽ có các “con đường” khác nhau để trở về trạng thái bền, do đó sẽ là các nguồn thông tin độc lập, kiểm chứng lẫn nhau hoặc bổ trợ lẫn nhau để tạo nên một sơ đồ mức hoàn chỉnh. Ngoài ra các kỹ thuật đo khác nhau cũng sẽ hữu ích để giải quyết các vấn đề kỹ thuật như sự chồng chập đỉnh hoặc nền Compton phức tạp trong phổ gamma. Tổng hợp từ thư viện số liệu hạt nhân ENSDF [3, 7], sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta đã được nghiên cứu trên các kênh nghiên cứu sau:

- Phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã $8,90 \times 10^6$ năm) [12, 13],
- Phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã 61,5 phút) [14],
- Phân rã từ trạng thái đồng phân ^{182m}Ta (thời gian bán rã 283 ms và

năng lượng kích thích là 16,273 keV) [15],

- Phân rã từ trạng thái đồng phân ^{182m}Ta (thời gian bán rã 15,84 phút và năng lượng kích thích 519,587) [13, 16],
- Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,025$ eV [13, 17, 18].
- Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,4 - 49,2$ eV [19–21],
- Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,002 - 3$ eV [22],
- Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 4,28$ và $10,36$ eV [23],
- Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 2000$ eV [13],
- Phản ứng bắt trao đổi (d,p) [24–26].

Để thấy ta có thể phân các kênh nghiên cứu kể trên thành 3 nhóm, bao gồm nhóm (1) nghiên cứu thông qua các phân rã hạt nhân (phân rã β^- của ^{182}Hf , phân rã của trạng thái đồng phân ^{182m}Ta), nhóm (2) nghiên cứu thông qua phản ứng với hạt mang điện, và nhóm (3) nghiên cứu thông qua phản ứng bắt neutron với các năng lượng neutron khác nhau.

Nhóm (1) phát hiện được khoảng 16 trạng thái kích thích trong vùng năng lượng thấp hơn 1336,9 keV. Các trạng thái kích thích 97,8304 (4^-) và 114,3126 (4^-), liên quan đến nội dung của luận văn, đều được ghi nhận trong nhóm nghiên cứu này. Phần lớn các dữ liệu thu thập được trong nhóm này đến từ nghiên cứu dựa trên phân rã β^- của ^{182}Hf (có thời gian bán rã là 61,5 phút). Sơ đồ mức xây dựng dựa trên kênh nghiên cứu này được trình bày trong Hình 1.3. Các nghiên cứu dựa trên phân rã của các trạng thái đồng phân có đóng góp rất ít vào số liệu thực nghiệm về sơ đồ mức hạt nhân của ^{182}Ta do các trạng thái đồng phân của ^{182}Ta có năng lượng khá thấp, lần lượt là 16,273 và 519,587 keV.

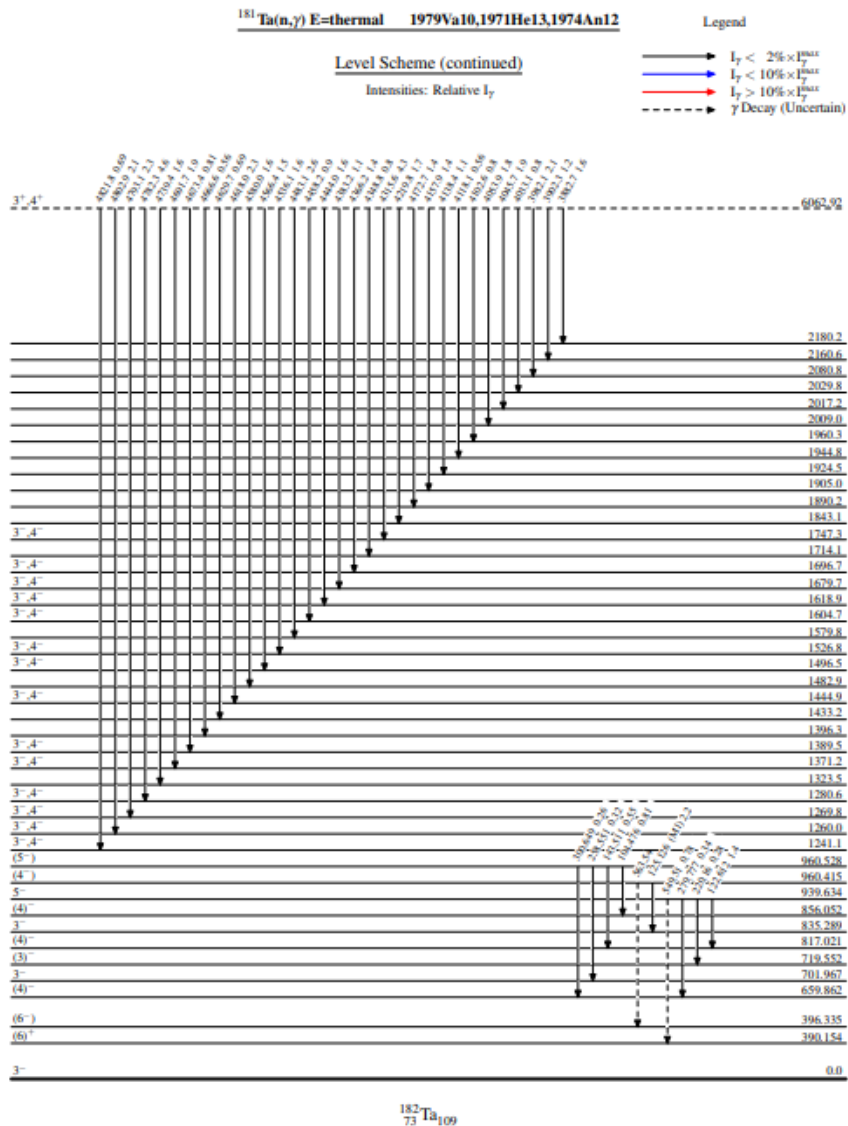
Nhóm (3) phát hiện tổng cộng 55 trạng thái kích thích trong vùng năng lượng từ 0 đến 2674 keV. Các phát hiện của nhóm (3) xác nhận sự

tồn tại của một số mức kích thích phát hiện được bởi nhóm (1), ví dụ như các mức kích thích 97,8304 (4^-), 114,3126 (4^-), 173,2370 (5^-), 237,2860 (5^-) keV. Tuy nhiên, cũng tồn tại nhiều mức kích thích đã được phát hiện bởi nhóm (1) lại không được tái khẳng định bởi nhóm (3), ví dụ như các trạng thái 16,273 (5^+) và 163.047 (6^+) keV. Ngoài ra, nhóm (3) xác định năng lượng của các trạng thái kích thích của hạt nhân dựa trên góc bay và năng lượng của proton sản phẩm, do đó chịu sự bất định lớn gây bởi độ phân giải của góc. Chính vì vậy độ bất định về năng lượng của các trạng thái kích thích xác định bởi nhóm (3) là tương đối cao, khoảng 7 keV cho phần lớn các trạng thái kích thích ghi nhận được. Nhóm (3) cũng không cho phép xác định các chuyển dời gamma tương ứng với sự giải kích thích của hạt nhân hợp phần.

Phần lớn dữ liệu thực nghiệm về sơ đồ mức của hạt nhân 182 Ta được đóng góp bởi nhóm (2). Phản ứng bắt neutron cho phép nghiên cứu sơ đồ mức trong vùng năng lượng kích thích từ 0 lân cận với năng lượng liên kết neutron của hạt nhân. Các thí nghiệm sử dụng neutron trên nhiệt cho phép phát hiện các mức kích thích có năng lượng bằng tổng năng lượng liên kết neutron và năng lượng của neutron tới. Các mức kích thích này tương ứng với các cộng hưởng neutron. Đồng thời, đo các tia gamma phát ra trong quá trình giải kích thích cho phép nghiên cứu sơ đồ mức ở vùng có năng lượng thấp hơn năng lượng liên kết neutron. Điểm khác biệt của các nghiên cứu thuộc nhóm (2) so với các nghiên cứu thuộc nhóm (3) là nó có khả năng xác định được các phân rã gamma tương ứng với sự chuyển từ trạng thái kích thích có năng lượng cao về các trạng thái kích thích có năng lượng thấp. Hình 1.7 là một phần sơ đồ mức của hạt nhân 182 Ta thu được từ kênh nghiên cứu sử dụng phản ứng (n,γ) với neutron năng lượng nhiệt. Ta có thể thấy, hạt nhân ở trạng thái hợp phần có năng lượng 6062,94 keV có rất nhiều cách khác nhau để giải kích thích về các trạng thái có năng lượng thấp hơn. Hạt nhân không thể tồn tại lâu dài ở các trạng thái kích thích này, mà sẽ chuyển về các trạng thái kích thích thấp hơn hoặc về trạng thái bền. Quá trình này phải phát ra các chuyển dời gamma. Mặc dù vậy, rất nhiều các

chuyển dời gamma được lý thuyết dự đoán là phải xuất hiện vẫn chưa được phát hiện và cập nhật trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF. Chẳng hạn, thư viện ENSDF không cung cấp bất cứ chuyển dời gamma nào tương ứng với sự chuyển trạng thái của hạt nhân từ các mức kích thích có năng lượng trong khoảng từ 1371 keV đến 2108 keV về các trạng thái kích thích có năng lượng thấp hơn. Nghiên cứu phân rã gamma

15



Hình 1.7: Một phần sơ đồ mức của ¹⁸²Ta xác định từ kênh phản ứng (n, γ) sử dụng neutron nhiệt [7].

nổi tầng từ trạng thái 6062,94 keV về một số trạng thái kích thích xác định, ví dụ như 97,8304 (4^-) và 114,3126 (4^-) keV, có tiềm năng cho phép phát hiện các chuyển dời gamma còn thiếu trong thư viện. Trong Chương tiếp theo, phương pháp thực nghiệm và xử lý số liệu để xác định phân rã gamma nổi tầng từ trạng thái hợp phần gây bởi phản ứng (n,γ) về các mức kích thích xác định ở vùng năng lượng thấp sẽ được trình bày.

Chương 2

THỰC NGHIỆM VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU

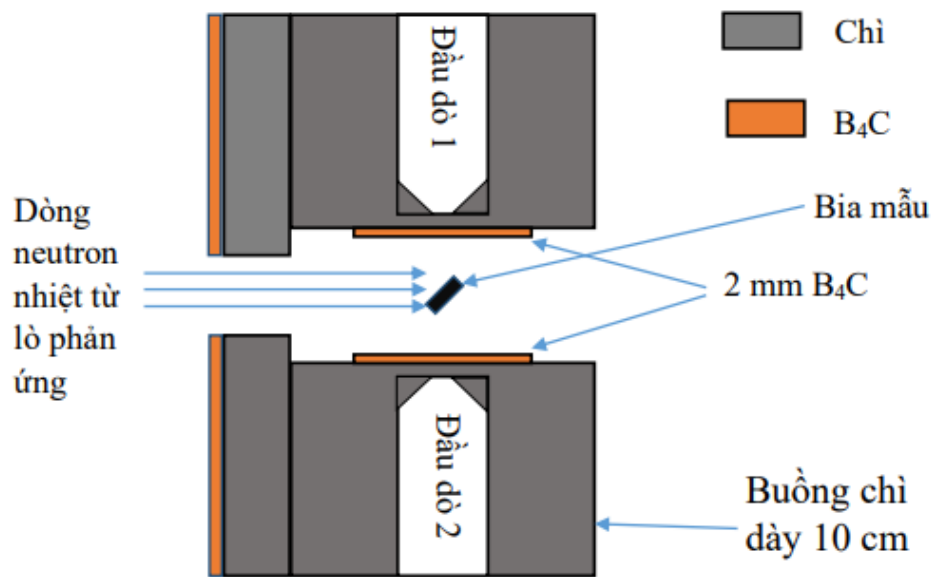
2. Thực nghiệm và xử lý số liệu

Như đã phân tích trong Mục 1.1.4 và 1.2, phổ gamma thu được do quá trình giải kích thích của hạt nhân hợp phần gây bởi phản ứng (n,γ) thường rất phức tạp với nhiều đỉnh chồng chập và nền Compton phức tạp. Các yếu tố này làm hạn chế đáng kể khả năng phát hiện các chuyển dời gamma trong phổ. Để giải quyết vấn đề này, các kỹ thuật đo tiên tiến cần được áp dụng. Một trong số đó là kỹ thuật đo gamma trùng phùng sử dụng hai đầu dò bán dẫn Ge siêu tinh khiết. Kỹ thuật này cho phép xác định các cặp chuyển dời gamma nối tầng tương ứng với sự chuyển từ trạng thái hợp phần gây bởi phản ứng (n,γ) về một trạng thái kích thích trung gian rồi trở về trạng thái cuối xác định.

Tại Việt Nam, thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần gây bởi phản ứng (n,γ) sử dụng phương pháp đo gamma trùng phùng được thực hiện tại Viện Nghiên cứu hạt nhân, Đà Lạt. Phương pháp này đã được ứng dụng để xác định thực nghiệm sơ đồ mức riêng phần của nhiều hạt nhân như ^{172}Yb [27], ^{153}Sm [28], và ^{164}Dy [29]. Đề tài luận văn này tiến hành nghiên cứu phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần 6062,94 keV của ^{182}Ta về các trạng thái cuối 97,8304 (4^-) và 114,3126 (4^-) keV. Do đó Chương 2 được dành toàn bộ để trình bày về thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng, nguyên lý hoạt động của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma, và phương pháp xây dựng sơ đồ mức từ số liệu phân rã gamma nối tầng thực nghiệm

2.1 Thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng

Sơ đồ bố trí thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng của ^{182}Ta được đưa ra trong Hình 2.1. Hai đầu dò được đặt đối xứng nhau qua vị trí đặt mẫu. Mẫu sử dụng trong thí nghiệm Ta tự nhiên, chứa 99,988% ^{181}Ta , ở dạng tấm kim loại và có khối lượng $\sim 1,5$ g.



Hình 2.1: Sơ đồ bố trí thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tăng tại Viện nghiên cứu hạt nhân.

Dòng neutron nhiệt chiếu vào mẫu sẽ gây ra phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$. Cần lưu ý ở đây rằng, phổ neutron của các lò phản ứng hạt nhân chứa cả các neutron nhiệt và các neutron trên nhiệt. Các dòng neutron nhiệt ở lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt loại bỏ các neutron trên nhiệt bằng phương pháp sử dụng các phin lọc neutron [30, 31]. Phương pháp phin lọc dựa trên nguyên lý truyền qua, theo đó tỷ lệ neutron truyền qua một bề dày vật liệu xác định sẽ tỷ lệ với tiết diện toàn phần của neutron với vật liệu đó. Bằng cách lựa chọn một tổ hợp vật liệu với bề dày thích hợp, một số dòng neutron có năng lượng xác định có thể được tạo ra, trong đó có dòng neutron nhiệt. Loại bỏ các neutron trên nhiệt trong dòng neutron đảm bảo cho tất cả các sự kiện bắt bức xạ đều tạo ra hạt nhân hợp phần ở cùng một trạng thái kích thích. Thông lượng neutron nhiệt tại vị trí đặt mẫu đạt $1,7 \times 10^5 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Giá trị thông lượng tại vị trí đặt mẫu được xác định thông qua thí nghiệm đo lá dò vàng để trần và lá dò vàng bọc Cd. Toàn bộ thí nghiệm được tiến hành trong khoảng 690 giờ.

Trong một khoảng thời gian xác định (được gọi là cửa sổ thời gian), được quy định bởi hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma, nếu cả hai đầu dò cùng xuất hiện tín hiệu thì hệ phổ kế sẽ ghi nhận là một sự kiện trùng phùng. Năng lượng bị hấp thụ bên trong đầu dò sẽ được ghi và lưu trữ lại. Quá trình này được thực hiện bởi hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma mà cấu tạo và nguyên lý hoạt động được trình bày trong Mục 2.2.

Trong quá trình đo, ngoài các gamma phát ra từ mẫu còn có các gamma trong môi trường, các gamma này cũng có thể đi vào đầu dò và gây ra các tín hiệu không mong muốn. Để hạn chế các sự kiện không mong muốn này, đầu dò được bao bọc bởi buồng chì dày 10 cm. Các gamma trong phòng môi trường phần lớn có năng lượng < 2 MeV, do đó bề dày lớp chì 10 cm là đủ để chặn hầu hết các gamma từ môi trường đi vào đầu dò. Để làm rõ hơn, tỷ lệ suy giảm cường độ của chùm tia gamma với các năng lượng khác nhau khi đi qua vật liệu chì với các bề dày khác nhau đưa ra trong Bảng 2.1. Các giá trị trong Bảng 2.1 được xác định dựa trên công thức suy giảm cường độ

$$I = I_0 \exp(-\mu d), \quad (2.1)$$

với I , I_0 , μ lần lượt là cường độ chùm tia trước khi đi qua lớp vật liệu, cường độ chùm tia sau khi đi qua lớp vật liệu, hệ số suy giảm cường độ gamma của vật liệu, và bề dày của lớp vật liệu. Hệ số suy giảm cường độ gamma μ được lấy từ thư viện NIST [32]. Bảng 2.1 cho thấy xác suất gamma năng lượng 4 MeV xuyên qua lớp chì có bề dày 10 cm chỉ là 0,99%, xác suất này giảm xuống 0,63% với gamma năng lượng 2 MeV và chỉ còn 0,04% với gamma năng lượng 1 MeV.

Bên cạnh che chắn bức xạ gamma, các tấm che chắn bằng vật liệu B_4C cũng được bố trí để làm giảm số neutron đi vào đầu dò. Neutron đi vào đầu dò sẽ gây sai hỏng cấu trúc mạng tinh thể của Ge, và làm giảm chất lượng của đầu dò.

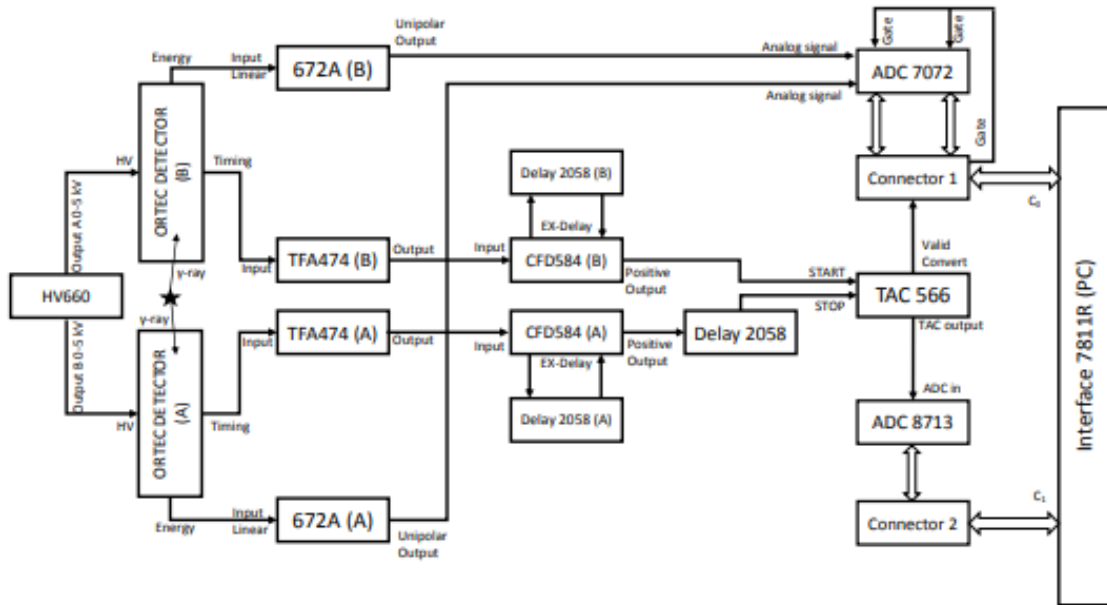
Bảng 2.1: Sự suy giảm của cường độ gamma khi đi qua chì với các bề dày (d) khác nhau.

Năng lượng (MeV)	Tỷ lệ suy giảm cường độ (%)			
	$d=1\text{cm}$	$d=2\text{cm}$	$d=5\text{cm}$	$d=10\text{cm}$
0,050	0,00	0,00	0,00	0,00
0,100	0,00	0,00	0,00	0,00
0,200	0,00	0,00	0,00	0,00
0,300	1,19	0,01	0,00	0,00
0,400	7,77	0,60	0,00	0,00
0,500	16,94	2,87	0,01	0,00
0,600	25,34	6,42	0,10	0,00
0,800	37,69	14,21	0,76	0,01
1,000	45,78	20,96	2,01	0,04
2,000	60,25	36,30	7,94	0,63
4,000	63,02	39,72	9,94	0,99
8,000	59,79	35,75	7,64	0,58
10,000	57,87	33,49	6,49	0,42
20,000	50,53	25,53	3,29	0,11

Neutron đi vào bia mẫu không chỉ bị bắt bức xạ mà còn bị tán xạ, để hạn chế các neutron tán xạ này đi vào đầu dò, cửa sổ của hai đầu dò được bố trí một lớp B_4C dày 2 mm. Boron là vật liệu hấp thụ neutron rất mạnh, tuy nhiên quá trình bắt neutron của Boron cũng sinh ra gamma có năng lượng khoảng 490 keV. Để loại bỏ ảnh hưởng của các gamma này, 2 mm chì được bố trí ở giữa mặt đầu dò và tấm che B_4C . Sự xuất hiện của các lớp chì và B_4C trước mặt đầu dò cũng phần nào đó làm suy giảm cường độ của các tia gamma phát ra từ mẫu, tức là các tia gamma cần quan tâm. Tuy nhiên sự suy giảm này là không đáng kể với các gamma có năng lượng trên 500 keV do bề dày lớp che chắn chỉ là 2 mm. Trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân, ngưỡng năng lượng quan tâm là 520 keV.

2.2 Phổ kế trùng phùng gamma - gamma

Phổ kế trùng phùng gamma - gamma là công cụ không thể thiếu trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng. Sơ đồ khối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân trong Hình 2.2.



Hình 2.2: Sơ đồ khối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân (Hình 2.4 của tài liệu tham khảo [33]).

Vai trò của từng khối điện tử trong hệ phổ kế trùng phùng như sau:

- Khối cao thế HV660 cấp cao thế để hai đầu dò bán dẫn Ge siêu tinh khiết hoạt động.
- Hai đầu dò bán dẫn Ge siêu tinh khiết ghi nhận các tia gamma và chuyển thành tín hiệu điện (xung).
- Các khối khuếch đại phổ (Amp) 672A biến đổi tín hiệu từ đầu dò thành dạng tín hiệu phù hợp để xác định biên độ xung, khối 672A cũng đồng thời khuếch đại tín hiệu.
- Các khối khuếch đại lọc lựa thời gian (TFA) 474 khuếch đại và biến đổi xung từ đầu dò thành dạng tín hiệu phù hợp để xác định thời gian khởi phát xung.
- Các khối gạt ngưỡng hằng số không đổi (CFD) 584 đánh dấu thời điểm khởi phát của xung tín hiệu.

- Khối biến đổi thời gian ra tương tự (TAC) 566 tạo ra xung có biên độ tỷ lệ với chênh lệch thời gian khởi phát xung giữa hai đầu dò.
- Khối biến đổi tương tự sang số (ADC) 7072 chuyển đổi biên độ xung lỗi ra từ Amp 672A thành dạng số.
- Khối biến đổi tương tự sang số (ADC) 8713 chuyển đổi biên độ xung lỗi ra từ TAC 566 thành dạng số.
- Các CONNECTOR truyền tín hiệu số từ các ADC về các 7811R.
- Giao diện (interface) 7811R cho phép hiển thị và lưu trữ dữ liệu thu được trên máy tính.

Nguyên lý hoạt động của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma của Viện nghiên cứu hạt nhân đã được trình bày chi tiết trong tài liệu tham khảo [34], do vậy sẽ không được lặp lại trong luận văn này.

2.3 Phương pháp xác định phân rã gamma nối tầng

Từ mô tả trong các Mục 2.1 và 2.2, phổ kế trùng phùng gamma sẽ ghi dữ liệu khi có hai tín hiệu trùng phùng, hai tín hiệu trùng phùng xảy ra khi có hai gamma đi vào hai đầu dò trong cùng một khoảng thời gian. Khi đó có bốn trường hợp có thể xảy ra như sau:

1. Đầu dò thứ nhất hấp thụ toàn bộ năng lượng của tia gamma tới, đầu dò thứ hai hấp thụ toàn bộ năng lượng của tia gamma tới.
2. Đầu dò thứ nhất hấp thụ toàn bộ năng lượng của tia gamma tới, đầu dò thứ hai hấp thụ một phần năng lượng của tia gamma tới.
3. Đầu dò thứ nhất hấp thụ một phần năng lượng của tia gamma tới, đầu dò thứ hai hấp thụ toàn bộ năng lượng của gamma tới.
4. Đầu dò thứ nhất hấp thụ một phần năng lượng của tia gamma tới, đầu dò thứ hai hấp thụ một phần năng lượng của gamma tới.

Ta nhận thấy đặc điểm chung của các sự kiện tương ứng với trường hợp một là tổng năng lượng hấp thụ trong hai đầu dò sẽ bằng hiệu của năng lượng liên kết neutron (S_n) với năng lượng kích thích của trạng thái cuối

(E_f) trong phân rã nói tầng. Nếu gọi E_1 , E_2 lần lượt là năng lượng hấp thụ trong đầu dò thứ nhất và năng lượng hấp thụ trong đầu dò thứ hai, ta có:

$$E_1 + E_2 = S_n - E_f. \quad (2.2)$$

Trong điều kiện lý tưởng, các cặp phân rã nói tầng có thể được tách ra bằng cách lựa chọn các cặp năng lượng thỏa mãn phương trình (2.3). Tuy nhiên, trong thực tế, các đầu dò bán dẫn Ge siêu tinh khiết có một độ bất định nhất định, được gọi là độ phân giải năng lượng, khi xác định năng lượng của một tia gamma. Các cặp phân rã nói tầng về một mức cuối xác định được trích xuất bằng cách lọc lựa các sự kiện theo điều kiện

$$(S_n - E_f) - \Delta E \leq E_1 + E_2 \leq (S_n - E_f) + \Delta E. \quad (2.3)$$

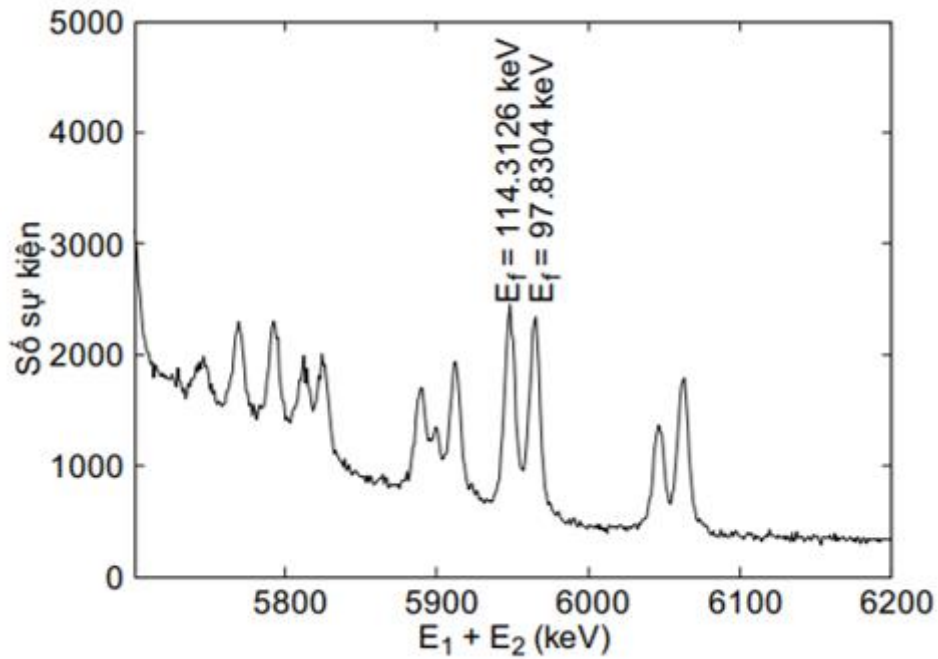
Để lựa chọn ΔE , ta cần quan sát phổ tổng. Phổ tổng là phân bố của số sự kiện theo tổng năng lượng hấp thụ bởi hai đầu dò. Hình 2.3 là một phần phổ tổng thu được thí nghiệm đo phân rã gamma nói tầng của ^{182}Ta . Vị trí vùng dữ liệu ứng với các chuyển dời từ trạng thái hợp phần 6062,94 keV về các trạng thái cuối 97,8304 (4^-) keV và 114,3126 (4^-) keV được đánh dấu. Trên cơ sở phân tích đỉnh tổng đưa ra trong Hình 2.3. Điều kiện để chọn lọc các sự kiện trùng phùng tương ứng với chuyển dời nói tầng về trạng thái cuối 97,8304 keV và 114,3126 keV lần lượt là:

$$5938 \text{ (keV)} \leq E_1 + E_2 \leq 5954 \text{ (keV)}, \quad (2.4)$$

và

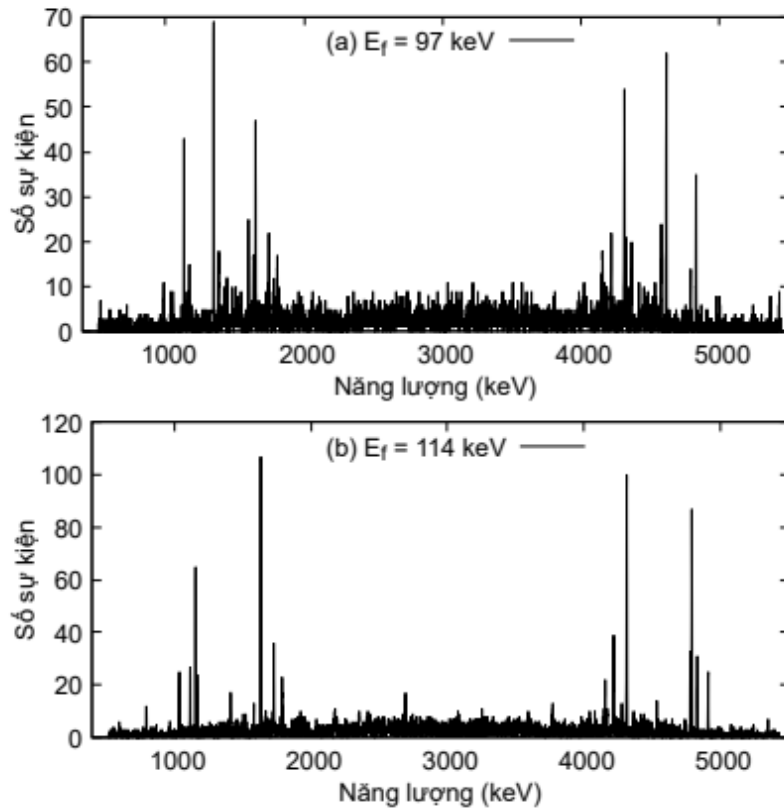
$$5958 \text{ (keV)} \leq E_1 + E_2 \leq 5973 \text{ (keV)}. \quad (2.5)$$

Sau khi đã lọc được các cặp sự kiện tương ứng với chuyển dời nói tầng từ trạng thái hợp phần 6062,94 keV về các trạng thái cuối xác định, ta tiến hành đếm thống kê số sự kiện theo năng lượng ghi nhận được để thu được phổ phân rã gamma nói tầng bậc hai.

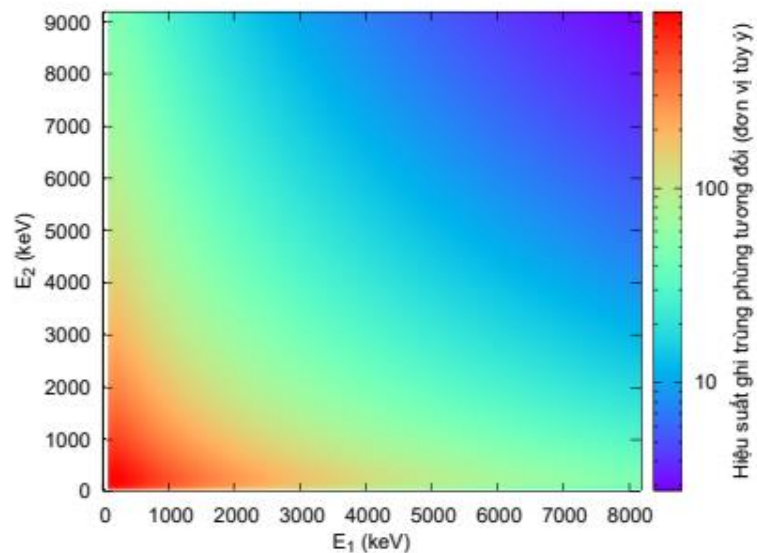


Hình 2.3: Một phần phổ tổng thu được thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta .

Hình 2.4 phổ phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về các trạng thái cuối: (a) 97,8304 keV và (b) 114,3126 keV. Trên các phổ phân rã gamma nổi tầng, các cặp nổi tầng sẽ tạo ra các cặp đỉnh đối xứng với nhau qua tâm phổ, vị trí của các đỉnh sẽ tương ứng với năng lượng của các tia gamma, diện tích của đỉnh sẽ tỷ lệ với cường độ của chuyển dời nổi tầng. Vị trí đỉnh và diện tích có thể được xác định bằng các chương trình phân tích phổ, trong luận văn này, học viên sử dụng ROOT phiên bản 5.34 để xử lý. Hiệu suất ghi của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma với các cặp gamma trùng phùng $(E_{\gamma_1}, E_{\gamma_2})$ và $(E_{\gamma_1'}, E_{\gamma_2'})$ là khác nhau, kể cả khi $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} = E_{\gamma_1'} + E_{\gamma_2'}$, do đó cường độ của một nổi tầng $I_{\gamma\gamma}$ sẽ tỷ lệ với tích của diện tích đỉnh với hệ số hiệu chỉnh hiệu suất k_E . Chi tiết về phương pháp xác định k_E được trình bày trong tài liệu tham khảo [33]. Hình 2.5 cho thấy hiệu suất ghi trùng phùng của các cặp gamma có tổng năng lượng bằng nhau có sự khác biệt nhỏ.



Hình 2.4: Phổ phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về các trạng thái cuối: (a) 97,8304 keV và (b) 114,3126 keV.



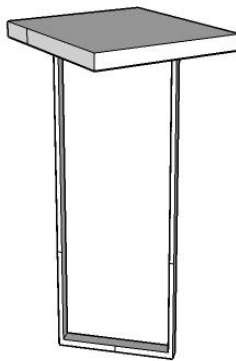
Hình 2.5: Hiệu suất ghi trùng phùng tương đối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân

Cường độ chuyển dời nổi tầng tuyệt đối có thể được xác định bằng tích của cường độ chuyển dời nổi tầng tương đối với một hệ số chuẩn hóa. Việc xác định hệ số chuẩn hóa này đòi hỏi các thí nghiệm xác định cường độ phát gamma tuyệt đối. Thí nghiệm này không được thực hiện trong khuôn khổ luận văn này, do đó học viên chỉ tiến hành đánh giá cường độ chuyển dời nổi tầng tương đối. Sau khi đã xác định được các cặp chuyển dời nổi tầng tương ứng với phân rã nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,94 keV về mức cuối xác định, thứ tự của các chuyển dời sẽ được sắp xếp dựa trên các thông tin đã biết trong thư viện ENSDF. Thảo luận chi tiết về thứ tự của các chuyển dời trong một nổi tầng và các đặc trưng của mức kích thích trung gian tương ứng sẽ được đưa ra trong Chương 3.

2.4 Phân tích một số yếu tố ảnh hưởng tới kết quả đo phân rã gamma nổi tầng.

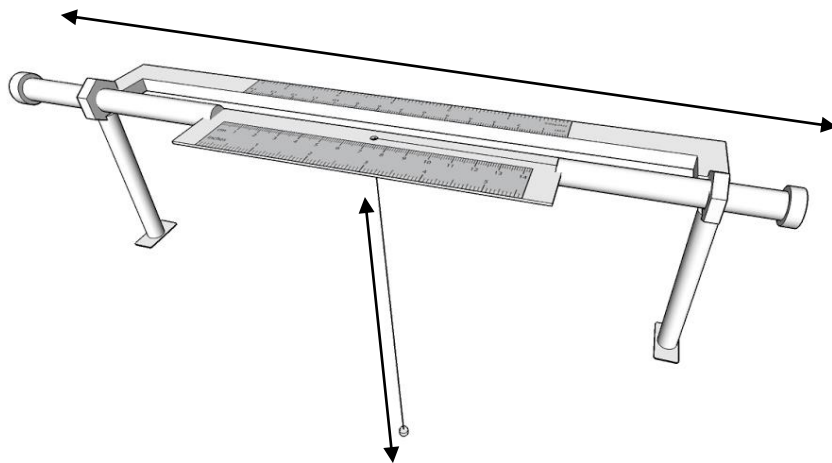
Giá đặt mẫu và vị trí đặt mẫu

Dòng neutron đi qua có thể tương tác với vật liệu làm giá đặt mẫu và tạo ra photon gamma không mong muốn, do đó giá đặt mẫu cần phải được thiết kế sao cho số lượng vật liệu của giá tiếp xúc với dòng neutron càng ít càng tốt. Cấu tạo của giá đặt mẫu được đưa ra trong Hình 2.6. Mẫu được giữ cố định ở tâm của giá đặt mẫu bằng băng keo. Với cấu tạo như trên, dòng neutron sẽ chỉ đi qua một lớp băng keo mỏng dùng để giữ mẫu và lớp vỏ nhựa bọc mẫu (đối với các mẫu dạng bột). Thành phần chính của băng keo và nhựa có chứa H, và do đó gamma năng lượng 2200 keV cũng sẽ được sinh ra trong quá trình chiếu mẫu, và đóng góp vào photon chung của hệ thống.



Hình 2.6: Giá đặt mẫu

Một yếu tố khác có thể làm sai lệch kết quả đo là vị trí đặt mẫu. Vật liệu che chắn chủ yếu là chì, do đó hệ thống che chắn đặt trên bàn đỡ có khối lượng lớn và có thể bị lún xuống sàn theo thời gian. Toàn bộ hệ thống bị xô dịch sẽ làm vị trí đặt mẫu được xác định lúc đầu bị dịch theo và do đó làm cho mẫu lệch ra khỏi vị trí tâm dòng, và qua đó làm giảm tốc độ phản ứng. Do đó, vị trí đặt mẫu cần được kiểm tra thường xuyên, để có các hiệu chỉnh thích hợp. Phương pháp cũ được sử dụng để xác định vị trí dòng là phương pháp chụp ảnh chùm, tuy nhiên phương pháp này khá tốn thời gian. Để có thể xác định nhanh vị trí dòng, nhóm nghiên cứu đã phát triển một hệ thống xác định vị trí bằng bia mẫu B có kích thước rất nhỏ. Cấu tạo của thiết bị xác định vị trí dòng được đưa ra trong Hình 2.7. Nguyên lý hoạt động của hệ rất đơn giản, sợi dây có gắn một chấm B nhỏ đường kính khoảng 1 mm có thể chuyển động theo chiều lên xuống và sang hai phía trái phải, các thước đo gắn kèm cho phép xác định tọa độ của chấm B. Chấm B khi có dòng đi qua sẽ bắt neutron, phát gamma và do đó làm cho tốc độ đếm của đỉnh B trong phổ tăng lên. Chấm B càng vào gần tâm dòng, tốc độ đếm của đỉnh B càng cao. Như vậy, dựa vào tốc độ đếm của đỉnh B trong phổ, ta có thể xác định được vị trí của dòng neutron.



Hình 2.7: Hệ thống xác định vị trí dòng

Chất lượng bia mẫu

Hiệu suất ghi của phương pháp trùng phùng gamma – gamma là rất nhỏ, do đó để tách một cách rõ ràng các đỉnh chập, thời gian đo cần phải rất dài. Trong khi đó, thời gian đo lại bị giới hạn bởi thời gian hoạt động của Lò

phản ứng hạt nhân Đà Lạt (không quá 130 giờ/tháng). Và do vậy, bia mẫu cần phải có độ sạch đồng vị cao, qua đó hạn chế được một số chồng chập không mong muốn. Trong điều kiện giới hạn về tài chính, ta có thể chọn nghiên cứu các đồng vị có độ phổ cập đồng vị trong tự nhiên cao ($>95\%$), tuy nhiên số lượng đồng vị kiểu này là không nhiều. Hầu hết các bia mẫu tự nhiên đều chứa từ hai đến ba đồng vị, và do đó đưa ra dạng phổ rất phức tạp. Không có giải pháp nào để giải quyết vấn đề này, ngoại trừ việc mua các bia mẫu có độ giàu cao. Tuy nhiên, các bia mẫu này có giá thành cao.

Khuếch đại phổ

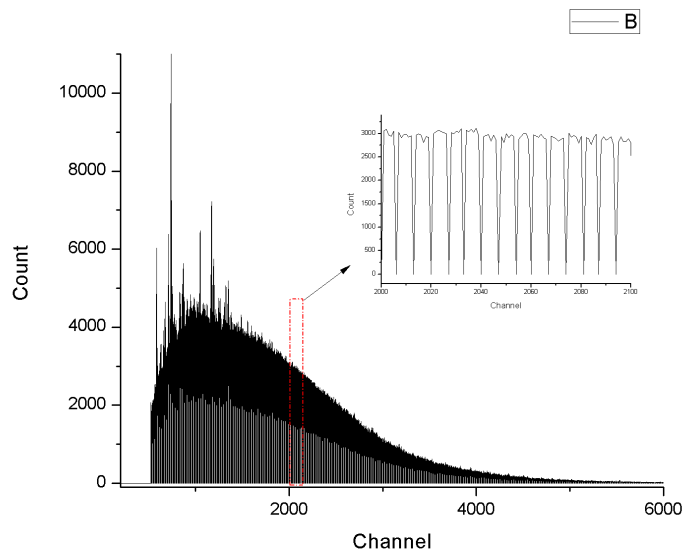
Vai trò của khuếch đại phổ trong hệ phổ kế là khuếch đại và hình thành dạng xung thích hợp để đưa vào ADC. Các thông số quan trọng của khuếch đại phổ có thể điều chỉnh được là hệ số khuếch đại, hằng số tạo dạng xung, chế độ phân cực, các điều chỉnh pole-zero, BLR (phục hồi đường cơ bản). Các khuếch đại phổ hiện nay được thiết kế với chất lượng rất cao, do đó tùy chọn AUTO (tự động) đối với các thông số pole-zero và BLR đáp ứng phần lớn các nhu cầu sử dụng thông thường của người dùng. Chế độ tùy chỉnh bởi người dùng chỉ cần dùng đến trong các trường hợp đặc biệt, chẳng hạn như hệ cần phải xử lý ở tốc độ đếm rất cao. Thời gian tạo dạng xung tối ưu thay đổi tùy theo các đầu dò khác nhau tùy theo đặc trưng thu thập điện tích. Giá trị thời gian tạo dạng xung tối ưu của đầu dò được nhà sản xuất cung cấp trong phiếu thông tin đi kèm. Trong điều kiện thông thường, ta nên chọn theo giá trị này để đảm bảo độ phân giải của hệ là tốt nhất. Đối với hai đầu dò bán dẫn được sử dụng trong hệ phổ kế trùng phùng của Viện NCHN, giá trị hằng số tạo dạng xung tối ưu là $3 \mu s$.

Hệ số khuếch đại là tham số được điều chỉnh nhiều nhất trong quá trình sử dụng. Hệ số khuếch đại cần phải được thay đổi khi hệ chuyển từ đo phân rã nói tâng của hạt nhân hợp phần sang đo gamma trẻ hoặc ngược lại. Một số bia mẫu có năng lượng liên kết neutron lớn (B_n), thì hệ số khuếch đại cần phải giảm đủ để đỉnh tương ứng với năng lượng ($B_n - 511 keV$) không bị mất trong phổ.

Khi lựa chọn hệ số biến đổi năng lượng gamma sang số kênh ở hai

đường tín hiệu năng lượng không đồng nhất (sai khác vượt quá 10^{-4}) thì bắt buộc phải sử dụng chương trình hiệu chỉnh code biên độ. Một trong các phiên phức là dạng phổ sau khi hiệu chỉnh code thường có các kênh có giá trị số đếm 0. Khi độ sai khác của 2 đường càng nhiều thì số kênh có số đếm 0 càng lớn. Vì vậy, việc lựa chọn hệ số khuếch đại là 1 một công việc cần được thực hiện tinh tế, cẩn thận. Ngoài ra, để có sự phù hợp giữa dải biên độ đo, số kênh của ADC, năng lượng gamma cực đại phát ra khi hạt nhân bắt neutron, tỷ lệ biến đổi thường là 1 keV tương ứng 1 kênh.

Một dạng biến dạng thường gặp khi chọn hệ số khuếch đại không phù hợp được biểu diễn trong Hình 2.8.



Hình 2.8: Phổ biến dạng với sự xuất hiện các kênh có giá trị bằng không do hệ số khuếch đại được chọn không phù hợp.

Trong thực tế, hệ số khuếch đại đúng bằng 1 là rất khó có thể điều chỉnh được một cách chính xác. Thay vào đó, giá trị này thường dao động trong khoảng 0.9900 tới 1.0099, tức là độ lệch kênh và năng lượng có thể lên tới 60~80 kênh ở năng lượng cỡ 6~8 MeV, do đó hệ số khuếch đại cần phải được lưu ý khi bia mẫu có phát các gamma năng lượng lớn hơn 8 MeV. Sử dụng bia Cl^{35} đo ở chế độ không trùng phùng cho phép xác định nhanh hệ số biến đổi năng lượng của hệ thống thông qua các đỉnh dễ nhận diện như 517 keV, 1951 keV, 1959 keV, 6619 keV, 6627 keV. Thủ tục này nên được tiến

hành như một bước kiểm tra và hiệu chỉnh cuối cùng trước khi bắt đầu một phép đo.

Đối với bài toán phân tích kích hoạt đo gamma trễ, hệ số chuẩn năng lượng được xét vào khoảng 2 kênh/keV.

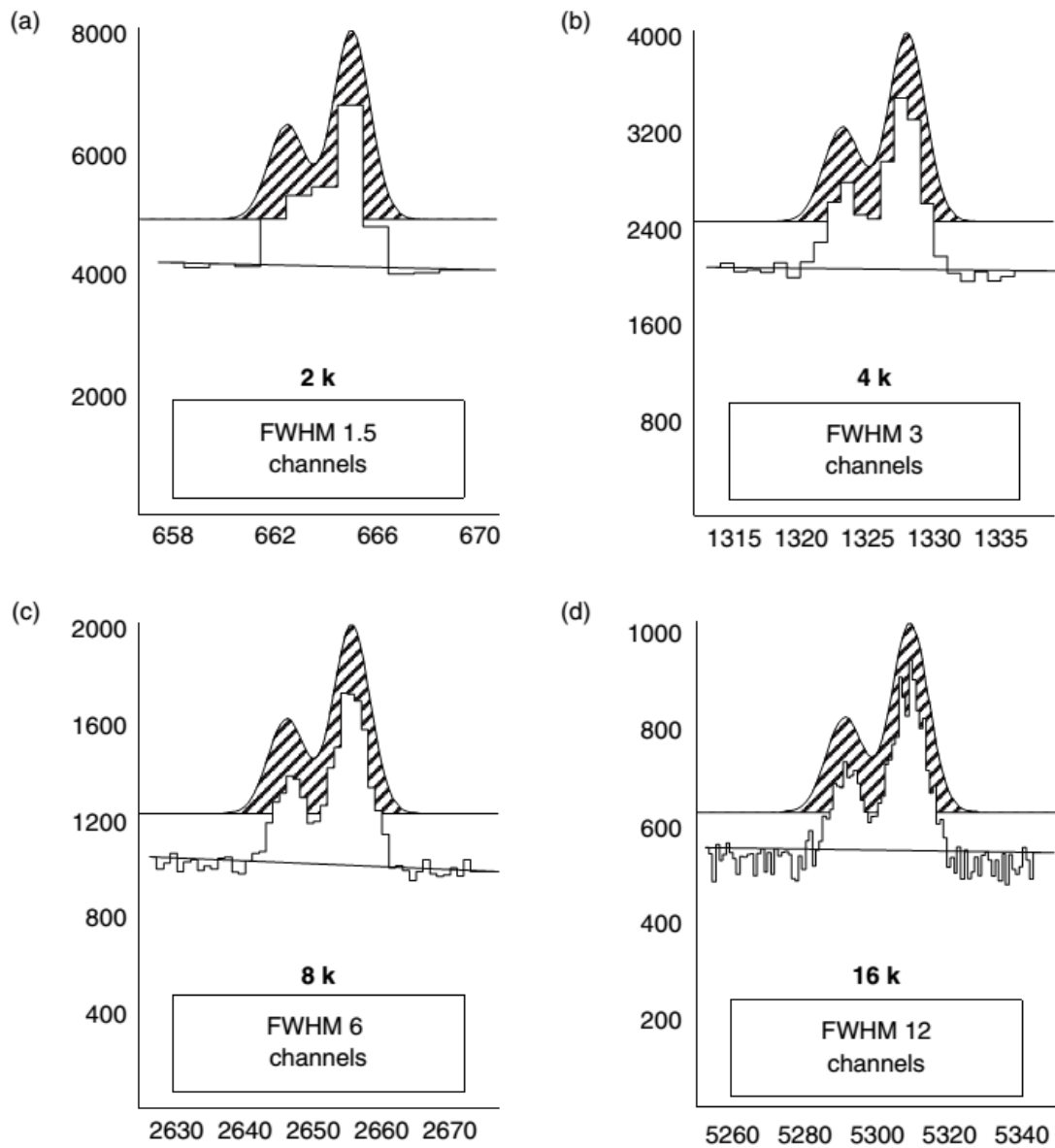
Hệ số biến đổi năng lượng ra kênh trên hai đường tín hiệu cũng phải tương đương nhau. Việc này giúp tránh khỏi các bước dịch code gây biến dạng phổ trong cách bước xử lý tiếp theo. Nếu hệ số biến đổi năng lượng ra kênh, K1 và K2, của hai đường tín hiệu thỏa mãn điều kiện $|K1-K2|/K1 < 10^{-4}$ thì việc dịch code giữa hai kênh sẽ không cần phải thực hiện.

ADC và ngưỡng cắt năng lượng thấp của ADC (LLD)

Kích thước phổ ảnh hưởng tới khả năng phát hiện đỉnh trong phổ. Chọn kích thước phổ quá nhỏ làm tăng số đếm trên từng kênh qua đó dễ phát hiện đỉnh trên nền phong nhưng đồng nghĩa với việc làm cho các đỉnh lân cận nhau bị chập vào nhau dẫn tới không phát hiện ra được. Kích thước phổ lớn giúp tách biệt rõ các đỉnh, nhưng lại làm giảm độ cao của đỉnh và do đó làm giảm khả năng phát hiện đỉnh trong phổ. Ảnh hưởng của kích thước phổ tới dạng đỉnh được thể hiện trong Hình 2.9. Với dải năng lượng cần quan tâm trong khoảng từ 0.5 MeV đến 8 MeV, kích thước phổ phù hợp sẽ là 8192 kênh. Còn đối với dải năng lượng từ 100 keV đến 2 MeV, kích thước phổ thích hợp bằng 4096 kênh.

Ngưỡng dưới của ADC được thiết lập ở khoảng 200 kênh (tương đương với ~200 keV) khi đo dải năng lượng từ 0.5 đến 8 MeV và ở khoảng 120 kênh (tương đương với ~60 keV). Các mức ngưỡng cắt này là đủ để loại bỏ các thành phần nhiễu làm tăng thời gian chết của ADC và gây tổn bộ nhớ. Các khảo sát đã tiến hành cho thấy, lượng độ phân giải thời gian được cải thiện do đặt ngưỡng ADC cao cũng có thể thu được thông qua việc lọc code bằng phần mềm trong các bước xử lý số liệu về sau. Do vậy đặt ngưỡng cắt dưới của ADC cao là không qua cần thiết. Tuy nhiên, trong trường hợp tốc độ đếm lớn, thời gian chết tăng cao, mà vùng năng lượng ta quan tâm tới lại nằm ở vùng cao, việc tăng ngưỡng dưới của ADC sẽ giúp cải thiện đáng kể thời gian chết

của hệ.

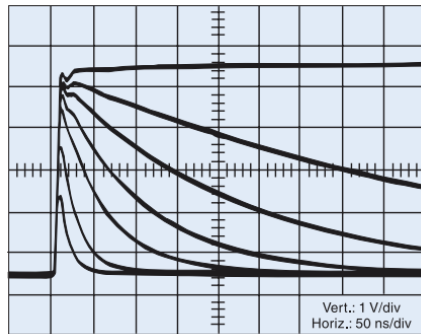


Hình 2.9: Ảnh hưởng của kích thước phổ tới dạng đỉnh. (a). Kích thước phổ quá nhỏ do đó không nhận diện được hai đỉnh trên phổ. (b) hai đỉnh chập có tách nhưng chưa rõ rệt. (c) hai đỉnh chập tách rõ rệt và độ cao đỉnh phổ so với nền phông lớn. (d) hai đỉnh tách rõ, tuy nhiên độ cao đỉnh so với nền phông không cao.

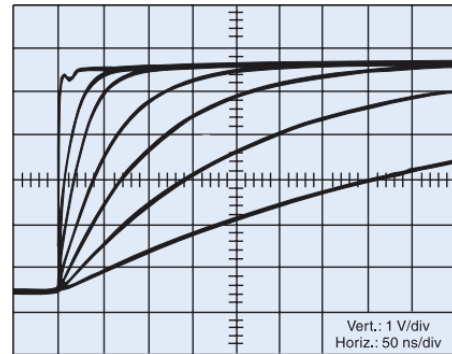
Khuếch đại lọc lựa thời gian (TFA) và Gạt ngưỡng hằng số(CFD)

Đối với hệ phổ kế trùng phùng sử dụng đầu dò bán dẫn, lựa chọn tham số tối ưu cho TFA và CFD là thủ tục phức tạp và đòi hỏi nhiều kinh nghiệm. Các lựa chọn sai về hệ số khuếch đại hay kích thước ADC có thể khắc phục bằng các thủ thuật toán học trong các bước xử lý về sau. Nhưng các hệ quả do lựa chọn tham số TFA và CFD không phù hợp là không thể khắc phục được. Tham số TFA và CFD không phù hợp dẫn tới mất số liệu, làm giảm tốc độ làm việc của hệ đo, hoặc ghi các số liệu sai.

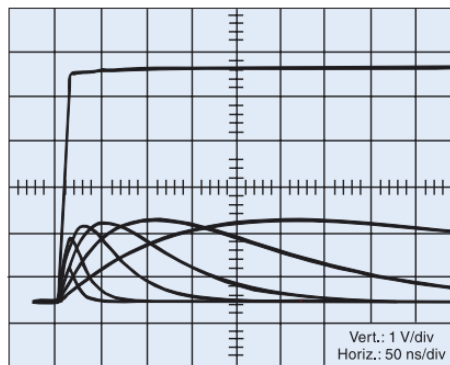
Hệ phổ kế trùng phùng gamma – gamma của Viện NCHN sử dụng hai đầu dò bán dẫn HPGe của hãng ORTEC có hiệu suất ghi tương đối lần lượt là 35% và 40%. Với đầu dò bán dẫn, xung lồi ra của tiền khuếch đại sẽ có mặt tăng xung nằm trong dải từ 40 đến 600 ns và mặt giảm xung từ 40 đến 200 μ s, do đó để xử lý tín hiệu thời gian đạt độ chính xác cao, khối khuếch đại lọc lựa thời gian cần phải được sử dụng. Các tham số của TFA có thể được thiết lập bao gồm hệ số khuếch đại, hằng số vi phân (DIFF) và hằng số tích phân (INT). Hai tham số DIFF và INT cho phép lựa chọn dạng xung ra và do đó, lựa chọn hai tham số này tốt sẽ cho phép tối ưu hóa tỷ số tín hiệu trên nhiễu trong phép đo thời gian. Đặc trưng của hai tham số INT và DIFF của TFA được tổng hợp trong Hình 2.10. Như vậy, tham số INT và DIFF của TFA sẽ cần phải được lựa chọn để tối ưu hóa tỷ số tín hiệu trên nhiễu và loại bỏ các xung có thời gian tăng xung kéo dài. Với tiêu chí này, kết quả khảo sát tham số INT và DIFF của TFA sử dụng nguồn chuẩn ^{22}Na , ^{60}Co và ^{152}Eu cho thấy có nhiều cặp tham số INT và DIFF đều có thể có thể được sử dụng. Hai cặp tham số vi tích phân thường được nhóm nghiên cứu sử dụng là INT=100, DIFF=200 và INT=50, DIFF=100 đối với cả hai kênh tín hiệu. Do đặc trưng dạng xung của hai đầu dò được sử dụng không khác biệt nhau nhiều, tham số vi tích phân của hai khối TFA tương ứng với hai đường tín hiệu nên được đặt giống nhau.



(a). Tham số INT đặt ở giá trị OUT. Tham số DIFF lần lượt đặt ở các giá trị OUT, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 ns



(b). Tham số DIFF đặt ở giá trị OUT. Tham số INT lần lượt đặt ở các giá trị OUT, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 ns



Tham số INT và DIFF được đặt cùng giá trị OUT, 10, 20, 50, 100, 200 and 500 ns

Hình 2.10: Dạng xung của lõi ra TFA khi cố định hệ số khuếch đại và thay đổi INT và DIFF

Hệ số khuếch đại của TFA cũng là một tham số quan trọng cần phải được lựa chọn thích hợp với các dải năng lượng cần đo khác nhau. Trước hết, hệ số khuếch đại quá lớn sẽ làm cho các tín hiệu nhiễu cũng bị khuếch đại và do đó các tín hiệu này sẽ không bị loại bỏ, ngược lại hệ số khuếch đại quá thấp sẽ làm giảm khả năng phân biệt giữa tín hiệu thực và nhiễu. Thêm nữa, đối với

hệ đo trùng phùng gamma – gamma, hệ số khuếch đại của hai khối TFA còn cần phải được lựa chọn sao cho ứng với cùng một tia bức xạ đi vào đầu dò, biên độ xung lồi ra của hai TFA phải càng tương đồng nhau càng tốt. Sự tương đồng về dạng xung và biên độ xung tại lồi ra của hai TFA giúp việc xác lập tham số cho khối CFD được thuận tiện hơn. Trên thực tế, chất lượng của hai khối TFA được sử dụng trong hệ phổ kế chưa tốt, việc điều chỉnh Fine Gain (điều chỉnh tinh hệ số khuếch đại) không đạt hiệu quả cao. Do đó tín hiệu lồi ra của TFA trên hai kênh không hoàn toàn tương đồng nhau. Tuy vậy, vấn đề này có thể được khắc phục bằng cách lựa chọn các gạt ngưỡng của CFD một cách thích hợp.

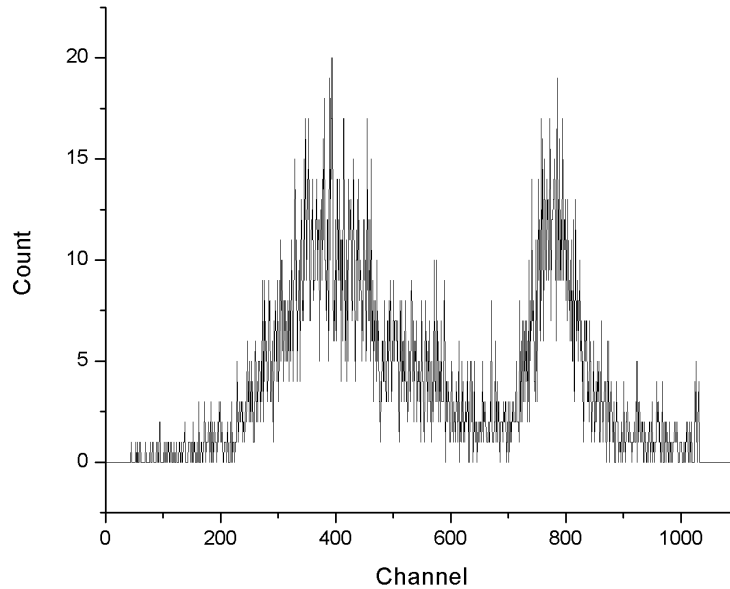
Sau TFA, CFD là tầng xử lý tiếp theo của tín hiệu trong kênh thời gian của hệ phổ kế trùng phùng, có vai trò gạt ngưỡng loại bỏ các tín hiệu nhiễu và xác định thời gian khởi phát của xung. Hệ phổ kế trùng phùng của Viện NCHN sử dụng hai CFD 586 của hãng ORTEC. Kinh nghiệm sử dụng hệ đo cho thấy các tham số của CFD có ảnh hưởng rất lớn tới chất lượng phổ thu được:

Thứ nhất, CFD hoạt động ở chế độ không thích hợp sẽ làm giảm khả năng phân giải thời gian của hệ, giảm chất lượng số liệu thu được.

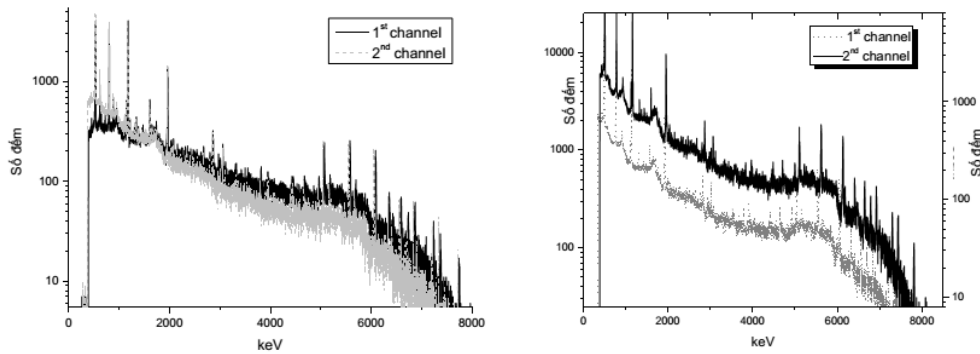
Thứ hai, giá trị CF-delay của hai CFD được lựa chọn không phù hợp sẽ không loại bỏ được các tín hiệu nhiễu, tín hiệu có mặt tăng xung kéo dài, hoặc làm tốc độ ghi sự kiện của hệ giảm mạnh.

Thứ ba, ngưỡng của CFD hai kênh được đặt quá thấp sẽ làm xuất hiện nhiều đỉnh trong phổ thời gian (Hình 2.11).

Và cuối cùng, ngưỡng CFD hai kênh được đặt không phù hợp (tương quan giữa hai kênh) sẽ làm xuất hiện hiện tượng chênh lệch về số liệu thu được ở hai kênh năng lượng đối với từng vùng thu được (Hình 2.12(a)).



Hình 2.11: Phổ thời gian xuất hiện hai đỉnh trong trường hợp tham số CFD chọn không thích hợp.



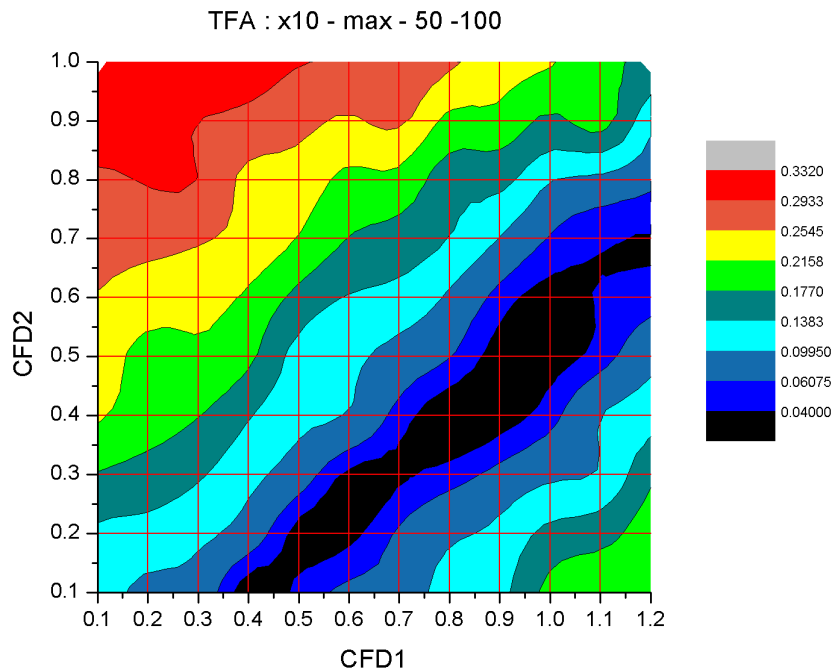
Hình 2.12: Phổ năng lượng hai kênh. (a) chỉnh chưa đúng các tham số thời gian. (b) chỉnh đúng các tham số thời gian.

Tóm lại, biểu hiện của một bộ tham số CFD tốt trong số liệu đo sẽ là phổ thời gian có độ phân giải cao và không có hiện tượng xuất hiện nhiều đỉnh, sự chênh lệch số liệu thu được trên hai kênh năng lượng là nhỏ (tỷ số số đếm trong khoảng 50 keV của hai kênh nằm trong khoảng từ 0.8 đến 1.2).

Các khảo sát được công bố đã kết luận rằng đối với hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma của Viên Nghiên cứu hạt nhân, chế độ hoạt động tối ưu của CFD là chế độ SRT, và giá trị CF delay tối ưu sẽ phụ thuộc vào giá trị ngưỡng được chọn. Cụ thể hơn, khi ngưỡng của CFD đặt cao hơn 100 mV, giá trị CF-delay tối ưu sẽ rơi vào khoảng từ 40 đến 55 ns. Đối với giá trị ngưỡng, tham số tối ưu của ngưỡng hai CFD sẽ phụ thuộc vào tương quan dạng xung và biên độ xung lối ra của TFA hai kênh với cùng một xung lối vào. Nói cách khác, với cùng một tín hiệu bức xạ lối vào, nếu xung lối ra của TFA hai kênh là hoàn toàn tương đồng thì tỷ số ngưỡng CFD của hai kênh sẽ bằng 1. Tuy nhiên, điều lý tưởng này rất khó có thể đạt được trong thực tế, do đó để xác định giá trị ngưỡng cắt tối ưu cho từng dải đo, nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát tỷ số ngưỡng CFD hai kênh, chọn ra các cặp ngưỡng CFD tốt với tiêu chí lựa chọn là chênh lệch của số liệu thu được trên hai kênh năng lượng càng ít càng tốt, phổ thời gian không xuất hiện các đỉnh giả, độ phân giải thời gian tốt, và ngưỡng CFD vẫn nằm dưới vùng năng lượng cần quan tâm, qua đó đánh giá sơ bộ tỷ số ngưỡng CFD giữa hai kênh.

Hình 2.13 là kết quả khảo sát chênh lệch số liệu thu được giữa hai kênh năng lượng theo ngưỡng CFD 2 kênh.

Sau cùng, giá trị ngưỡng tối ưu của CFD hai kênh sẽ được tinh chỉnh dần trong quá trình đo cho tới khi đạt giá trị tối ưu. Giá trị này được lưu lại để sử dụng trong các lần đo tiếp theo nếu bia mẫu cần đo là không đổi.



Hình 2.13: Biểu đồ đánh giá sự chênh lệch số liệu thu được trên hai kênh năng lượng theo ngưỡng CFD hai kênh. Code màu biểu diễn tỷ số độ lệch, giá trị tỷ số độ lệch càng nhỏ thì lượng chênh lệch số liệu thu được trên hai kênh năng lượng càng nhỏ

Khối biến đổi thời gian ra biên độ (TAC)

TAC là một thành phần hết sức quan trọng trong hệ phổ kế trùng phùng của Viện NCHN. Nó vừa đóng vai trò điều khiển đóng mở ADC 7072 để ghi các sự kiện, vừa dùng để xác định khoảng thời gian chênh lệch giữa thời điểm khởi phát của hai xung. TAC Range quy định độ rộng cửa sổ trùng phùng của hệ, việc lựa chọn dải quá lớn sẽ là không cần thiết và làm tăng thời gian chết của hệ, trong khi đó dải TAC quá nhỏ sẽ làm đánh mất nhiều sự kiện có ích. Đối với hệ phổ kế trùng phùng của Viện NCHN cửa sổ TAC bằng 50 đến 100 ns thường được lựa chọn.

Chương 3

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả

Các Bảng 3.1 và 3.2 lần lượt liệt kê toàn bộ các cặp chuyển dời nội tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về các trạng thái cuối có năng lượng 97,8304 keV và 114,3126 keV. Như đã trình bày trong Chương 2, hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma của Viện nghiên cứu hạt nhân có độ phân giải thời gian giới hạn ở thang độ ns do đặc trưng mặt tăng xung không ổn định của các đầu dò bán dẫn siêu tinh khiết. Độ phân giải thời gian này là rất lớn khi so với thời gian sống của các trạng thái kích thích của hạt nhân (trừ một số trạng thái giả bền), do đó hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma không cho phép xác định thứ tự phát của một cặp phân rã gamma nội tầng. Để thuận tiện, với mỗi cặp nội tầng ta quy ước rằng các chuyển dời gamma phát ra do sự chuyển đổi từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về một trạng thái kích thích trung gian được gọi là chuyển dời sơ cấp, chuyển dời từ trạng thái trung gian về trạng thái cuối được gọi là chuyển dời sơ cấp. Để xác định được thứ tự của chuyển dời ta cần sử dụng các thông tin bổ sung từ thư viện số liệu hạt nhân. Trong luận văn này, học viên chọn sử dụng thư viện ENSDF [3] vì đây là một thư viện số liệu uy tín, được quản lý bởi Phòng thí nghiệm quốc gia Brookhaven, Hòa Kỳ. Cách thức để sắp xếp thứ tự của một chuyển dời nội tầng đơn giản như sau. Mỗi cặp chuyển dời nội tầng thu được có thể sắp xếp theo hai cách khác nhau, mỗi cách sắp xếp sẽ tương ứng với một trạng thái kích thích trung gian có năng lượng khác nhau. Cách sắp xếp nào cho nhiều thông tin phù hợp với dữ liệu trong thư viện ENSDF hơn sẽ được lựa chọn là một cách sắp xếp đúng. Giá trị thực nghiệm sẽ được coi là phù hợp với dữ liệu thực nghiệm nếu sai lệch giữa hai giá trị nhỏ hơn 2 keV hoặc nằm trong khoảng sai số tương ứng.

Bảng 3.1: Danh sách các chuyển dời nội tầng về trạng thái 97,8304keV.

E_1 (keV)	E_2 (keV)	E_i (keV)	$I_{\gamma\gamma}$
5434,8 (0,7)	530,3(0,8)	628,1 (0,8)	34 (7)
5245,4 (0,8)	719,7 (0,8)	817,5 (1,1)	27 (6)
5004,0 (1,0)	961,2 (1,0)	1058,9 (1,4)	25 (5)
4980,4 (0,8)	984,5 (0,8)	1082,5 (1,1)	42 (7)
4832,9 (0,7)	1132,3 (0,4)	1230,0 (0,8)	232 (16)
4793,2 (0,5)	1171,7 (0,8)	1269,7 (0,9)	82 (10)
4618,0 (0,5)	1346,9 (0,3)	1444,9 (0,5)	481 (23)
4582,6 (1,0)	1382,5 (0,8)	1480,3 (1,2)	115 (14)
4578,6 (1,0)	1386,4 (1,1)	1484,3 (1,4)	81 (13)
4536,7 (0,8)	1427,7 (1,0)	1526,2 (1,2)	65 (9)
4522,0 (0,9)	1443,2 (0,9)	1540,9 (1,2)	54 (8)
4483,2 (0,8)	1482,3 (0,8)	1579,7 (1,1)	32 (8)
4479,1 (1,1)	1486,4 (1,1)	1583,8 (1,5)	28 (7)
4456,2 (1,0)	1508,9 (1,0)	1606,7 (1,4)	52 (8)
4450,7 (1,7)	1514,4 (1,8)	1612,2 (2,4)	27 (6)
4443,7 (0,8)	1521,0 (1,0)	1619,2 (1,2)	34 (7)
4421,7 (0,9)	1543,4 (0,9)	1641,2 (1,2)	50 (8)

4366,4 (0,6)	1598,4 (0,5)	1696,5 (0,7)	138 (14)
4362,6 (1,4)	1602,5 (1,4)	1700,3 (1,9)	33 (8)
4331,5 (1,4)	1633,6 (1,4)	-	55 (16)
4328,6 (0,9)	1636,5 (0,8)	1734,3 (1,2)	99 (17)
4315,9 (0,4)	1649,1 (0,5)	1747,0 (0,6)	365 (29)
4313,0 (1,0)	1652,7 (1,6)	-	104 (23)
4235,4 (1,0)	1729,8 (1,1)	1827,5 (1,4)	45 (8)
4226,0 (0,9)	1738,6 (1,0)	-	42 (8)
4219,7 (0,5)	1745,0 (0,8)	1843,2 (0,9)	138 (15)
4183,1 (0,7)	1782,0 (0,7)	-	48 (8)
4158,1 (0,6)	1806,4 (0,8)	1904,8 (1,0)	114 (22)
4156,1 (1,6)	1809,0 (1,6)	1906,8 (2,2)	58 (20)
4150,0 (0,8)	1814,8 (0,8)	-	62 (10)

Bảng 3.2: Danh sách các chuyển dời nội tầng về trạng thái 114,3126keV.

E_1 (keV)	E_2 (keV)	E_i (keV)	$I_{\gamma\gamma}$
4914,3 (2,1)	1034,3 (2,1)	1148,6 (2,9)	44 (25)
4912,0 (0,7)	1036,6 (0,7)	1150,9 (0,9)	169 (29)
4793,2 (0,5)	1155,7 (0,3)	1269,7 (0,5)	601 (29)
4781,6 (0,3)	1167,2 (0,3)	1281,3 (0,4)	205 (17)
4536,7 (0,8)	1412,3 (0,6)	1526,2 (1,0)	111 (13)

4443,7 (0,8)	1505,3(0,7)	1619,2 (1,0)	73 (10)
4366,4 (0,6)	1582,6 (0,7)	1696,5 (0,9)	87 (11)
4315,9 (0,4)	1632,9 (0,3)	1747,0 (0,5)	989 (37)
4219,7 (0,5)	1729,0 (0,4)	1843,2 (0,6)	235 (20)
4158,1 (0,6)	1790,8 (0,5)	1904,8 (0,7)	188 (16)
<i>4150,0 (0,8)</i>	<i>1798,9 (0,8)</i>	-	<i>62 (10)</i>

Theo quy tắc trình bày ở trên, học viên đã sắp xếp được thứ tự cho 25 cặp chuyển dời tương ứng với trạng thái cuối 97,8304 keV và 10 cặp chuyển dời tương ứng với trạng thái cuối 114,3126 keV. Trong các Bảng 3.1 và 3.2, E_1 và E_2 là các ký hiệu tương ứng với chuyển dời sơ cấp và thứ cấp, E_i ký hiệu cho mức kích thích trung gian, và $I_{\gamma\gamma}$ là cường độ tương đối của cặp chuyển dời nối tầng. Các cặp chuyển dời nối tầng mà thứ tự của các chuyển dời gamma không thể được xác định được in nghiêng. Giá trị trong ngoặc là độ bất định thống kê của các giá trị đo. Các chuyển dời và mức kích thích phù hợp với dữ liệu thực nghiệm trong thư viện ENSDF được in đậm.

Các kết quả trong Bảng 3.1 và 3.2 cho thấy sự phù hợp rất tốt giữa kết quả thực nghiệm thu được với các dữ liệu trong thư viện số liệu ENSDF. Cụ thể trong Bảng 3.1, 25 trạng thái kích thích trung gian và 18 chuyển dời gamma sơ cấp đã được phát hiện là phù hợp với dữ liệu trong thư viện ENSDF. Tương tự, trong Bảng 3.2, 10 chuyển dời gamma sơ cấp và 10 mức kích thích trung gian phù hợp với dữ liệu trong thư viện ENSDF. Sự phù hợp tốt giữa số liệu thu được của luận văn với các giá trị đã biết trong thư viện, hay còn có nghĩa là các giá trị thu được từ các nghiên cứu tương tự hoặc các nghiên cứu dựa trên các kênh phản ứng và kỹ thuật đo khác, cho thấy sự tin cậy của các kết quả thực nghiệm trong luận văn.

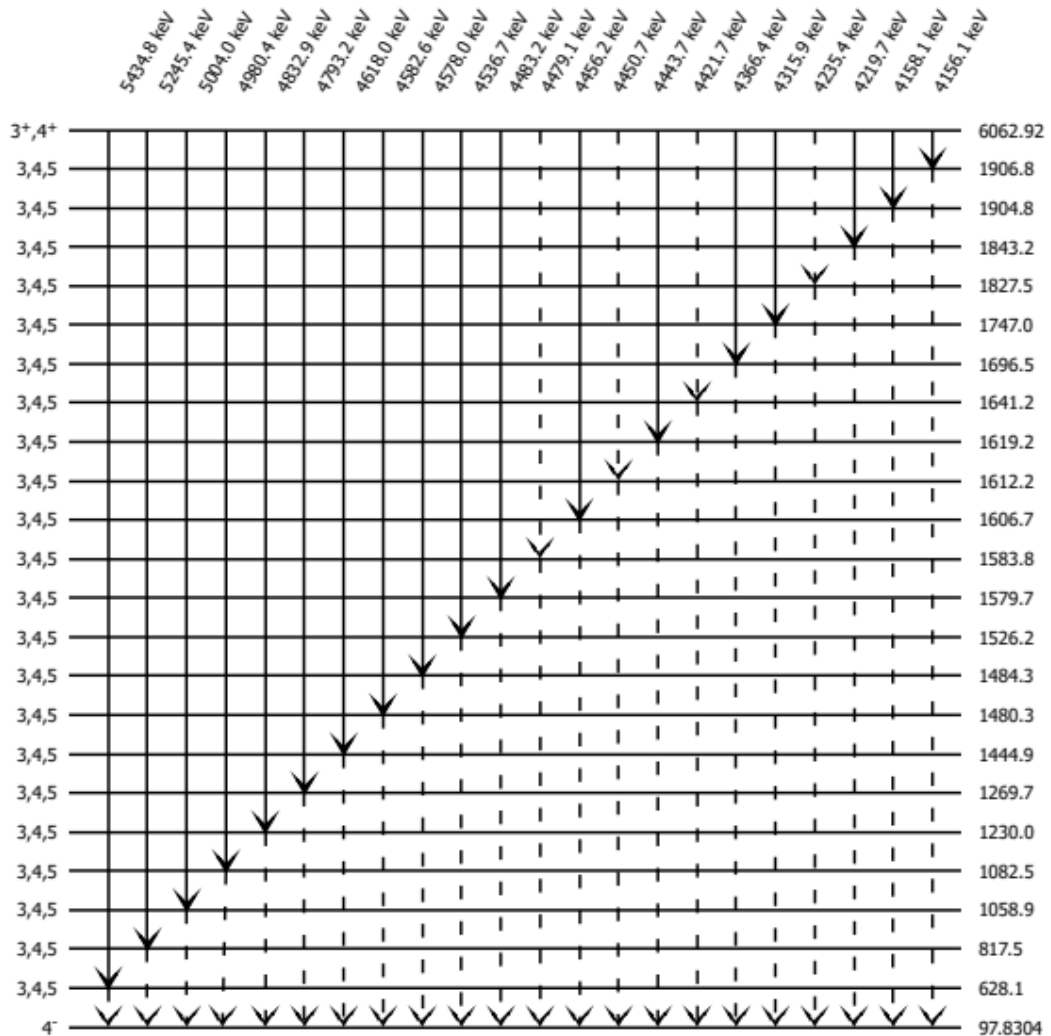
Bảng 3.3 so sánh chi tiết năng lượng và giá trị spin khả dĩ của các trạng thái kích thích phát hiện được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện Nghiên cứu hạt nhân với các giá trị tương ứng trong thư viện. Kết quả cho thấy sự phù hợp rất tốt giữa các giá trị spin đã xác định trong thư viện với dải spin khả dĩ trong nghiên cứu này.

Bảng 3.3: So sánh năng lượng và spin của các trạng thái kích thích ghi nhận được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta tại Viện Nghiên cứu hạt nhân với các giá trị lưu trữ trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF.

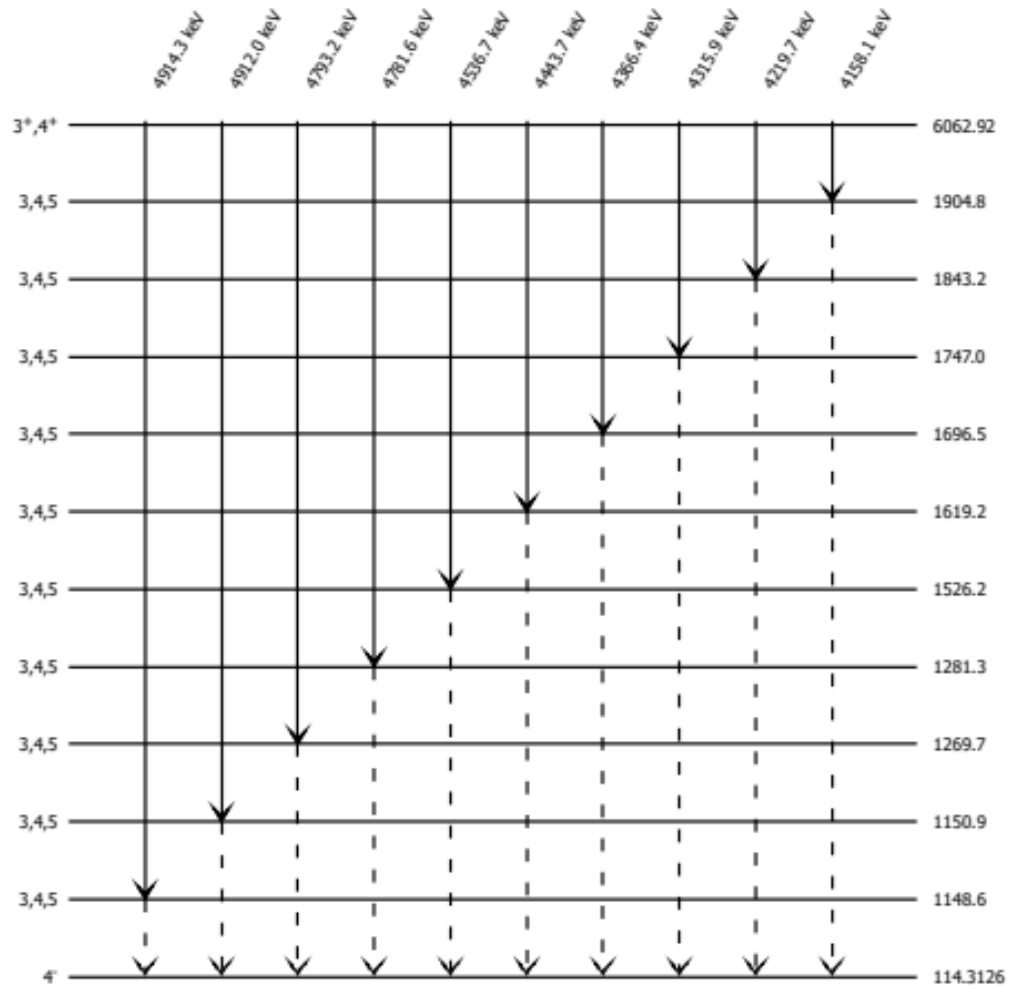
Nghiên cứu này		ENSDF	
Năng lượng (keV)	Spin (\hbar)	Năng lượng (keV)	Spin (\hbar)
628,1	(3,4,5)	628,425	5 ⁻
817,5	(3,4,5)	817,021	4 ⁻
1058,9	(3,4,5)	1057,3	3 ⁻ , 4 ⁻
1082,5	(3,4,5)	1082	3 ⁻ , 4 ⁻
1230,0	(3,4,5)	1229,7	3 ⁻ , 4 ⁻
1269,7	(3,4,5)	1269,5	3 ⁻ , 4 ⁻
1444,9	(3,4,5)	1445,1	3 ⁻ , 4 ⁻
1480,3	(3,4,5)	1479,7	3 ⁻ , 4 ⁻
1484,3	(3,4,5)	1482,9	
1526,2	(3,4,5)	1527,1	3 ⁻ , 4 ⁻
1540,9	(3,4,5)	1541,7	3 ⁻ , 4 ⁻
1579,7	(3,4,5)	1579,8	
1583,8	(3,4,5)	1582,3	3 ⁻ , 4 ⁻

1606,7	(3,4,5)	1604,9	3 ⁻ ,4 ⁻
1612,2	(3,4,5)	1612	3 ⁻ ,4 ⁻
1619,2	(3,4,5)	1617,5	3 ⁻ ,4 ⁻
1641,2	(3,4,5)	1641,8	3 ⁻ ,4 ⁻
1696,5	(3,4,5)	1695,4	3 ⁻ ,4 ⁻
1700,3	(3,4,5)	1701,1	3 ⁻ ,4 ⁻
1734,3	(3,4,5)	1734,1	3, 4
1747,0	(3,4,5)	1746,5	3 ⁻ ,4 ⁻
1827,5	(3,4,5)	1827	
1843,2	(3,4,5)	1843	
1904,8	(3,4,5)	1905	
1906,8	(3,4,5)	1905	
1148,6	(3,4,5)	1150,4	3 ⁻ ,4 ⁻
1150,9	(3,4,5)	1150,4	3 ⁻ ,4 ⁻
1269,7	(3,4,5)	1269,5	3 ⁻ ,4 ⁻
1281,3	(3,4,5)	1279,8	3 ⁻ ,4 ⁻
1526,2	(3,4,5)	1527,1	3 ⁻ ,4 ⁻
1619,2	(3,4,5)	1617,5	3 ⁻ ,4 ⁻
1696,5	(3,4,5)	1695,4	3 ⁻ ,4 ⁻
1747	(3,4,5)	1746,5	3 ⁻ ,4 ⁻
1843,2	(3,4,5)	1843	
1904,8	(3,4,5)	1905	

Hầu hết các trạng thái trung gian thu được có độ chẵn lẻ $-$, trong khi đó trạng thái hợp phần 6062,92 keV có độ chẵn lẻ $+$, do đó các chuyển dời sơ cấp sẽ có xu hướng là các chuyển dời lưỡng cực điện $E1$. Hai trạng thái 97,8304 và 114,3126 keV đều có độ chẵn lẻ $-$ do đó có xu hướng là các chuyển dời lưỡng cực từ $M1$.



Hình 3.1: Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nổi tảng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cơ bản và trạng thái 97,8304 keV



Hình 3.2: Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nổi bật từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cơ bản và trạng thái 114,3126 keV.

3.2. Thảo luận

Toàn bộ các kết quả thực nghiệm thu được được tổng hợp trong các Hình 3.1 và 3.2, các đường kẻ ngang và mũi tên đứt nét tương ứng với các mức kích thích và các chuyển dời gamma hiện chưa được cập nhật trong thư viện số liệu ENSDF. Mặc dù để có thể hoàn toàn khẳng định tính mới của các dữ liệu này, nhiều thí nghiệm kiểm chứng và các phân tích độc lập khác cần được tiến hành.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Thông qua quá trình tham gia thực nghiệm tại Viện nghiên cứu hạt nhân, xử lý số liệu, và viết luận văn, học viên đã thực hành được các kiến thức đã được học trong chương trình cao học. Cụ thể, học viên đã tham gia vào thực nghiệm trên kênh ngang số ba của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và vận hành hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma. Học viên cũng tiến hành xử lý số liệu thực nghiệm thu được bằng các phần mềm xử lý số liệu chuyên dụng.

Các kết quả khoa học chính thu được trong luận văn bao gồm:

- Xác định được 30 cặp chuyển dời nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV của ^{182}Ta về trạng thái 97,8304 keV;
- Xác định được 11 cặp chuyển dời nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV của ^{182}Ta về trạng thái 114,3126 keV;
- Đánh giá được dải spin khả dĩ và so sánh với thư viện ENSDF cho 35 trạng thái kích thích.
- Sắp xếp được thứ tự của 35 cặp chuyển dời nổi tầng và xây dựng được sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta từ các số liệu thực nghiệm thu được.

KIẾN NGHỊ

Dữ liệu thực nghiệm thu được có sự phù hợp tốt với các giá trị trong thư viện ENSDF. Các dữ liệu ghi nhận được trong thí nghiệm có độ tin cậy cao, do đó có thể được coi là các dữ liệu mới để cập nhật vào thư viện ENSDF. Tuy nhiên, để có thể hoàn toàn tin cậy, ta cần tiến hành thêm các thí nghiệm kiểm chứng độc lập cũng như các phân tích đánh giá thống kê.

Tài liệu tham khảo

1. J. P. Elliott, A. M. Lane, 1957, The Nuclear Shell-Model, Springer Berlin Heidelberg, *Berlin, Heidelberg*, pp. 241– 410.
2. K. S. Krane, 1991, Introductory nuclear physics, *John Wiley & Sons*.
3. <https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>. [1/4/2023]
4. J. M. Blatt, V. F. Weisskopf, 1991, Theoretical nuclear physics, *Courier Corporation*.
5. [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Nuclear_and_Particle_Physics/Book%3A_Introduction_to_Applied_Nuclear_Physics_\(Cappellaro\)](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Nuclear_and_Particle_Physics/Book%3A_Introduction_to_Applied_Nuclear_Physics_(Cappellaro)). [1/4/2023]
6. G. F. Knoll, 2010, Radiation detection and measurement, *John Wiley & Sons*.
7. B. Singh, 2015, Nuclear data sheets for $A = 182$, *Nuclear Data Sheets*, 130, pp. 21– 126.
8. M. Wang, W. Huang, F. Kondev, G. Audi, S. Naimi, 2021, The AME 2020 atomic mass evaluation (II). tables, graphs and references, *Chinese Physics C*, 45(3), pp. 030003.
9. <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>. [1/4/2023]
10. S.-C. Wu, 2005, Nuclear data sheets for $A = 181$, *Nuclear Data Sheets* 106 (3), pp. 367–600.
11. R. Capote, M. Herman, P. Obložinský, P. Young, S. Goriely, T. Belgya, A. Ig- natyuk, A. Koning, S. Hilaire, V. Plujko, M. Avrigeanu, O. Bersillon, M. Chad- wick, T. Fukahori, Z. Ge, Y. Han, S. Kailas, J. Kopecky, V. Maslov, G. Reffo, M. Sin, E. Soukhovitskii, P. Talou, 2009, Reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations, *Nuclear Data Sheets*, 110(12), pp. 3107–3214.
12. I. Ahmad, J. P. Greene, E. F. Moore, W. Kutschera, C.

- Vockenhuber, 2004, Absolute intensities of γ rays in ^{182}Hf decay, *Physical Review C*, 70, pp. 047301.
13. R. G. Helmer, R. C. Greenwood, C. W. Reich, 1971, Level structure of ^{182}Ta , *Nuclear Physics A*, 168, 449.
 14. T. E. Ward, P. E. Haustein, J. B. Cumming, Y. Y. Chu, Decay of the $K\pi = 8^-$ isomer in ^{182}Hf , *Physical Review C* 10 (1974) 1983.
 15. D. D. Clark, W. F. Stabenau, 1968, Determination of the multipolarity of the 0.3-sec Ta^{182} isomeric transition by its L X-ray pattern alone, *Physical Review Letters*, 21, 925.
 16. M. L. Sehgal, R. K. Y. Singh, R. E. Chrien, C. Chung, 1986, Thermal neutron isomeric cross-section ratio in ^{181}Ta , *Radiation Effects*, 95, 165.
 17. J. M. Van den Cruyce, G. Vandenput, L. Jacobs, P. H. M. Van Assche, H. A. Baader, D. Breitig, H. R. Koch, J. K. Alksnis, J. J. Tambergs, M. K. Balodis, P. T. Prokofjev, W. Delang, P. Gottel, H. Seyfarth, 1979, Nuclear levels in the doubly odd ^{182}Ta nucleus, *Physical Review C*, 20, 504.
 18. W. Andrejtscheff, P. Manfrass, W. Seidel, 1974, Transition probabilities in the doubly odd nuclei ^{176}Lu and ^{182}Ta , *Nuclear Physics A*, 226, 142.
 19. O. A. Wasson, R. E. Chrien, M. A. Lone, M. R. Bhat, M. Beer, Resonance neutron capture in $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)^{182}\text{Ta}$, *Nuclear Physics A*, 132, 161.
 20. P. Riehs, H. P. Axmann, J. Murray, B. W. Thomas, 1972, Low-energy γ -rays from resonance neutron capture in $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)^{182}\text{Ta}$, *Nuclear Physics A*, 198, 430.
 21. N. A. Burgov, G. V. Danilyan, I. Z. Efimov, O. D. Kazachkovskii,

- V. S. Pavlov, 1970, Spectra of γ rays from capture of resonance neutrons by Rh, Ta and Au nuclei, *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Matematicheskaya*, 34, 89.
22. M. L. Stelts, J. C. Browne, 1977, Gamma-ray spectra from capture of 2-eV to 3-keV neutrons by ^{181}Ta , *Physical Review C*, 16, 574.
 23. R. Pourimani, U. Olejniczak, Y. P. Popov, M. Przytula, R. Wojtkiewicz, 2002, Resonance capture γ -ray spectrometry at lead slowing-down neutron spectrometer, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 488, 226.
 24. L. M. Bollinger, J. R. Erskine, 1973, G. E. Thomas, *private Communication*.
 25. J. R. Erskine, W. W. Buechner, The $\text{Ta}^{181}(\text{d}, \text{p})\text{Ta}^{182}$ reaction and a band-mixing analysis of the observed energy levels, *Physics Review*, 133(B370).
 26. C. W. Reich, R. G. Helmer, R. C. Greenwood, 1971, Coriolis coupling in doubly odd deformed nuclei: The $1/2[510]$ and $3/2[512]$ neutron states in ^{182}Ta , *Nuclear Physics A* 168, 487.
 27. N. A. Nguyen, X. H. Nguyen, D. K. Pham, Q. H. Nguyen, H. T. Ho, 2017, Updated level scheme of ^{172}Yb from $^{171}\text{Yb}(\text{n}_{\text{th}}, \gamma)$ reaction studied via gamma–gamma coincidence spectrometer, *Nuclear Physics A*, 964, tr. 55–68.
 28. N. Ngoc Anh, N. Quang Hung, N. Xuan Hai, P. Dinh Khang, A. M. Sukhovej, L. V. Mitsyna, H. Huu Thang, L. Hong Khiem, 2019, Level scheme of ^{153}Sm obtained from the $^{152}\text{Sm}(\text{n}_{\text{th}}, \gamma)$ reaction using a $\gamma - \gamma$ coincidence spectrometer, *Physical Review C*, 100, pp. 024324.
 29. N. K. Uyen, K. Y. Chae, N. N. Duy, S. M. Cha, M. Kwag, D. Kim, N. Q. Hung, P. D. Khang, N. X. Hai, H. H. Thang, et al.,

- 2021 Level scheme of ^{164}Dy obtained from ^{163}Dy ($n_{th}, 2\gamma$) experiment, *Nuclear Physics A*, 1007, pp. 122136.
30. O. Simpson, L. Miller, 1968, A technique to measure neutron cross sections in the low keV energy region, *Nuclear Instruments and Methods*, 61 (3), pp. 245–250.
 31. R. Greenwood, R. Chrien, 1976, Filtered reactor beams for fast neutron capture γ -ray experiments, *Nuclear Instruments and Methods*, 138(1), pp125–143.
 32. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>. [1/4/2023]
 33. N. N. Anh, 2018, Experimental study on level structure of excited ^{172}Yb and ^{153}Sm nuclei using neutron beam from Dalat nuclear research reactor, *Vietnam Atomic Energy Institute*.
 34. P. D. Khang, N. Hai, V. Tan, N. Dien, 2011, Gamma–gamma coincidence spectrometer setup for neutron activation analysis and nuclear structure studies, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 634(1), 47.