

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Đinh Thị Tường Quy

**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 0.0 KeV (3^-) VÀ 16.273 KeV (5^+) TRÊN LÒ PHẢN
ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH VẬT LÝ

Khánh Hòa -2022

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Đinh Thị Tường Quy

Chuyên ngành: Vật lí 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 0.0 KeV (3^-) VÀ 16.273 KeV (5^+) TRÊN LÒ PHẢN
ỨNG HẠT NHÂN ĐÀ LẠT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

TS. Nguyễn Ngọc Anh

Khánh Hòa - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi dưới sự hướng dẫn của **TS. NGUYỄN NGỌC ANH**. Các số liệu và kết quả trong luận văn là hoàn toàn trung thực và chưa từng được công bố trong bất kì công trình nào khác. Những kênh thông tin tham khảo trích dẫn trong luận văn đều được chú thích đầy đủ. Tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm về sự cam đoan này.

Hà Nội, ngày 28 tháng 09 năm 2022

NGƯỜI THỰC HIỆN LUẬN VĂN

Đinh Thị Tường Quy

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận văn này tôi đã nhận được rất nhiều sự quan tâm giúp đỡ từ phía nhà trường, các đồng nghiệp, gia đình và bạn bè.

Tôi xin chân thành cảm ơn giáo viên hướng dẫn là TS. Nguyễn Ngọc Anh đã tận tình, quan tâm, giúp đỡ, tạo điều kiện để tôi hoàn thành luận văn này.

Tôi xin chân thành cảm ơn phòng Đào tạo, Học viện Khoa học và Công nghệ cùng với tất cả các thầy giáo, cô giáo và cán bộ nhân viên khoa Vật lý...

Xin chân thành cảm ơn

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Sơ đồ mức riêng phần của hạt nhân ^{60}Ni	6
Hình 1.2. Ảnh chụp màng hình một phần sơ đồ mức hạt nhân của ^{60}Ni biểu diễn dưới dạng bảng số liệu của thư viện ENSDF	8
Hình 1.3. So sánh sự phức tạp của phổ gamma thu được với các phân bố cường độ gamma khác nhau. (a) Phổ gamma thu được khi đo nguồn hỗn hợp $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$. (b) Phổ gamma thu được khi đo sự giải thích thích của ^{36}Cl tạo ra phản ứng $^{35}\text{Cl} (n, \gamma) ^{36}\text{Cl}$	14
Hình 1.4. Một phần sơ đồ mức của ^{182}Ta xác định từ kênh phản ứng (n, γ) sử dụng neutron nhiệt	19
Hình 2.1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân.....	22
Hình 2.2. Tỷ lệ gamma truyền qua bề dày chì 10cm ở các năng lượng gamma nhỏ hơn 20MeV	24
Hình 2.3. Sơ đồ khối của hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân.....	27
Hình 2.4. Một phần phổ tổng thu được thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta . Các đỉnh tương ứng với các chuyển dời nổi tầng về trạng thái cơ bản và 16,273 KeV được đánh dấu theo năng lượng của trạng thái cuối	31
Hình 2.5. Phổ phân rã gamma nổi tầng của ^{182}Ta từ trạng thái hợp phần 6062,94 KeV về các trạng thái cuối: (a) 0 KeV và (b) 16,273 KeV.....	33
Hình 2.6. Hiệu suất ghi trùng phùng tương đối của hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân (đơn vị tùy ý).....	34
Hình 3.1. Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nổi tầng trạng thái hợp phần 6062,92 KeV về trạng thái cơ bản và trạng thái 16,273 KeV	47

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Phân loại chuyển dời gamma theo bậc đa cực và độ chẵn lẻ.....	10
Bảng 1.2. Các kênh phân rã và phản ứng được sử dụng để nghiên cứu sơ đồ mức ^{182}Ta	16
Bảng 2.1. Các trường hợp mà hệ phổ kế trùng phùng sẽ ghi lại.....	29
Bảng 3.1. Danh sách các chuyển dời nội tầng về trạng thái cơ bản. Giải thích chi tiết các thành phần trong bảng được trình bày trong chương 3 của luận văn.....	37
Bảng 3.2. Danh sách các chuyển dời nội tầng về trạng thái 16,273 KeV.....	39
Bảng 3.3. So sánh năng lượng và spin của trạng thái kích thích ghi nhận được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nội tầng của ^{182}Ta tại Viện nghiên cứu hạt nhân với các giá trị lưu trữ trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF.....	41
Bảng 3.4. Đánh giá độ chuyển dời một số chuyển dời gamma ghi nhận được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nội tầng của ^{182}Ta tại Viện nghiên cứu hạt nhân. E_γ là năng lượng của chuyển dời gamma, $E_i, J_i^\pi, E_f, J_f^\pi$ là năng lượng, spin và độ chẵn lẻ của các trạng thái đầu và trạng thái cuối tương ứng.....	45

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

ENSDF	Evaluated Nuclear StructureDataFile
RIPL	References Input Parameter Library
ADC	Analog to Digital Converter
TFA	Timing Filter Amplifier
CFD	Constant Fraction Discriminator
TAC	Time to Amplitude Converter

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1. Cơ sở lý thuyết.....	5
1.1.1. Sơ đồ mức hạt nhân	5
1.1.2. Phân loại chuyển dời gamma	9
1.1.3. Phản ứng (n, γ)	10
1.1.4. Tương tác của gamma với vật chất.....	12
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

2.1. Thí nghiệm đo phân rã gamma nội tầng.....	21
2.2. Phổ kế trùng phùng gamma-gamma.....	25
2.3. Phương pháp xác định phân rã gamma nội tầng.....	26

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả	36
3.2. Thảo luận.....	46

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận.....	49
4.2. Kiến nghị.....	50

TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	51
-------------------------	----

MỞ ĐẦU

Hơn một trăm năm trước, vào năm 1911, nhà vật lý sinh ra ở New Zealand, Ernest Rutherford, đã đề xuất một mô hình để mô tả cấu trúc của nguyên tử, ngày nay thường được gọi tên là mô hình Rutherford [1]. Mô hình Rutherford mô tả nguyên tử bao gồm một lõi có kích thước rất nhỏ so với kích thước của nguyên tử, tập trung hầu hết khối lượng của nguyên tử và mang điện tích dương, trong khi đó các hạt mang điện tích âm có khối lượng rất nhỏ, được gọi là các electron, chuyển động rất nhanh xung quanh lõi hạt nhân tương tự chuyển động của các hành tinh xung quanh mặt trời. Ernest Rutherford cũng đồng thời phát hiện ra sự tồn tại của các proton bên trong hạt nhân. Đến năm 1932, James Chadwick phát hiện ra neutron [2]. Kể từ đó, mỗi hạt nhân cụ thể được coi như là một hệ hạt gồm N neutron và Z proton liên tục chuyển động và tương tác với nhau theo một cách nào đó để chúng liên kết được với nhau. Neutron và proton được gọi chung là nucleon, số nucleon của một hạt nhân hay còn gọi là số khối hạt nhân được ký hiệu là A , với $A = N + Z$. Trên cơ sở lý thuyết về tương tác mạnh (hay còn gọi là tương tác hạt nhân), tương tác yếu, cơ học lượng tử và một số mô hình hạt nhân (nuclear model), một số đặc trưng hạt nhân có thể được giải thích và tiên đoán.

Một trong các hiện tượng quan sát được trong thế giới hạt nhân nguyên tử là sự kích thích và giải kích thích của các hạt nhân, kèm theo đó là sự phát ra các tia gamma, còn được biết tới với tên gọi là các chuyển dời gamma. Điều đặc biệt là hạt nhân không bị kích thích ở bất cứ năng lượng nào, mà chỉ có thể bị kích thích ở các năng lượng nhất định. Các năng lượng này được gọi là các mức kích thích hạt nhân. Bên cạnh năng lượng thì các mức kích thích cũng được đặc trưng bởi xung lượng góc và tính đối xứng của hàm sóng mô tả hạt nhân. Các đặc trưng này được gọi là spin và độ chẵn lẻ của hạt nhân. Ở vùng năng lượng kích thích thấp, thường khoảng dưới, mật độ các mức kích thích hạt nhân trên một khoảng năng lượng xác định là nhỏ, do đó khoảng cách trung bình giữa các mức kích thích lớn hơn nhiều so với độ phân giải của các phổ kế bán dẫn siêu tinh

khiết (HPGe) thường được sử dụng để ghi đo gamma. Do vậy, các nhà vật lý cho rằng, ở dưới một ngưỡng năng lượng xác định, chúng ta có thể xác định được tất cả các mức kích thích khả dĩ của hạt nhân, cũng như spin và độ chẵn lẻ của các mức đó. Các chuyển dời gamma xuất hiện mỗi khi hạt nhân biến đổi từ mức kích thích này sang mức kích thích khác cũng có thể được xác định kèm theo bậc đa cực và loại của chuyển dời. Sơ đồ mức hạt nhân đầy đủ sẽ là thông tin thực nghiệm quan trọng, để từ đó xác định các mô hình mô tả cấu trúc của hạt nhân. Sơ đồ mức hạt nhân đầy đủ và chính xác cho tất cả các hạt nhân là mục tiêu được đề ra trong nhiều chương trình nghiên cứu số liệu của các phòng thí nghiệm lớn trên thế giới ví dụ như Brookhaven National Laboratory (Mỹ) [3] hay các chương trình thu thập và đánh giá số liệu của cơ quan nguyên tử năng thế giới (International Atomic Energy Agency) [4]. Có nhiều phương pháp khác nhau để nghiên cứu sơ đồ mức hạt nhân.

Tuy nhiên về cơ bản, phần lớn các phương pháp đều xây dựng sơ đồ mức dựa trên việc ghi nhận các bức xạ gamma phát ra khi hạt nhân chuyển từ trạng thái kích thích có năng lượng cao về trạng thái kích thích có năng lượng thấp hơn hoặc trạng thái cơ bản. Để làm được điều này, trước hết phải tìm được cách tạo ra các hạt nhân ở trạng thái kích thích, sau đó đo các bức xạ phát ra trong quá trình giải kích thích của hạt nhân và từ các dữ liệu thu thập được sắp xếp một cách hợp lý để xác định sơ đồ mức hạt nhân. Trên thực tế, không có phương pháp nào có thể xác định một cách đầy đủ các mức kích thích hạt nhân, do vậy để có được sơ đồ mức hạt nhân đầy đủ, chúng ta cần phải kết hợp dữ liệu thu thập được thông qua nhiều kênh dữ liệu khác nhau [4].

Một trong các kênh thí nghiệm quan trọng khi nghiên cứu sơ đồ mức hạt nhân là thí nghiệm đo gamma phát ra từ hạt nhân kích thích tạo ra bởi phản ứng bắt neutron phát gamma (n,γ). Đề tài của luận văn này nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta dựa trên cơ sở đo phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần gây bởi phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ về trạng thái cơ bản và trạng thái kích thích thứ nhất (trạng thái 16,273 keV) sử

dụng hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma và kênh neutron nhiệt tại Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Luận văn được cấu trúc thành ba chương. Chương 1 trình bày các cơ sở lý thuyết cần thiết và tổng quan tình hình nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta . Chương 2 mô tả và cung cấp các thông tin thực nghiệm. Phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm để xác định sơ đồ mức từ số liệu phân rã gamma nối tầng, thực nghiệm cũng được trình bày trong Chương 2. Chương 3 thảo luận các kết quả thu được. Chương 4 đưa ra kết luận và kiến nghị.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1 CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Luận văn nghiên cứu phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phần 6092,93 keV của hạt nhân ^{182}Ta về trạng thái cơ bản và trạng thái kích thích 16,273 keV. Phân rã gamma nối tầng có thể được hiểu như một dạng sơ đồ mức riêng phần, chính vì vậy một số kiến thức cơ bản liên quan đến sơ đồ mức hạt nhân và cơ chế chuyển dời giữa các mức kích thích sẽ được trình bày. Cơ sở lý thuyết về phản ứng bắt neutron phát gamma (n,γ) và tương tác của gamma với vật chất cũng được trình bày. Các kiến thức này là cần thiết để hiểu và thực hiện thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng sử dụng phổ kế trùng phùng $\gamma - \gamma$ ghi sự kiện - sự kiện. Các nội dung được trình bày trong phần 1.1 là tóm lược của các kiến thức vật lý hạt nhân cơ bản, chi tiết của các nội dung này có thể được tìm thấy trong nhiều tài liệu tham khảo khác nhau, đặc biệt là các sách giáo khoa về vật lý hạt nhân như các tài liệu [5-7].

1.1.1. Sơ đồ mức hạt nhân

Tương tự như nguyên tử, hạt nhân cũng có các mức năng lượng kích thích gián đoạn mà vị trí và đặc trưng của chúng bị chi phối bởi các quy tắc của cơ học lượng tử. Giản đồ sắp xếp các mức kích thích theo năng lượng tăng dần cùng với các đặc trưng lượng tử của chúng được gọi là sơ đồ mức hạt nhân.

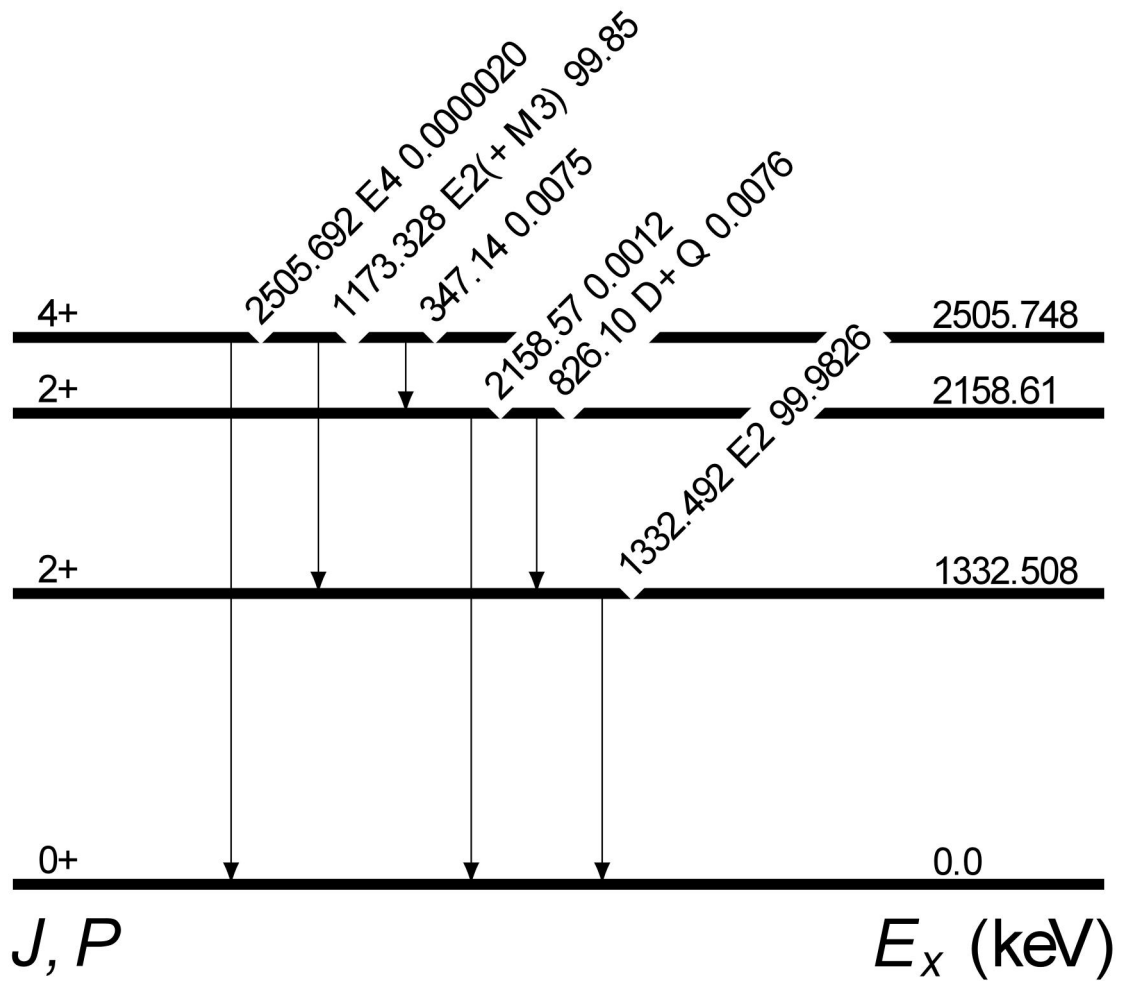
Các đặc trưng lượng tử tiêu biểu thường gặp trong sơ đồ mức hạt nhân bao gồm năng lượng của trạng thái kích thích E_x , xung lượng góc toàn phần (hay còn được gọi ngắn gọn là spin) J , độ chẵn lẻ (P). Spin của hạt nhân chẵn (có số khối A là một số chẵn) là một số nguyên (1, 2, ...), còn spin của các hạt nhân lẻ (có số khối A là một số lẻ) là một số bán nguyên ($\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$). Spin hạt nhân có đơn vị là \hbar ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$, với h là hằng số Planck). Độ chẵn lẻ P của một nucleon được định nghĩa như sau:

$$\psi(x) = \psi(-x) \rightarrow P = +,$$

$$\psi(x) = -\psi(-x) \rightarrow P = -, \quad (1.1)$$

với ψ là hàm sóng đặc trưng của các nucleon trong hạt nhân và 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 ,

$$P = \prod_i P_i \quad (1.2)$$



Hình 1.1: Sơ đồ mức riêng phần của hạt nhân ^{60}Ni .

Hình 1.1 là một ví dụ minh họa về sơ đồ mức hạt nhân. Trong đó, các trạng thái (mức) kích thích được đại diện bởi các đường kẻ nằm ngang. Năng lượng của trạng thái kích thích được ghi ở phía bên phải của mỗi

đường kẻ ngang đặc trưng, còn spin và độ chắn lẻ được ghi ở phía bên trái của các đường kẻ ngang đặc trưng. Sự chuyển đổi của hạt nhân từ trạng thái này sang trạng thái khác được biểu diễn bằng các mũi tên theo trục dọc. Để thỏa mãn định luật bảo toàn năng lượng, mỗi sự chuyển trạng thái của hạt nhân sẽ phát ra tia gamma có năng lượng bằng chênh lệch năng lượng giữa hai trạng thái kích thích đầu và cuối. Trong hình 1.1, năng lượng của các chuyển dời được viết ở đầu mũi tên cùng với loại chuyển dời và cường độ của các chuyển dời đó. Trong thực tế, sơ đồ mức hạt nhân thường rất phức tạp và do đó việc biểu diễn sơ đồ mức hạt nhân dưới dạng một hình ảnh như trong Hình 1.1 là không hiệu quả. Thay vào đó người ta thường lưu trữ và biểu diễn sơ đồ mức hạt nhân dưới dạng bảng số liệu. Hình 1.2 minh họa cho cách biểu diễn này.

^{60}Co β^- decay (1925.28 d) (continued) $\gamma(^{60}\text{Ni})$

A possible γ of 467 keV with $I_\gamma < 0.0004\%$ (1969Va20) and < 0.00023 (1976Ca18) from the known level at 2626 keV to the 2158 level is not included here. At the lower intensity limit, the I_β to the 2626 level would be $< 0.001\%$.

E_γ ‡	I_γ #a	E_i (level)	J_i^π	E_f	J_f^π	Mult. @	δ @	α †&	Comments
347.14 7	0.0075 4	2505.748	4 ⁺	2158.612	2 ⁺	[E2]		0.00557 8	$\alpha=0.00557$ 8; $\alpha(K)=0.00499$ 7; $\alpha(L)=0.000503$ 7; $\alpha(M)=7.06 \times 10^{-5}$ 10; $\alpha(N+..)=2.90 \times 10^{-6}$ 4 $\alpha(N)=2.90 \times 10^{-6}$ 4 I_γ : from consideration of < 0.005 (1955Wb44), 0.0078 12 (1969Va20), < 0.006 (1970Di01), 0.00758 50 (1976Ca18), and 0.0069 10 (1977Lo01).
826.10 3	0.0076 8	2158.612	2 ⁺	1332.508	2 ⁺	M1+E2	+0.9 3	0.000337 18	$\alpha=0.000337$ 18; $\alpha(K)=0.000303$ 17; $\alpha(L)=2.97 \times 10^{-5}$ 17; $\alpha(M)=4.18 \times 10^{-6}$ 23; $\alpha(N+..)=1.80 \times 10^{-7}$ 1 $\alpha(N)=1.80 \times 10^{-7}$ 10 I_γ : from 1976Ca18; others: 0.0055 47 (1969Va20) and 0.003 2 (1972Le14).
1173.228 3	99.85 3	2505.748	4 ⁺	1332.508	2 ⁺	E2(+M3)	-0.0025 22	0.0001722 25	$\alpha=0.0001722$ 25; $\alpha(K)=0.0001500$ 21; $\alpha(L)=1.465 \times 10^{-5}$ 21; $\alpha(M)=2.06 \times 10^{-6}$ 3 $\alpha(N)=8.88 \times 10^{-8}$ 13; $\alpha(IPF)=5.42 \times 10^{-6}$ 8 I_γ : from $I_\gamma(1173)=(I_\beta(2505) - I_\gamma(347))[1.0 + \alpha(347)] - I_\gamma(2505)[1.0 + \alpha(2505)] / [1.0 + \alpha(1173) + \alpha_\pi(1173)] = 99.87$ 3 / 1.000174 4. δ : from 1980Kr05. α : from 1985HaZA evaluation of measured values; from theory (1976Ba63) $\alpha=1.65 \times 10^{-4}$, $\alpha_K=1.50 \times 10^{-4}$, and $\alpha_L=1.48 \times 10^{-5}$ 4. α : $\alpha_\pi=6.2 \times 10^{-6}$ 7 interpolated from theoretical values of 1979Sc31; this value is negligible since it is only about 5% of the corresponding α .
1332.492 4	99.9826 6	1332.508	2 ⁺	0.0	0 ⁺	E2		0.0001625 23	$\alpha=0.0001625$ 23; $\alpha(K)=0.0001137$ 16; $\alpha(L)=1.108 \times 10^{-5}$ 16; $\alpha(M)=1.560 \times 10^{-6}$ 22 $\alpha(N)=6.73 \times 10^{-8}$ 10; $\alpha(IPF)=3.61 \times 10^{-5}$ 5 I_γ : from $I_\gamma(1332)=(100.00 - I_\gamma(2158))[1.0 + \alpha(2158)] - I_\gamma(2505)[1.0 + \alpha(2505)] / [1.0 + \alpha(1332) + \alpha_\pi(1332)] = 99.9988$ 2 / 1.000162 6. In the evaluation 1991BaZS, this is computed in the same fashion, but is given as 99.983% 6; the origin of the larger uncertainty is not clear. α : α and α_K from 1985HaZA evaluation of measured values; from theory (1976Ba63) $\alpha=1.25 \times 10^{-4}$, $\alpha_K=1.14 \times 10^{-4}$, and $\alpha_L=1.13 \times 10^{-5}$. α : $\alpha_\pi=3.4 \times 10^{-5}$ 4 interpolated from theoretical values of 1979Sc31; 3.0×10^{-5} 3 (1994GrZW).

Hình 1.2: Ảnh chụp màn hình một phần sơ đồ mức hạt nhân của ^{60}Ni biểu diễn dưới dạng bảng số liệu của thư viện ENSDF [8].

1.1.2. Phân loại chuyển dời gamma

Chuyển dời gamma xuất hiện khi hạt nhân chuyển từ một trạng thái kích thích có năng lượng cao về một trạng thái kích thích có năng lượng thấp. Xét hai trạng thái, gọi tên là trạng thái ban đầu (i) và trạng thái cuối (f) có năng lượng, spin và độ chẵn lẻ lần lượt là (E_i, J_i, P_i) và (E_f, J_f, P_f) . Theo các định luật bảo toàn năng lượng, chuyển dời gamma tương ứng giữa sự chuyển từ trạng thái (i) về trạng thái (f) của hạt nhân sẽ có các đặc trưng như sau:

$$E_\gamma = E_i - E_f, \quad (1.3)$$

$$\vec{L}_\gamma = \vec{J}_i - \vec{J}_f, \quad (1.4)$$

$$P_\gamma = P_i P_f. \quad (1.5)$$

Phương trình 1.4 cho thấy L_γ chỉ có thể nhận các giá trị như sau:

$$L_\gamma = |J_i - J_f|, \dots, J_i + J_f. \quad (1.6)$$

L_γ được gọi là bậc đa cực của chuyển dời gamma. Theo quy ước các chuyển dời có $L = 1$ được gọi là các chuyển dời lưỡng cực, $L = 2$ là các chuyển dời tứ cực, $L = 3$ là các chuyển dời bát cực.

Các chuyển dời có bậc đa cực lẻ và độ chẵn lẻ + hoặc có bậc đa cực chẵn và độ chẵn lẻ - được gọi là các chuyển dời từ (ký hiệu là M), các chuyển dời có bậc đa cực chẵn và độ chẵn lẻ + hoặc có bậc đa cực lẻ và độ chẵn lẻ - được gọi là các chuyển dời điện (ký hiệu là E). Bảng 1.1 phân loại các chuyển dời gamma theo bậc đa cực L và độ chẵn lẻ P. Theo các đánh giá lý thuyết và quan sát một lượng lớn dữ liệu thực

nghiệm, với cùng một bậc đa cực và năng lượng, xác suất chuyển dời điện thường lớn hơn xác suất chuyển dời từ khoảng 10^2 lần, với cùng năng lượng và loại chuyển dời, chuyển dời có bậc đa cực $L = l + 1$ có xác suất xảy ra thấp hơn chuyển dời có bậc đa cực $L = l$ khoảng 10^5 lần.

Bảng 1.1: Phân loại chuyển dời gamma theo bậc đa cực và độ chẵn lẻ.

L_γ	P_γ	Loại chuyển dời	Ký hiệu
1	+	Lưỡng cực từ	M1
1	-	Lưỡng cực điện	E1
2	+	Tứ cực điện	E2
2	-	Tứ cực từ	M2
3	+	Bát cực từ	M3
3	-	Bát cực điện	E3

Chính vì vậy, trong rất nhiều bài toán, ta có thể giả thiết tất cả các chuyển dời gamma ghi nhận được đều là các chuyển dời $E1$ hoặc $M1$ [9, 10].

1.1.3. Phản ứng (n,γ)

Khi một neutron tương tác với một hạt nhân A_ZX , nhiều kênh phản ứng khác nhau có thể xảy ra, bao gồm:

- Tán xạ đàn hồi (n,n) : $n + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX + n$,
- Tán xạ không đàn hồi (n,n') : $n + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX^* + n'$, hạt nhân kích thích ${}^A_ZX^*$ chuyển về trạng thái bền bằng cách phát ra các chuyển dời gamma,
- Phân hạch (n,f) : $n + {}^A_ZX \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}Z + kn$,

với $A = A_1 + A_2 + k$ và $Z = Z_1 + Z_2$,

- Các phản ứng trao đổi ví dụ như (n,p) , (n,d) , (n,α) ,
- Phản ứng bắt bức xạ (n,γ) : $n + {}^A_ZX \rightarrow {}^{A+1}_ZX^* \rightarrow {}^{A+1}_ZX + \gamma$.

Phản ứng (n,γ) gồm hai quá trình, quá trình thứ nhất hạt nhân A_ZX bắt neutron tới để tạo thành hạt nhân hợp phần ${}^{A+1}_ZX^*$ ở trạng thái kích thích. Hạt nhân hợp phần ở trạng thái kích thích sau đó sẽ giải kích thích bằng cách phát ra các tia gamma và chuyển về trạng thái cơ bản hay còn gọi là trạng thái bền. Gọi năng lượng của neutron tới là E_n và năng lượng kích thích của hạt nhân ${}^{A+1}_ZX^*$ là E_x , theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$E_n + m({}^A_ZX)c^2 = m({}^{A+1}_ZX)c^2 + E_x \quad (1.7)$$

Đối với các thí nghiệm sử dụng neutron nhiệt ($E_n \approx 0.025eV$),

$E_x \approx S_n = m({}^A_ZX) - m({}^{A+1}_ZX)$. 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. Thí nghiệm trong luận văn sử dụng chùm neutron có năng lượng nhiệt bắn phá vào bia mẫu ${}^{181}\text{Ta}$ để tạo ra các hạt nhân ${}^{182}\text{Ta}$ ở trạng thái kích thích có năng lượng xấp xỉ bằng $S_n = 6092, 93 \text{ keV}$ [11, 12].

Neutron có spin $\frac{1}{2}\hbar$ gọi I_t là spin của hạt nhân bia, thì hạt nhân hợp phần sẽ có spin $J_c = I_t \pm \frac{1}{2}\hbar$. Độ chẵn lẻ của neutron là $+$, do đó theo định luật bảo toàn độ chẵn lẻ, hạt nhân hợp phần và hạt nhân bia có độ chẵn lẻ giống nhau. Spin và độ chẵn lẻ của hạt nhân ${}^{181}\text{Ta}$ ở trạng thái cơ bản là $\frac{7}{2}\hbar$ và $+$ [13], do đó hạt nhân hợp phần ${}^{182}\text{Ta}$ có độ chẵn lẻ là $+$ và nhận hai giá trị spin khả dĩ là $3\hbar$ và $4\hbar$.

Trong giai đoạn thứ hai của phản ứng (n,γ) , hạt nhân hợp phần ở trạng thái kích thích sẽ giải kích thích bằng cách phát ra các tia gamma để trở về trạng thái cơ bản. Nếu spin và độ chẵn lẻ của trạng thái hợp phần và trạng thái cơ bản của hạt nhân hợp phần cho phép xảy ra chuyển dời (xem mục 3) hạt nhân có thể giải kích thích trực tiếp bằng cách phát ra một gamma có năng lượng bằng S_n . Hạt nhân hợp phần cũng có thể giải kích thích một cách lần lượt, thông qua việc chuyển đổi trạng thái về các mức trung gian có năng lượng thấp hơn. Quá trình giải kích thích kèm theo sự phát các tia gamma. Thu thập thông tin về các tia gamma phát ra từ quá trình giải kích thích cho phép chúng ta nghiên cứu về sơ đồ mức hạt nhân trong vùng năng lượng kích thích từ 0 đến S_n .

1.1.4. Tương tác của gamma với vật chất

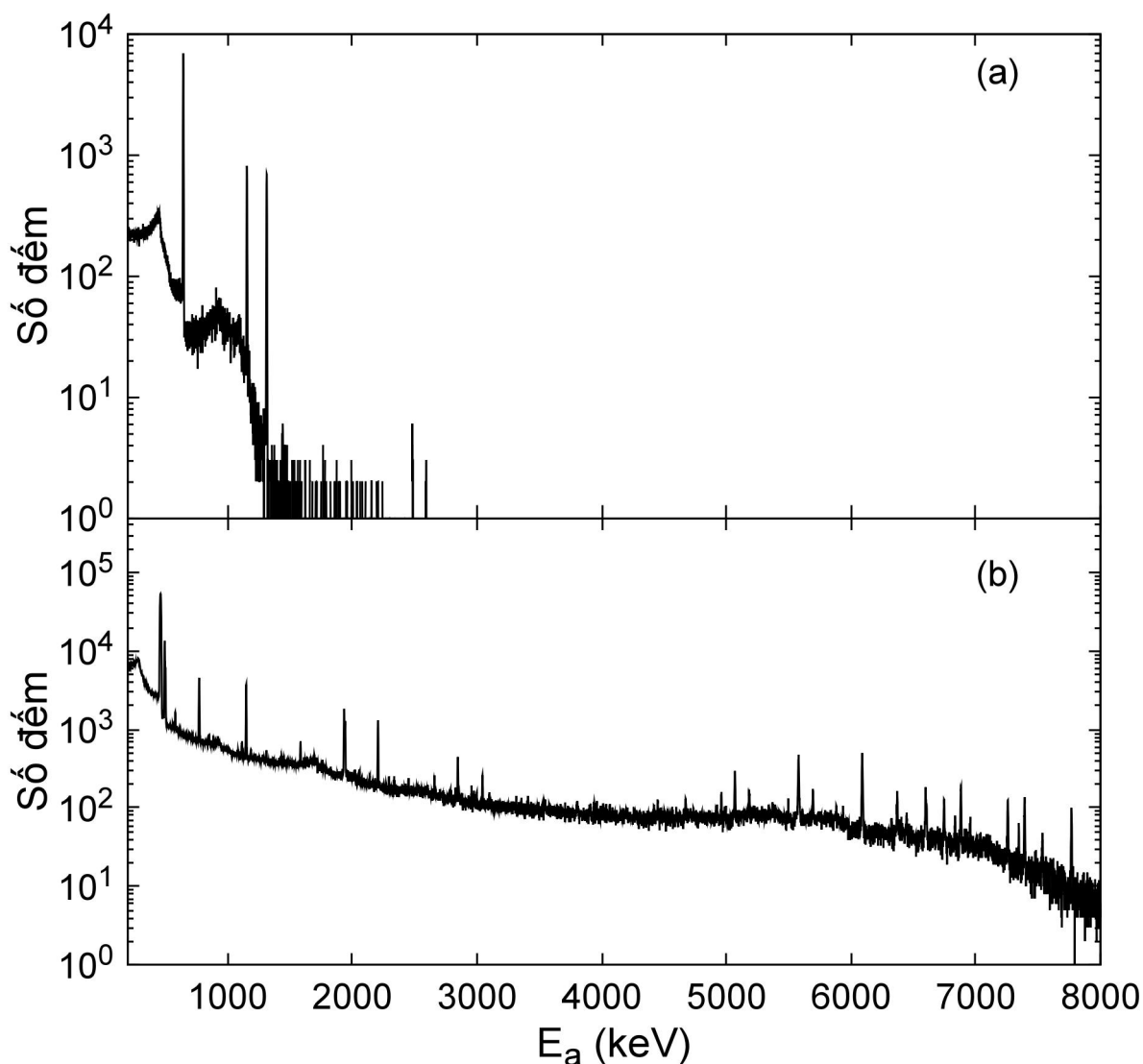
Để nghiên cứu được sơ đồ mức hạt nhân thông qua phản ứng (n,γ) , chúng ta cần phải đo được các chuyển dời gamma phát ra trong quá trình giải kích thích của hạt nhân hợp phần. Các đầu dò gamma được sử dụng cho mục đích này. Các đầu dò gamma hoạt động theo nguyên lý như sau.

Tia gamma đi vào đầu dò và tương tác với môi trường đầu dò, quá trình tương tác này để lại một phần hoặc toàn bộ năng lượng của tia gamma. Phần năng lượng này sau đó được các đầu dò chuyển đổi thành các tín hiệu điện có biên độ hoặc dòng tỷ lệ với năng lượng mà đầu dò hấp thụ được. Các loại đầu dò khác nhau sẽ có các cơ chế biến đổi năng lượng gamma hấp thụ thành tín hiệu khác nhau, chi tiết về quá trình này có thể tham khảo trong tài liệu [14].

Mặt khác cũng cần lưu ý rằng, gamma hoàn toàn có thể đi xuyên qua môi trường đầu dò mà hoàn toàn không tương tác với vật chất trong môi trường đầu dò và do đó không tạo ra bất cứ tín hiệu nào. Xác suất một gamma có năng lượng E_γ đi vào một môi trường đầu dò và bị hấp thụ năng lượng E_a được gọi là hàm đáp ứng của đầu dò $R(E_\gamma, E_a)$. Giả sử phân bố cường độ theo năng lượng của chùm tia gamma đi tới đầu dò là $\Phi(E_\gamma)$, thì phổ gamma thu được sẽ có dạng:

$$S(E_\alpha) = \int_{E_\gamma} \Phi(E_\gamma)R(E_\gamma, E_\alpha)dE_\gamma. \quad (1.8)$$

Xét cùng một đầu dò, hàm đáp ứng là một đại lượng không đổi, do đó phân bố $\Phi(E_\gamma)$ càng phức tạp thì dạng phổ thu được $S(E_\alpha)$ cũng càng phức tạp. Hình 1.3(a) minh họa cho một trường hợp phổ gamma tương đối đơn giản, với sự xuất hiện rõ ràng của ba đỉnh tương ứng với ba năng lượng chính trong phổ cường độ gamma là 661, 1173, và 1332 keV. Hình 1.3(b) biểu diễn phổ có phân bố cường độ gamma phức tạp hơn rất nhiều.



Hình 1.3: So sánh sự phức tạp của phổ gamma thu được với các phân bố cường độ gamma khác nhau. (a) Phổ gamma thu được khi đo nguồn hỗn hợp $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$. (b) Phổ gamma thu được khi đo sự giải kích thích của ^{36}Cl tạo ra từ phản ứng $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$.

Ta dễ dàng nhận thấy rằng phổ gamma trong Hình 1.3(b) xuất hiện rất nhiều đỉnh với nền phức tạp hơn rất nhiều so với phổ gamma trong Hình 1.3(a). Nền phức tạp sẽ khiến khả năng phát hiện các đỉnh bị hạn chế, đồng thời số lượng đỉnh lớn cũng có thể dẫn tới hiện tượng chồng chập đỉnh (khi hai đỉnh có năng lượng chênh lệch nhau nhỏ hơn độ phân giải của đầu dò). Các phương pháp ghi đo hiện đại như phương pháp

trùng phùng $\gamma - \gamma$ (xem mục 2.2) được phát triển nhằm giải quyết các khó khăn gặp phải khi phân tích phổ gamma thu được từ phương pháp sử dụng đầu dò.

1.2. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU SƠ ĐỒ MỨC HẠT NHÂN ^{182}Ta

Dựa trên các tổng hợp của thư viện số liệu hạt nhân ENSDF [8, 11], sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta được nghiên cứu trên nhiều kiểu phân rã và kênh phản ứng khác nhau, gọi tắt là các kênh nghiên cứu. Bảng 1.2 liệt kê các kênh nghiên cứu đã được sử dụng để nghiên cứu sơ đồ mức của ^{182}Ta .

Kênh phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã $8,90 \times 10^6$ năm) cho phép xác định được sự tồn tại của 4 mức kích thích có năng lượng thấp hơn 270,408 keV. Spin và độ chẵn lẻ của cả bốn mức kích thích này đều được xác định. Trạng thái 16,273 keV được nghiên cứu trong luận văn không xuất hiện trong kênh nghiên cứu này. Kênh phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã 61,5 phút) phát hiện được nhiều nhất 15 mức kích thích có năng lượng thấp hơn 1336,9 keV. Trong kênh nghiên cứu này, trạng thái kích thích 16,273 keV đã được phát hiện, tuy nhiên trạng thái kích thích 270,408 keV ghi nhận được trong kênh nghiên cứu sử dụng phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã $8,90 \times 10^6$ năm) không được ghi nhận.

Kênh nghiên cứu thông qua phân rã của các trạng thái đồng phân của ^{182}Ta phát hiện được tổng cộng 5 trạng thái kích thích và 6 chuyển dời gamma có năng lượng nhỏ hơn 519,587 keV. Dữ liệu thu được từ kênh nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với sơ đồ mức xây dựng được trong kênh nghiên cứu thông qua phân rã β^- của ^{182}Hf . Nhìn chung, các kênh nghiên cứu thông qua phân rã β^- của ^{182}Hf và các trạng thái đồng phân của ^{182}Ta chủ yếu phát hiện các trạng thái kích thích có năng lượng thấp, khoảng vài trăm keV, phần lớn có năng lượng dưới 511 keV.

Bảng 1.2: Các kênh phân rã và phản ứng được sử dụng để nghiên cứu sơ đồ mức của ^{182}Ta .

Kênh phản ứng	Tài liệu tham khảo
Phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã $8,90 \times 10^6$ năm)	[15,16]
Phân rã β^- của ^{182}Hf (thời gian bán rã 61,5 phút)	[17]
Phân rã từ trạng thái đồng phân ^{182m}Ta (thời gian bán rã 283 ms và năng lượng kích thích là 16,273 keV)	[18]
Phân rã từ trạng thái đồng phân ^{182m}Ta (thời gian bán rã 15,84 phút và năng lượng kích thích 519,587)	[16,19]
Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,025$ eV	[16,20,21]
Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,4 - 49,2$ eV	[22,24]
Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 0,002 - 3$ eV	[25]
Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 4,28$ và $10,36$ eV	[26]
Phản ứng bắt neutron (n,γ), $E_n = 2000$ eV	[16]
Phản ứng bắt trao đổi (d,p)	[27,29]

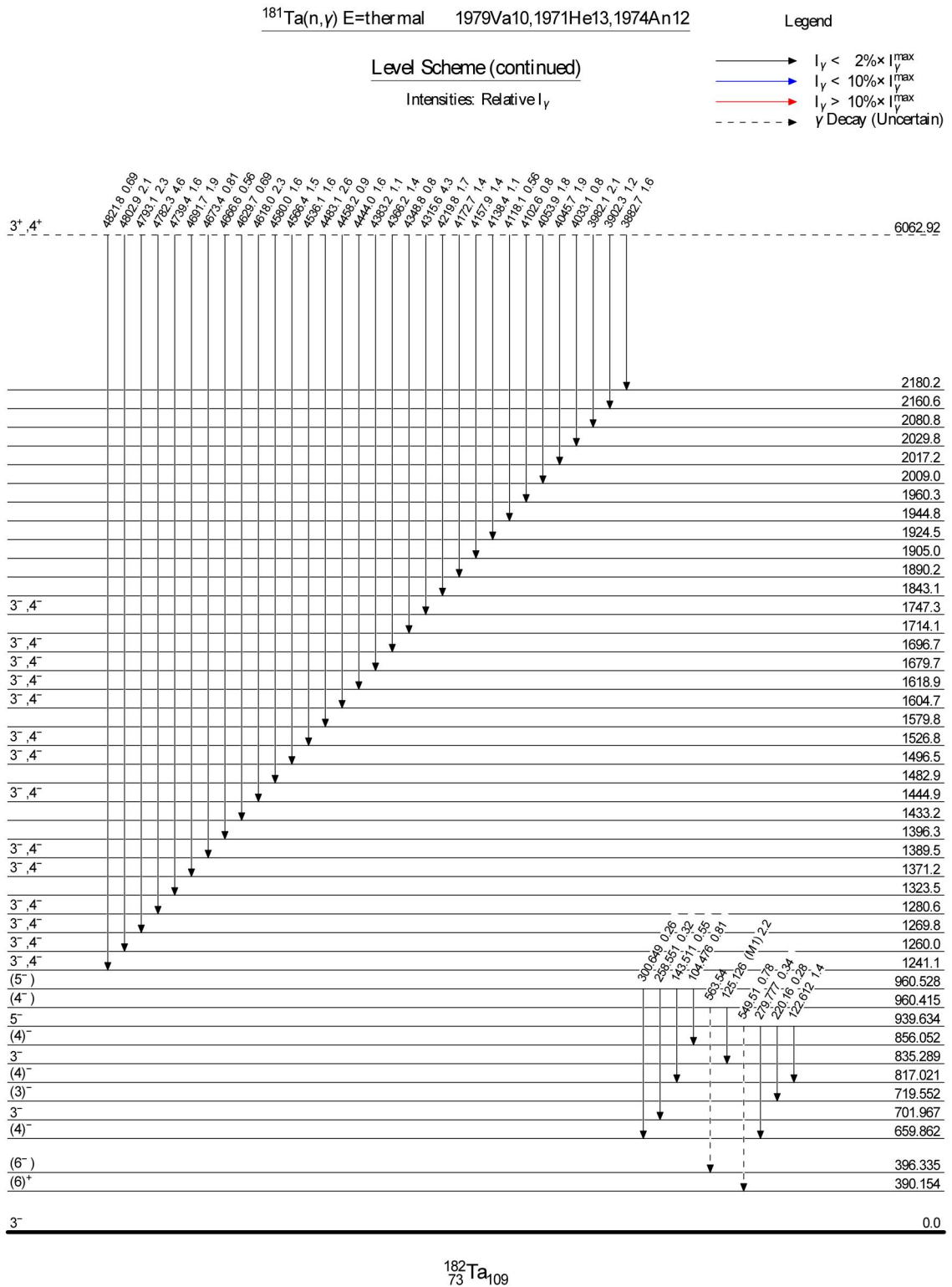
Kênh nghiên cứu thông qua phản ứng trao đổi (d,p) không chỉ xác định được một số mức kích thích trong vùng năng lượng cao (>1300 keV) mà còn phát hiện thêm được một số mức kích thích trong vùng năng lượng thấp mà các kênh nghiên cứu thông qua phân rã β^- của ^{182}Hf và các trạng thái đồng phân của ^{182}Ta không phát hiện được, ví dụ như các trạng thái 396,355 (4^+) và 480,036 (4^-).

Đóng góp nhiều nhất vào số liệu sơ đồ mức thực nghiệm của ^{182}Ta đến từ các kênh nghiên cứu thông qua phản ứng bắt neutron phát gamma với các năng lượng neutron tới khác nhau, từ nhiệt (0,025 eV) tới 2 keV. Các phản ứng bắt gamma phát neutron với neutron năng lượng trên nhiệt không chỉ cho phép phát hiện các mức kích thích có năng lượng nằm dưới ngưỡng năng lượng liên kết neutron của hạt nhân mà còn cho phép xác định các trạng thái kích thích có năng lượng cao hơn năng lượng liên kết neutron của hạt nhân, còn được biết đến với tên gọi là các cộng hưởng neutron. Năng lượng của một trạng thái kích thích tương ứng với một cộng hưởng bằng tổng năng lượng liên kết neutron của hạt nhân với năng lượng của neutron tới ($E_x = S_n + E_n$). Các phát hiện này đóng góp hết sức quan trọng vào việc xác định khoảng cách mức trung bình ở năng lượng liên kết neutron, một giá trị hết sức quan trọng được sử dụng để chuẩn hóa số liệu mật độ mức và trong các tính toán tiết diện phản ứng.

Mặc dù số lượng trạng thái kích thích tương ứng với các cộng hưởng neutron phát hiện được là rất nhiều, nhưng các trạng thái này đều tập trung trong vùng năng lượng kích thích từ 6062,94 tới 6064,94 keV. Do các gamma phát ra từ trạng thái hợp phần gây bởi phản ứng (n, γ) cho phép xác định các trạng thái kích thích ở dưới năng lượng liên kết neutron. Đối với ^{182}Ta , hầu như toàn bộ các mức kích thích ghi nhận được ở vùng năng lượng nhỏ hơn 2 MeV đều được phát hiện trong kênh nghiên cứu sử dụng phản ứng (n, γ) với neutron nhiệt. Hình 1.4 là một phần sơ đồ mức thu được từ kênh phản ứng (n, γ) sử dụng neutron nhiệt. Trên Hình 1.4 ta có thể thấy từ trạng thái hợp phần 6062,94 keV, hạt nhân ^{182}Ta có thể giải thích về

rất nhiều các mức kích thích khác nhau. Để có thể trở về trạng thái bền, hạt nhân cần tiếp tục phát ra các mức kích thích để chuyển xuống các trạng thái kích thích có năng lượng thấp hơn, hoặc về trở về trạng thái bền. Tuy nhiên, các gamma được dự kiến sẽ xuất hiện này vẫn chưa được ghi nhận trong thư viện sơ đồ mức của ^{182}Ta . Một số trường hợp tiêu biểu có thể nhắc tới là:

- chưa có chuyển dời gamma nào tương ứng với sự chuyển đổi trạng thái của hạt nhân từ mức kích thích 1229,7 keV xuống các mức kích thích có năng lượng thấp hơn,
- chưa có chuyển dời gamma nào tương ứng với sự chuyển đổi trạng thái của hạt nhân từ mức kích thích 1172,3 keV xuống các mức kích thích có năng lượng thấp hơn,
- chưa có chuyển dời gamma nào tương ứng với sự chuyển đổi trạng thái của hạt nhân từ mức kích thích 987,0 keV xuống các mức kích thích có năng lượng thấp hơn.



Hình 1.4: Một phần sơ đồ mức của ^{182}Ta xác định từ kênh phản ứng (n, γ) sử dụng neutron nhiệt [11].

Sự thiếu vắng của các chuyển dời gamma kể trên trong thư viện số liệu ENSDF có thể có nguyên nhân là do phổ gamma gây bởi phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ có quá nhiều đỉnh có năng lượng chênh lệch nhau không nhiều, nhưng có cường độ lệch nhau đáng kể, dẫn tới việc không phát hiện được các chuyển dời có cường độ thấp trên phổ. Giải pháp để khắc phục khó khăn này là nâng cao độ phân giải của đầu dò hoặc áp dụng một số kỹ thuật đo tiên tiến sử dụng nhiều đầu dò. Bất chấp các cải tiến không ngừng về công nghệ, độ phân giải của các đầu dò bán dẫn HPGe vẫn chỉ dừng lại ở khoảng 1-3 keV trong vùng năng lượng khoảng 1300 keV. Độ phân giải này là quá lớn để có thể xử lý các chồng chập trong phổ gamma của hạt nhân ^{182}Ta . Phương pháp trùng phùng gamma - gamma trình bày trong Chương 2 là một giải pháp tiên tiến, cho phép loại trừ nền Compton và giảm thiểu sự chồng chập đỉnh, do đó có thể giúp phát hiện một số chuyển dời gamma chưa được ghi nhận trong sơ đồ mức của ^{182}Ta .

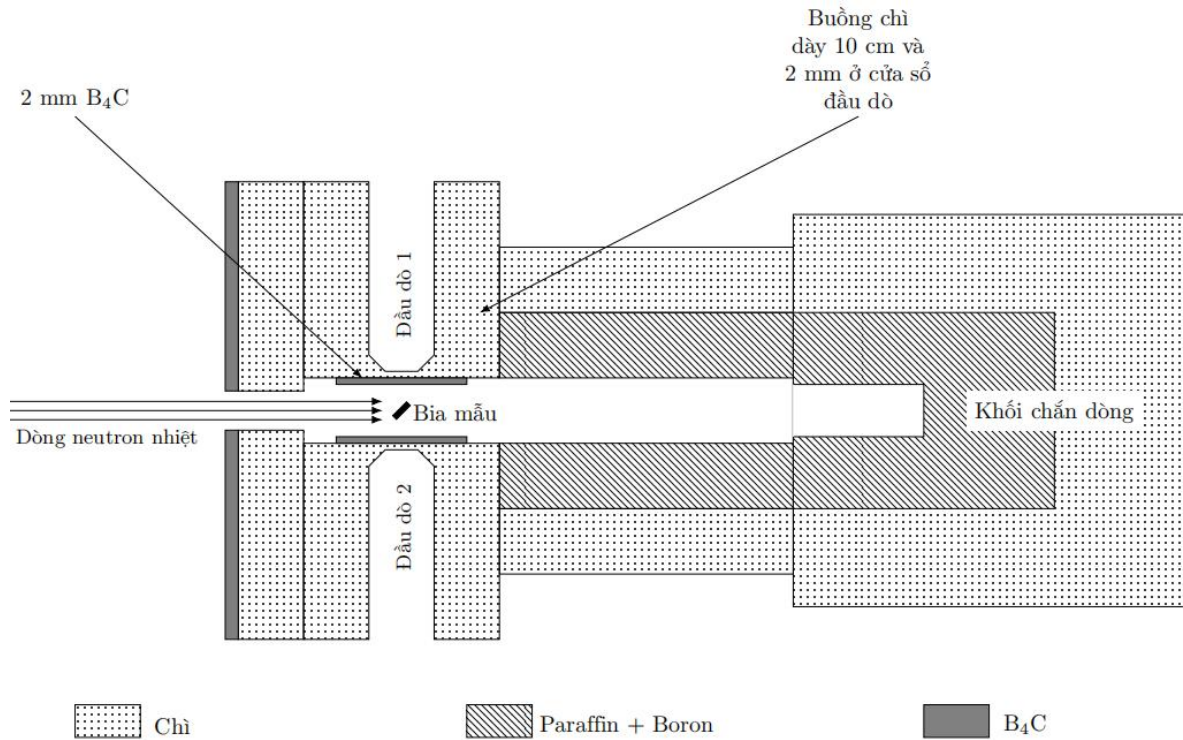
CHƯƠNG 2. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các phân tích trong Chương 1 đã chỉ ra rằng, nghiên cứu thực nghiệm về phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phân gây bởi phản ứng bắt neutron nhiệt về một số trạng thái cuối ở vùng năng lượng thấp đã được biết rõ là một phương pháp hiệu quả để nghiên cứu sơ đồ mức hạt nhân. So với phương pháp đo phổ gamma truyền thống, không chỉ sử dụng kỹ thuật trùng phùng, phương pháp trùng phùng gamma - gamma có ưu điểm về khả năng giảm nhiễu, giảm chồng chập đỉnh. Số liệu phân rã gamma nối tầng thực nghiệm không chỉ giúp khẳng định các kết quả đã thu được từ các thí nghiệm khác mà còn có thể giúp phát hiện các chuyển dời và mức kích thích mới mà các phương pháp khác không ghi nhận được [9, 10, 30].

Chủ đề nghiên cứu của luận văn là nghiên cứu phân rã gamma nối tầng từ trạng thái hợp phân gây bởi phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ về trạng thái 16,273 keV và trạng thái cơ bản trên lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Chính vì vậy, toàn bộ chương hai của luận văn được sử dụng để trình bày về bố trí của thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt. Các thông tin thực nghiệm liên quan trực tiếp tới thí nghiệm với bia mẫu ^{181}Ta sẽ được cung cấp. Sơ đồ điện tử và nguyên lý hoạt động của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma, một thiết bị quan trọng trong nghiên cứu phân rã gamma nối tầng, cũng sẽ được nhắc lại một cách vắn tắt. Sau cùng, phương pháp xác định phân rã gamma nối tầng thực nghiệm từ bộ dữ liệu thô đo bởi hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma sẽ được trình bày.

2.1. THÍ NGHIỆM ĐO PHÂN RÃ GAMMA NỐI TẦNG

Bố trí thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng của ^{182}Ta được đưa ra trong Hình 2.1. Bia mẫu Ta tự nhiên dạng tấm kim loại có khối lượng 1,5g ở tâm dòng neutron và nằm giữa cửa sổ hai đầu dò là 5cm.



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

Khoảng cách từ bia mẫu tới cửa sổ của hai đầu dò là 5 cm. Bia mẫu Ta tự nhiên có hàm lượng ^{181}Ta lên tới 99.988%, do đó hoàn toàn có thể coi như là bia mẫu thuần ^{181}Ta . Bia mẫu được sử dụng là loại đã được làm sạch hóa học, hàm lượng của các nguyên tố tạp chất chỉ nằm ở cỡ phần triệu (ppm), do đó ảnh hưởng không đáng kể tới kết quả đo.

Dòng neutron nhiệt được trích xuất từ vùng hoạt của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt, thông qua một hệ thống phin lọc sử dụng 48 cm Silic và 5 cm chì. Silic có đặc trưng là tiết diện bắt neutron nhiệt rất nhỏ, hay còn được gọi là "trong suốt với neutron nhiệt" trong một số tài liệu. Trong vùng hoạt của lò phản ứng, phổ neutron bao gồm cả các neutron nhiệt và các neutron trên nhiệt, khi đi qua phin lọc Si, neutron trên nhiệt bị giữ lại, còn các neutron nhiệt được truyền qua. Phin lọc Si và đặc biệt là 5 cm phin lọc chì còn giúp ngăn các tia gamma có nguồn gốc từ các phân rã phóng xạ xảy ra trong lõi lò phản ứng đi tới vị trí đo. Bằng phương pháp sử dụng lá dò

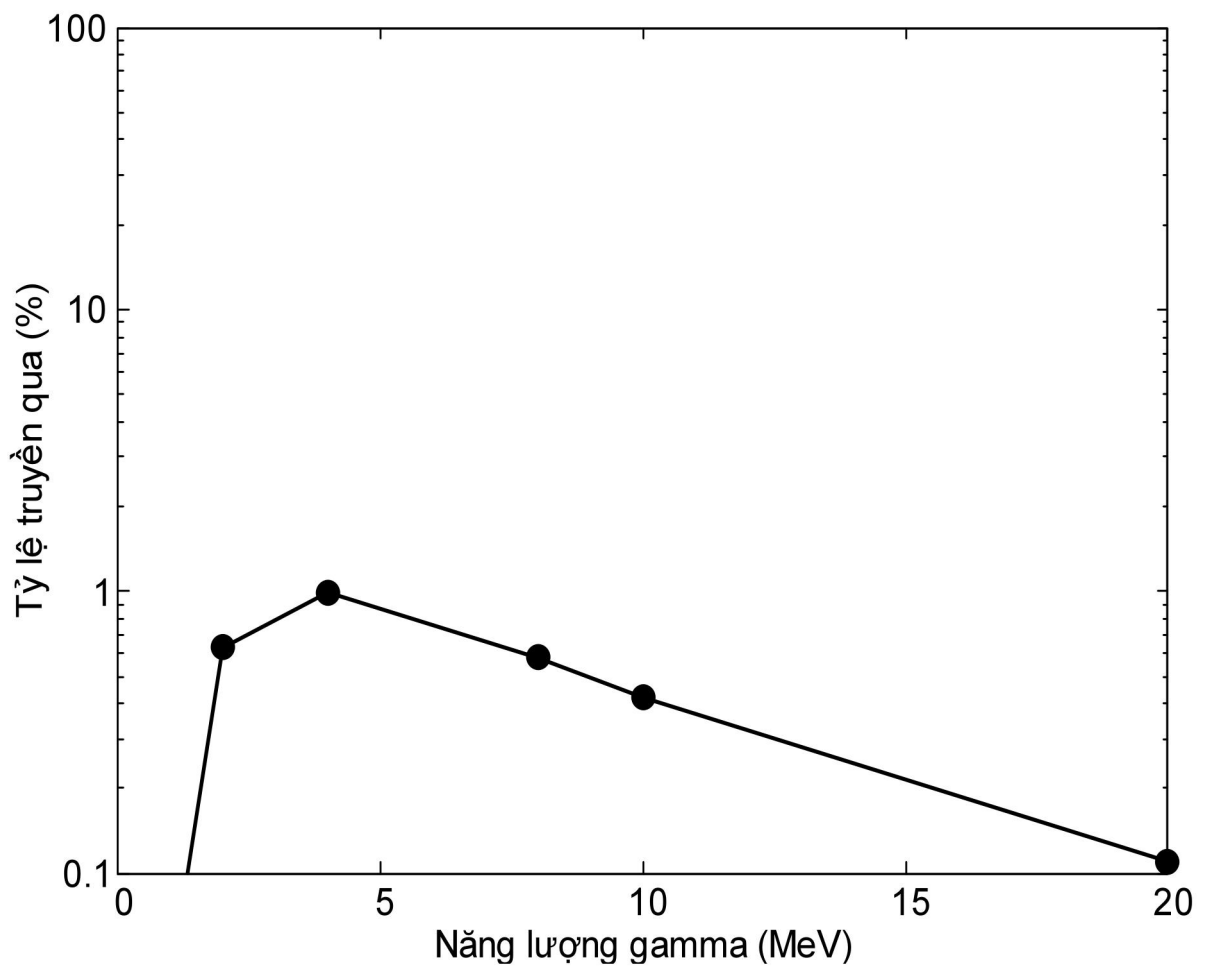
vàng trần và lá dò vàng bọc hộp Cd tiêu chuẩn, thông lượng neutron nhiệt tại vị trí đặt mẫu được xác định là $1,7 \times 10^5 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ với độ bất định khoảng 5%.

Chùm neutron nhiệt bắn phá vào bia mẫu Ta sẽ gây ra hai phản ứng chính, là phản ứng tán xạ neutron và phản ứng bắt neutron. Phản ứng bắt neutron sẽ tạo thành hạt nhân ^{182}Ta ở trạng thái kích thích có năng lượng 6062,94 keV, hạt nhân kích thích sẽ giải kích thích bằng cách phát ra các tia gamma. Nhìn chung, các tia gamma có thể phát ra ở mọi hướng trong không gian. Tia gamma khi đi vào vùng nhạy của đầu dò bán dẫn Ge siêu tinh khiết và tương tác với tinh thể Ge sẽ bị mất năng lượng (một phần hoặc toàn bộ) và tạo ra các tín hiệu điện. Trong trường hợp tín hiệu điện xuất hiện trên cả hai đầu dò trong cùng một khoảng thời gian xác định (còn được gọi là cửa sổ thời gian) thì hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma sẽ ghi nhận là một cặp sự kiện trùng phùng.

Ngoài các sự kiện trùng phùng thực (có nguồn gốc từ phân rã gamma nôi tầng từ trạng thái 6062,94 keV của hạt nhân ^{182}Ta , hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma cũng có thể ghi nhận các sự kiện trùng phùng gây bởi các gamma có sẵn trong nền phong tự nhiên (ở phòng đo) được ghi nhận đồng thời ở hai đầu dò. Các sự kiện này là các sự kiện gây nhiễu, không mong muốn. Do đó, để giảm thiểu chúng, các đầu dò được đặt trong buồng chì dày 10 cm. Bề dày chì 10 cm đủ để ngăn hầu hết các gamma có nguồn gốc từ phong môi trường. Các gamma này thường có năng lượng chỉ khoảng nhỏ hơn 2 MeV. Sử dụng dữ liệu hệ số truyền qua tuyến tính của vật liệu chì cung cấp bởi thư viện NIST [31], hình 2.2 cho thấy tỷ lệ gamma trong vùng năng lượng nhỏ hơn 20 MeV truyền qua được lớp chì dày 10 cm là nhỏ hơn 1%.

Buồng chì có cửa sổ với bề dày chì chỉ 2 mm và đường kính khoảng 5 cm để các gamma phát ra từ mẫu có thể đi vào đầu dò. Việc đặt một lớp chì dày khoảng 2 mm chắn giữa mẫu và cửa sổ đầu dò là để loại trừ hiện tượng trao đổi năng lượng giữa hai đầu dò, gây ra các trùng phùng giả.

Hiện tượng này xảy ra khi một tia gamma đi vào đầu dò thứ nhất bị hấp thụ một phần năng lượng sau đó thoát ra ngoài và tương tác với đầu dò thứ hai và cũng tạo ra một tín hiệu. Khi đó mặc dù chỉ có một gamma phát ra, nhưng hệ đo vẫn ghi nhận là một sự kiện trùng phùng. Hiện tượng này có thể được khắc phục bằng bố trí thực nghiệm đã nêu ở trên. Lý giải chi tiết về hiện tượng trao đổi năng lượng giữa hai đầu dò và giải pháp khắc phục được trình bày trong tài liệu tham khảo [32].



Hình 2.2: Tỷ lệ gamma truyền qua bề dày chì 10 cm ở các năng lượng gamma nhỏ hơn 20 MeV.

Cũng cần lưu ý rằng sự xuất hiện của cửa sổ chì dày 2 mm phần nào đó cản trở các gamma từ mẫu tới các đầu dò, tuy nhiên đối với các gamma có

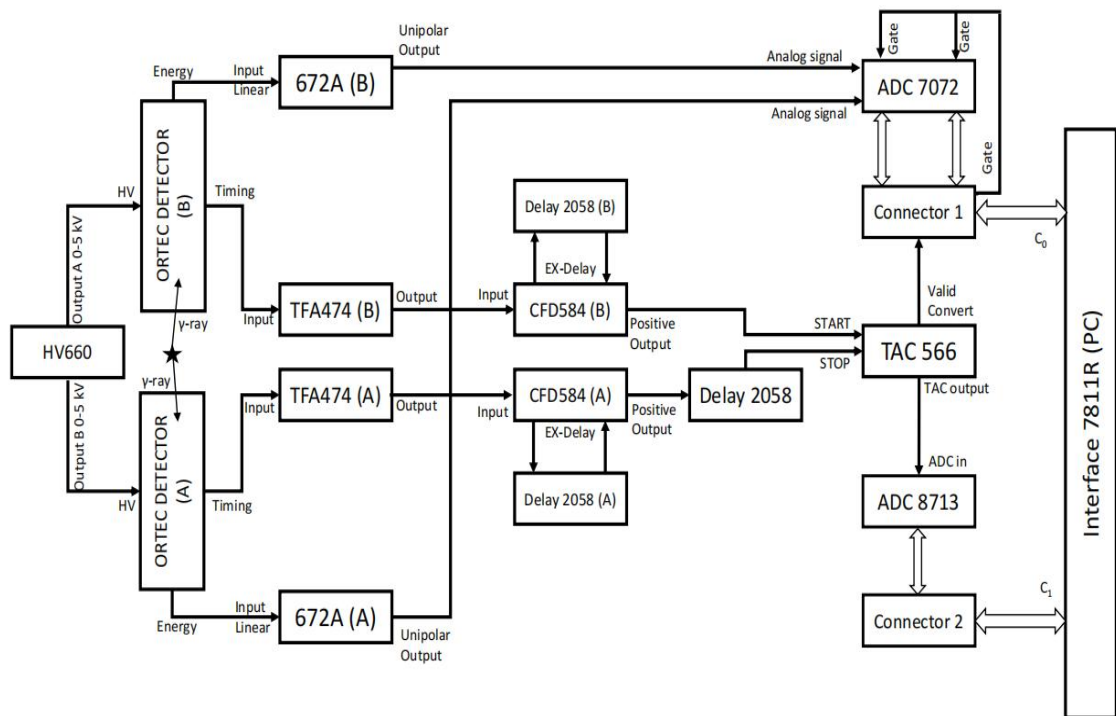
năng lượng trên 520 keV, sự suy giảm khi đi qua lớp chì dày 2 mm là không đáng kể. Chính vì vậy, trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân, ngưỡng năng lượng gamma được quan tâm là 520 keV.

Neutron đi vào đầu dò không chỉ tạo ra các tín hiệu gây nhiễu và ảnh hưởng đến chất lượng của phép đo mà còn làm hư hỏng đầu dò khi số lượng neutron đi vào đầu dò lớn trong khoảng thời gian dài. Chính vì vậy các tấm che boron được thiết kế để giảm tối đa số neutron có thể đi vào đầu dò. Các tấm B_4C được bố trí ở mặt tiếp giáp giữa buồng chì với tường lò phản ứng và trước cửa sổ của hai đầu dò. Việc bố trí các tấm B_4C dày 2 mm ở trước cửa sổ của đầu dò giảm đáng kể số neutron tán xạ từ mẫu đi vào đầu dò do Boron có tiết diện hấp thụ neutron rất mạnh. Khối chắn dòng và các cấu kiện che chắn bố trí phía sau bia mẫu chỉ đóng vai trò đảm bảo an toàn phóng xạ cho khu vực thí nghiệm.

2.2. PHỔ KẾ TRÙNG PHÙNG GAMMA-GAMMA

Hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân không ghi phổ trùng phùng như cách hệ đo cổ điển của Hoogenboom thực hiện [33] mà ghi sự kiện - sự kiện. Điều này có nghĩa là với mỗi sự kiện trùng phùng thu được, hệ phổ kế sẽ ghi lại giá trị số tỷ lệ với năng lượng gamma bị hấp thụ bên trong đầu dò. Một sự kiện trùng phùng được định nghĩa là sự kiện mà tín hiệu xuất hiện trên cả hai đầu dò trong cùng một khoảng thời gian Δt , thường được gọi là cửa sổ thời gian. Ghi sự kiện đòi hỏi nhiều tài nguyên hơn cách ghi phổ truyền thống rất nhiều, nhưng đồng thời cũng giúp việc xử lý số liệu có tính linh hoạt cao hơn rất nhiều. 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 nhiều tài liệu tham khảo khác nhau [32, 34, 35] do đó sẽ chỉ được trình bày một cách vắn tắt ở đây. Hình 2.3 cho thấy mỗi đầu dò HPGe có hai lối ra tín hiệu tương ứng để xử lý xác định năng lượng và xác định thời gian khởi phát. Tín hiệu năng lượng sẽ được đưa qua các khuếch đại phổ (672A) để khuếch đại tín hiệu và hình thành xung phù hợp để phân tích biên độ bằng ADC. Tín hiệu thời

gian được đưa qua khối khuếch đại lọc lựa thời gian (TFA) để hạn chế sự bất định của mặt tăng xung của đầu dò HPGe. Tín hiệu này sau đó được đưa qua khối gạt ngưỡng hằng (CFD) để đánh dấu thời điểm khởi phát. Tín hiệu đánh dấu thời điểm khởi phát của cả hai đầu dò sẽ được đưa vào các lối vào START và STOP của khối biến đổi thời gian ra tương tự (TAC) để xác định chênh lệch thời gian khởi phát giữa hai xung. Một số khối trễ (Delay) được bố trí để đồng bộ thời gian cho toàn bộ hệ thống. Nếu các sự kiện ghi nhận được thỏa mãn điều kiện để được coi là một sự kiện trùng phùng thì TAC sẽ gửi một tín hiệu để cho phép khối biến đổi tương tự sang số (ADC 7072) xác định biên độ xung. Các dữ liệu thu được đc truyền vào máy tính để hiển thị và lưu trữ, được thực hiện thông qua các giao diện 7811R.



Hình 2.3: 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 [35]).

Một cách tóm lược nhất, phổ kế trùng phùng gamma - gamma sẽ ghi lại biên độ của các xung phát ra từ hai đầu dò, nếu hai xung này xuất hiện đồng thời (chênh lệch thời gian khởi phát xung nhỏ hơn độ rộng của cửa sổ thời gian). Trong số các tín hiệu trùng phùng này, chỉ có một số là tương ứng với các chuyển dời gamma nối tầng mà toàn bộ năng lượng của cả hai tia gamma đều bị hấp thụ bên trong các đầu dò. Mục 2.3 sẽ trình bày phương pháp xác định các phân rã gamma nối tầng từ số liệu thực nghiệm thu được.

2.3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHÂN RÃ GAMMA NỐI TẦNG

Phổ kế trùng phùng gamma - gamma ghi lại giá trị số tỷ lệ với biên độ xung lồi ra của các đầu dò trong tất cả các trường hợp thỏa mãn điều kiện trùng phùng, tuy nhiên chỉ có một số đó là ứng với các sự kiện phân rã gamma nối tầng mà năng lượng của các gamma bị hấp thụ hoàn toàn trong cả hai đầu dò. Để có thể đưa ra phương pháp xác định phân rã gamma nối tầng trong số rất nhiều dữ liệu khác nhau này, ta trước hết cần xem xét tất cả các trường hợp mà hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma sẽ ghi lại (xem Bảng 2.1). Các trường hợp 3, 4, 5, 6 có thể ứng với hai tia gamma của một nối tầng bậc hai, hoặc các nối tầng bậc cao hơn (≥ 3). Các trường hợp 1 và 2 rất hiếm xảy ra do các đầu dò đều được đặt trong buồng chì để giảm phong. Để phát hiện các phân rã nối tầng bậc hai ta cần lựa chọn các sự kiện tương ứng với trường hợp 6 với các gamma có nguồn gốc từ nối tầng bậc hai. Các sự kiện dạng này có tổng năng lượng được hấp thụ bên trong đầu dò bằng $E_{sum} = S_n - E_f$ với S_n là năng lượng liên kết neutron và E_f là trạng thái cuối tương ứng của nối tầng bậc hai. Các trường hợp gây bởi các nối tầng bậc cao hơn sẽ có tổng năng lượng nhỏ hơn. Các trường hợp 3, 4, và 5 cũng có tổng năng lượng nhỏ hơn $S_n - E_f$. Như vậy, ta có thể lọc ra các sự kiện cần quan tâm bằng điều kiện

$$E_1 + E_2 = E_{sum} \quad (2.1)$$

Trong thực tế, các đầu dò có độ nhòe khi đo năng lượng của gamma. Độ nhòe này còn được biết đến dưới khái niệm độ phân giải năng lượng.

Điều kiện lọc do vậy được chuyển đổi thành

$$E_{sum} - \Delta E \leq E_1 + E_2 \leq E_{sum} + \Delta E \quad (2.2)$$

Bảng 2.1: Các trường hợp mà hệ phổ kế trùng phùng sẽ ghi lại.

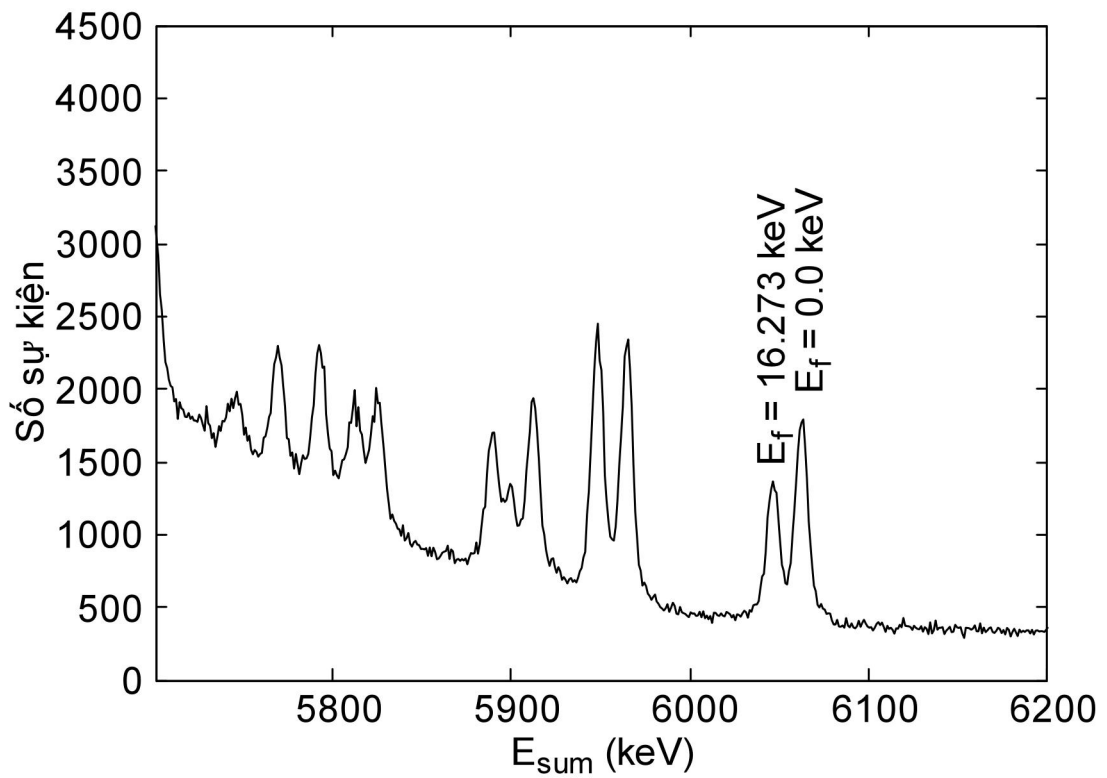
	Sự kiện xảy ra ở đầu dò thứ nhất	Sự kiện xảy ra ở đầu dò thứ hai
1	Hấp thụ một phần hoặc toàn bộ năng lượng của một tia gamma có nguồn gốc từ phong môi trường	Hấp thụ một phần hoặc toàn bộ năng lượng của một tia gamma có nguồn gốc từ phong môi trường
2	Hấp thụ một phần hoặc toàn bộ năng lượng của một tia gamma có nguồn gốc từ phong môi trường	Hấp thụ một phần hoặc toàn bộ năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu
3	Hấp thụ một phần năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu	Hấp thụ một phần năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu
4	Hấp thụ toàn bộ năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu	Hấp thụ một phần năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu
5	Hấp thụ một phần năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu	Hấp thụ toàn bộ năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu
6	Hấp thụ toàn bộ năng lượng của một tia gamma phát ra từ mẫu	Hấp thụ toàn bộ năng lượng của một tia gamma từ mẫu

Để xác định độ rộng ΔE , ta quan sát các đỉnh tương ứng trên phổ tổng. Phổ tổng là phổ số đếm thống kê các sự kiện trùng phù theo năng lượng E_{sum} . Vùng phổ tổng có chứa các đỉnh tương ứng với chuyển dời gamma nối tầng từ trạng thái hợp phân 6062,94 keV của ^{182}Ta về trạng thái cuối 16,273 keV và trạng thái cơ bản được đưa ra trong Hình 2.4. Quan sát Hình 2.4, ta có thể nhận thấy rằng vùng hai đỉnh được đánh dấu bị chồng chập nhẹ. Trong vùng chồng chập này, điều kiện lựa chọn theo năng lượng tổng sẽ không cho phép xác định mức cuối tương ứng của cặp nối tầng. Dữ liệu ở vùng chồng chập do đó không được sử dụng cho các phân tích tiếp theo. Do đó, để lựa chọn các chuyển dời nối tầng về trạng thái cuối có năng lượng 16,273 keV, điều kiện năng lượng tổng

$$6035 \text{ keV} \leq E1 + E2 \leq 6051 \text{ keV} \quad (2.3)$$

được sử dụng. Tương tự, điều kiện năng lượng để lựa chọn các chuyển dời nối tầng về trạng thái cơ bản là

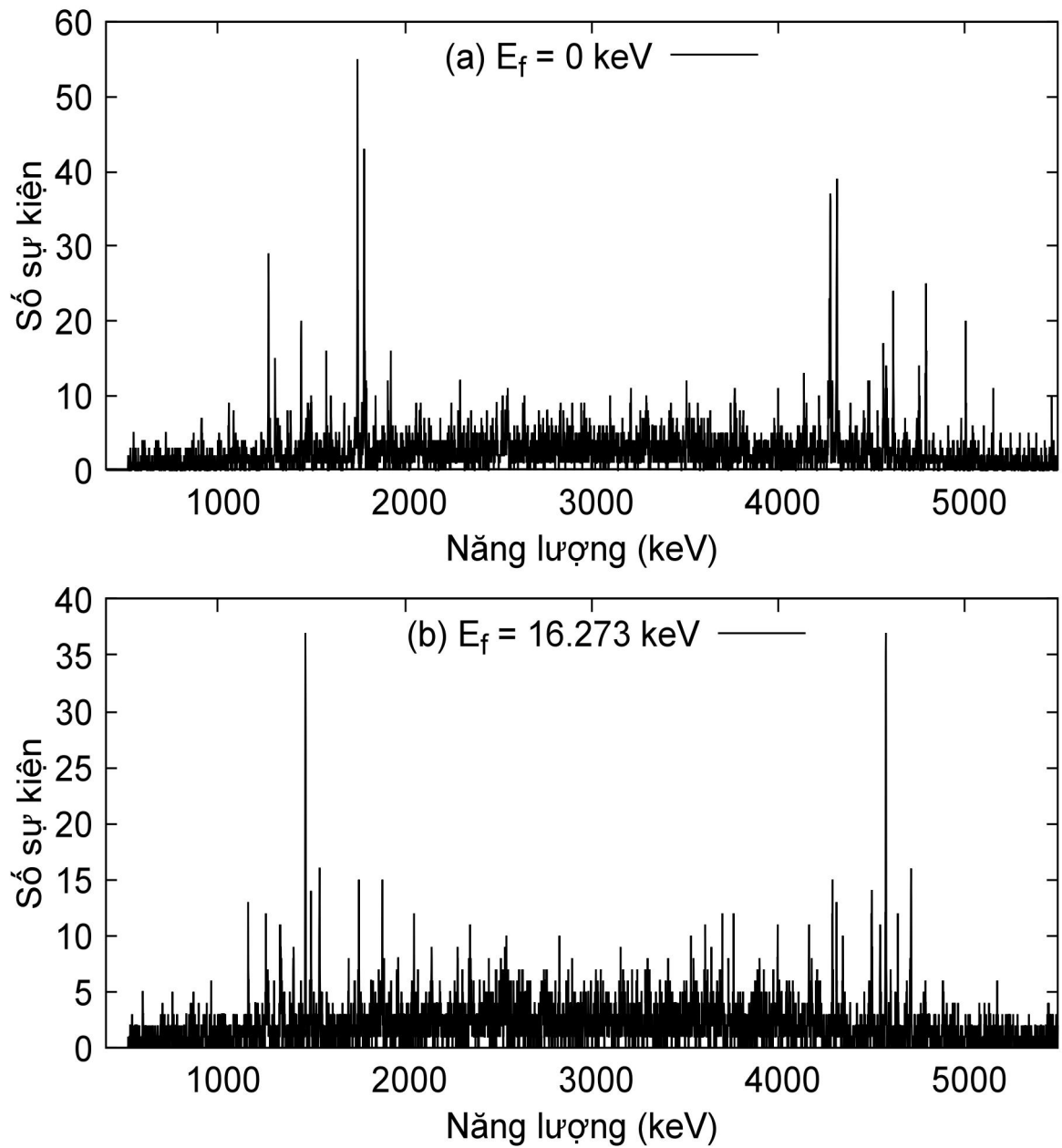
$$6055 \text{ keV} \leq E1 + E2 \leq 6071 \text{ keV}. \quad (2.4)$$



Hình 2.4: Một phần phổ tổng thu được thí nghiệm đo phân rã gamma nội tầng của ^{182}Ta . Các đỉnh tương ứng với các chuyển dời nội tầng về trạng thái cơ bản và 16,273 keV được đánh dấu theo năng lượng của trạng thái cuối.

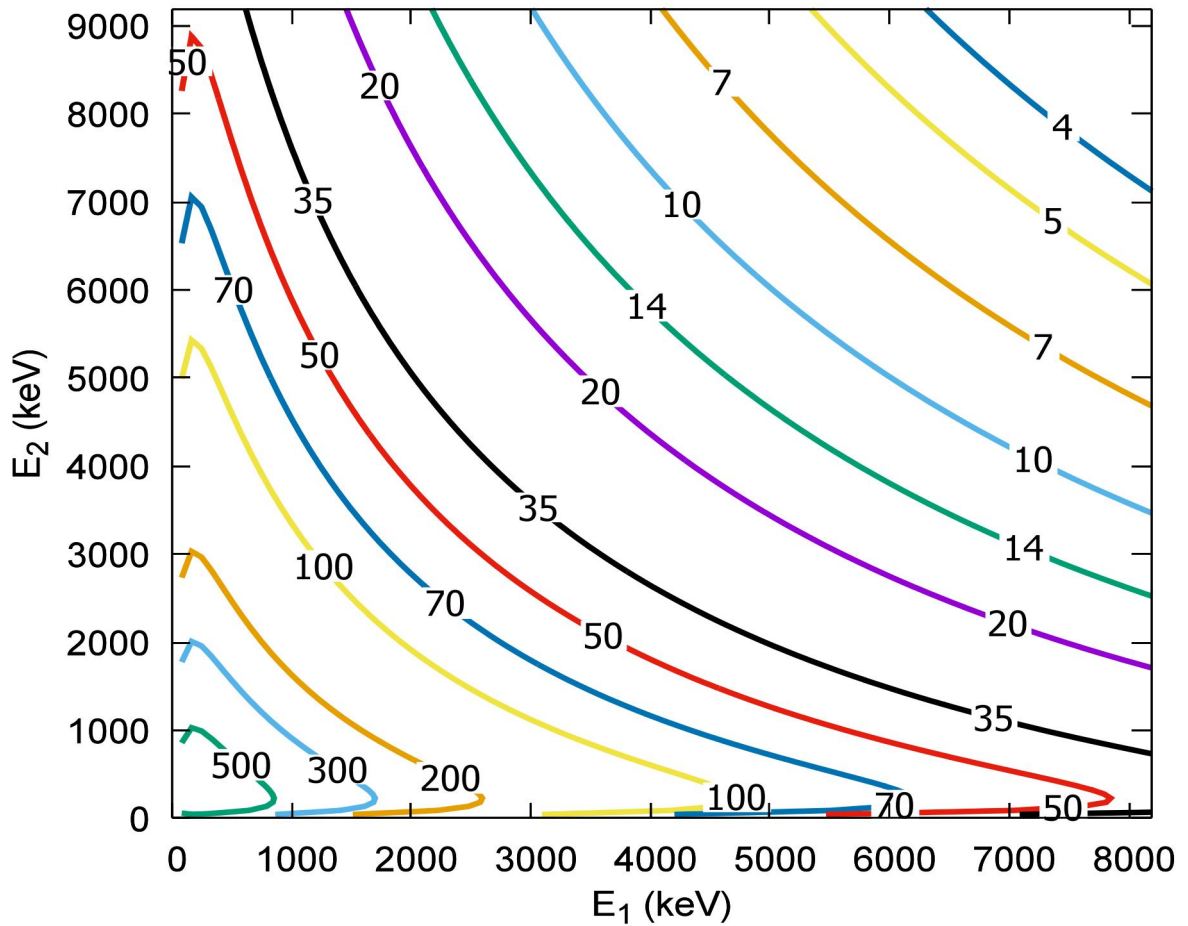
Sau khi đã tách được các sự kiện tương ứng với các chuyển dời nối tầng bậc hai từ trạng thái hợp phân $6062,94 \text{ keV}$ về một mức cuối xác định, ta tiến hành đếm thống kê dữ liệu đã lọc theo năng lượng để thu được phổ nối tầng bậc hai. Phổ nối tầng bậc hai tương ứng với mức cuối là trạng thái cơ bản và mức $16,273 \text{ keV}$ được đưa ra trong Hình 2.5.

Các cặp phân rã nối tầng bậc hai biểu hiện trên phổ phân rã gamma nối tầng là các cặp đỉnh đối xứng với nhau qua vị trí trung tâm của phổ. Vị trí của các đỉnh đặc trưng cho năng lượng của các tia gamma. Diện tích của các đỉnh tỷ lệ với cường độ phát của phân rã gamma nối tầng tương ứng.



Hình 2.5: Phổ phân rã gamma nội tầng của ^{182}Ta từ trạng thái hợp phân 6062,94 keV về các trạng thái cuối: (a) 0 keV và (b) 16,273 keV.

Mỗi đỉnh gamma trong phổ được giả thiết là tuân theo phân bố gauss nằm trên một nền phong tuyến tính. Vị trí đỉnh sẽ tương ứng với tham số vị trí tâm của phân bố gauss, và diện tích đỉnh sẽ tương ứng với tích phân của hàm gauss từ $-\infty$ đến $+\infty$.



Hình 2.6: Hiệu suất ghi trùng phùng tương đối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân (đơn vị tùy ý).

Gamma năng lượng khác nhau sẽ có hiệu suất ghi khác nhau, do đó để xác định chính xác cường độ nổi tầng tương đối ta không thể chỉ đơn giản lấy tỷ số diện tích của hai nổi tầng mà còn phải thực hiện hiệu chỉnh hiệu suất. Ta thực hiện việc hiệu chỉnh hiệu suất bằng cách chuẩn hóa diện tích đỉnh theo hiệu suất. Diện tích đỉnh đã chuẩn hóa tương ứng với một cặp nổi tầng mà gamma có năng lượng E_{γ_1} bị hấp thụ hoàn toàn trong đầu dò thứ nhất và gamma có năng lượng E_{γ_2} bị hấp thụ hoàn toàn trong đầu dò thứ hai

$$A_{norm} = \frac{A_{unnorm}}{\varepsilon_1(E_{\gamma_1})\varepsilon_2(E_{\gamma_2})}$$

với ε_1 , ε_2 , lần lượt là hàm hiệu suất ghi của đầu dò thứ nhất và đầu dò thứ hai. A_{unnorm} là diện tích đỉnh chưa chuẩn hóa. Hàm hiệu suất được xác định thông qua thí nghiệm đo phân rã gamma của hạt nhân ^{36}Cl [32, 35]. Hình 2.6 biểu diễn hiệu suất ghi trùng phùng tương đối của hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân theo năng lượng gamma đi vào hai đầu dò.

Do đặc trưng phân giải thời gian chỉ ở cỡ nano giây, hệ phổ kế trùng phùng gamma - gamma của Viện nghiên cứu hạt nhân không cho phép nhận diện thứ tự của các gamma trong một chuyển dời nổi tầng. Do đó, các dữ liệu từ thư viện ENSDF sẽ được sử dụng như các thông tin bổ sung để nhận diện thứ tự của chuyển dời nổi tầng và xác định các trạng thái kích thích trung gian. Đồng thời, các thông tin lượng tử liên quan đến các trạng thái kích thích và chuyển dời gamma cũng có thể được rút ra. Các vấn đề này sẽ được thảo luận trong Chương 3 đối với từng cặp chuyển dời nổi tầng ghi nhận được.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. KẾT QUẢ

Danh sách các cặp chuyển dời nổi tầng về trạng thái cơ bản và trạng thái 16,273 keV lần lượt được liệt kê trong các Bảng 3.1 và 3.2. Như đã trình bày trong Chương 2 phương pháp trùng phùng gamma - gamma không cho phép xác định thứ tự của các chuyển dời trong một cặp chuyển dời nổi tầng. Do đó, để xác định được thứ tự của các cặp chuyển dời nổi tầng chúng ta cần dựa vào thông tin từ các thí nghiệm khác. Trong luận văn này, học viên sử dụng dữ liệu đã được đánh giá của thư viện ENSDF (Adopted Levels and Gammas Section) để thiết lập thứ tự các cặp chuyển dời nổi tầng. Chuyển dời từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái 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. Chuyển dời sơ cấp, thứ cấp và trạng thái kích thích trung gian lần lượt được ký hiệu là E_1 , E_2 , và E_i trong các Bảng 3.1 và 3.2. Thứ tự của một cặp nổi tầng được lựa chọn sao cho có nhiều thông tin trong đó phù hợp với các giá trị hiện có trong thư viện nhất. Ví dụ, cặp nổi tầng 5515,9 - 547,1 keV sẽ được sắp xếp là $E_1 = 5515,9$ keV, $E_2 = 547,1$ keV, và $E_i = 547,0$ keV vì theo cách sắp xếp này, E_1 , E_2 và E_i đều phù hợp với các giá trị hiện có trong thư viện ENSDF. Trong các Bảng 3.1 và 3.2, các giá trị thực nghiệm thu được trùng lặp với các giá trị trong thư viện ENSDF được in đậm. Giá trị thực nghiệm được coi là trùng lặp với giá trị trong thư viện số liệu khi độ sai khác nhau giữa hai giá trị nhỏ hơn hoặc bằng 2 keV hoặc hai giá trị chồng chập nhau trong phạm vi sai số. Cũng trong các Bảng 3.1 và 3.2, các cặp chuyển dời không đủ thông tin để sắp xếp thứ tự được in nghiêng, các giá trị trong ngoặc là sai số tương ứng và $I_{\gamma\gamma}$ là cường độ tương đối giữa các cặp chuyển dời nổi tầng theo đơn vị tùy ý.

Bảng 3.1: Danh sách các chuyển dời nổi tầng về trạng thái cơ bản.
Giải thích chi tiết các thành phần trong Bảng được trình bày trong
Chương 3 của luận văn

<i>E1 (keV)</i>	<i>E2 (keV)</i>	<i>Ei (keV)</i>	<i>I_{γγ}</i>
5515,9 (1,0)	547,1 (1,0)	547,0 (1,4)	26 (6)
5343,5 (1,2)	719,5 (1,2)	719,4 (1,6)	21 (5)
5152,9 (0,7)	909,7 (1,3)	910,0 (1,4)	26 (10)
<i>5150,7 (1,4)</i>	<i>912,2 (1,5)</i>	-	<i>24 (10)</i>
5103,5 (1,2)	959,4 (1,2)	959,4 (1,6)	12 (4)
5006,4 (0,6)	1056,5 (1,0)	1056,5 (1,1)	65 (9)
4980,4 (0,8)	1082,6 (0,9)	1082,5 (1,2)	34 (6)
4793,2 (0,5)	1269,6 (0,5)	1269,7 (0,7)	166 (14)
<i>4757,2 (0,7)</i>	<i>1305,7 (0,7)</i>	-	<i>80 (10)</i>
4743,2 (1,1)	1319,7 (1,1)	1319,7 (1,5)	35 (7)
4674,7 (1,4)	1388,0 (1,3)	1388,2 (1,9)	42 (7)
4618,0 (0,5)	1444,9 (0,5)	1444,9 (0,7)	143 (13)
4591,2 (1,3)	1471,9 (1,3)	1471,7 (1,8)	32 (7)
4564,8 (0,9)	1498,1 (0,8)	1498,1 (1,2)	80 (11)
4534,3 (1,1)	1528,7 (1,1)	1528,6 (1,5)	41 (7)
4483,2 (0,8)	1579,3 (0,7)	1579,7 (1,0)	70 (10)

(xem tiếp ở trang sau)

<i>E1 (keV)</i>	<i>E2 (keV)</i>	<i>Ei (keV)</i>	<i>I_{γγ}</i>
4479,1 (1,1)	1583,4 (1,0)	1583,8 (1,4)	31 (7)
4458,5 (0,7)	1604,4 (0,7)	1604,4 (0,9)	60 (8)
4315,9 (0,4)	1747,0 (0,4)	1747,0 (0,5)	355 (21)
4291,5 (0,8)	1771,4 (0,8)	-	61 (10)
4280,6 (0,3)	1782,4 (0,3)	-	307 (21)
4275,3 (1,0)	1786,8 (0,7)	-	127 (15)
4269,9 (0,7)	1793,0 (0,7)	-	71 (11)
4152,4 (1,1)	1910,2 (0,9)	-	60 (9)
4138,0 (0,6)	1924,6 (0,7)	1924,9 (0,9)	79 (11)
4111,7 (0,8)	1951,2 (0,9)	-	32 (7)
4106,2 (0,9)	1956,8 (0,9)	-	35 (7)
4001,0 (0,8)	2062,0 (0,9)	-	55 (9)
3981,6 (1,2)	2081,3 (1,2)	2081,3 (1,6)	49 (9)
3976,2 (1,8)	2086,7 (1,8)	-	35 (8)
3813,4 (0,9)	2249,5 (0,9)	-	55 (10)
3796,0 (1,1)	2266,9 (1,2)	-	38 (7)
3777,5 (1,1)	2285,5 (1,2)	-	31 (8)
3771,7 (1,4)	2291,2 (1,4)	-	31 (9)
3766,9 (0,9)	2296,1 (0,8)	-	67 (13)

Bảng 3.2: Danh sách các chuyển dời nổi tầng về trạng thái 16,273 keV. Giải thích chi tiết các thành phần trong Bảng được trình bày trong Chương 3 của luận văn.

<i>E1 (keV)</i>	<i>E2 (keV)</i>	<i>E_i (keV)</i>	<i>I_{γγ}</i>
4884,8 (1,2)	1161,8 (1,2)	-	72 (12)
4713,6 (0,6)	1333,1 (0,6)	1349,3 (0,8)	146 (21)
4709,9 (1,3)	1336,8 (1,3)	-	71 (17)
4643,2 (0,9)	1403,5 (0,9)	-	80 (13)
4578,6 (1,0)	1468,1 (0,3)	1484,3 (1,0)	475 (32)
4548,4 (0,6)	1498,3 (0,6)		144 (18)
4502,8 (0,6)	1543,8 (0,6)		209 (21)

Các kết quả trong Bảng 3.1 và 3.2 cho thấy sự phù hợp tốt nhất giữa kết quả thu được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng tại Viện nghiên cứu hạt nhân với các dữ liệu đã có trong thư viện. Cụ thể, 22 trạng thái kích thích ghi nhận được đều phù hợp với các dữ liệu hiện có trong thư viện trong phạm vi sai số. Phần lớn các chuyển dời sơ cấp đã được ghi nhận đều phù hợp với dữ liệu trong thư viện số liệu, chỉ có 5 chuyển dời sơ cấp là 4743,2; 4591,2; 4479,1; 3981,6 và 4713,6 keV được xác định trong thí nghiệm này nhưng chưa được ghi nhận trong thư viện số liệu. Đối với các chuyển dời thứ cấp, hầu hết các dữ liệu ghi nhận được trong thí nghiệm phân rã gamma nổi tầng đều chưa được ghi nhận trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF.

Ta cũng có thể quan sát thấy rằng, số lượng chuyển dời nối tầng tương ứng với trạng thái cuối là trạng thái cơ bản nhiều hơn rất nhiều so với khi trạng thái cuối là trạng thái 16,273 keV. Điều này có thể được giải thích là do trạng thái cơ bản có spin 3^- , trong khi trạng thái 16,273 có spin 5^+ . Với spin mức cuối là $3\hbar$ và giả thiết là các chuyển dời ghi nhận được đều là các chuyển dời lưỡng cực $L = 1$, cả hai giá trị spin khả dĩ của trạng thái hợp phần 6062,92 keV là 3 và $4\hbar$ đều có thể đóng góp vào các chuyển dời nối tầng ghi nhận được. Trong khi đó với spin mức cuối là $5\hbar$, chỉ có spin trạng thái 6062,92 với spin bằng $4\hbar$ mới có thể tạo ra các cặp nối tầng ghi nhận được.

Xét một nối tầng từ trạng thái E_i qua trạng thái trung gian E_m về trạng thái cuối E_f có spin lần lượt là J_i , J_m và J_f . Nếu giả thiết các chuyển dời có bậc đa cực $L = 1$ thì ta có thể đánh giá được các giá trị J_m khả dĩ của chuyển dời nối tầng khi biết J_i và J_f dựa trên quy tắc dịch chuyển đã được trình bày trong mục . Cụ thể, với $J_i = 3, 4\hbar$, J_m khả dĩ trong trường hợp $J_f = 3\hbar$ sẽ là $J_m = 3, 4, 5\hbar$, còn khi $J_f = 5\hbar$ các giá trị khả dĩ của J_m sẽ là $4, 5\hbar$. Trên cơ sở này, học viên tiến hành xác định spin khả dĩ cho các trạng thái ghi nhận được trong thí nghiệm phân rã gamma nối tầng của hạt nhân ^{182}Ta . Bảng 3.3 liệt kê toàn bộ các trạng thái kích thích ghi nhận được cùng spin khả dĩ của chúng. Giá trị tương ứng trong thư viện ENSDF cũng được đưa ra. Ta có thể thấy, dải spin khả dĩ xác định trong nghiên cứu này có sự phù hợp rất tốt với dữ liệu hiện có trong thư viện ENSDF. Sự không phù hợp duy nhất ghi nhận được là spin của trạng thái 910.0 keV. Trạng thái này được xác định trong thư viện là trạng thái 909.8 keV với spin bằng $5\hbar$, nằm ngoài dải spin khả dĩ trong nghiên cứu này là $(2, 3, 4)\hbar$.

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)
547,0	(2, 3, 4)	547,103	(3) ⁻
719,4	(2, 3, 4)	719,552	(3) ⁻
910,0	(2, 3, 4)	909,8	5 ⁻
959,4	(2, 3, 4)	960,415	(4) ⁻
1056,5	(2, 3, 4)	1057,3	3 ⁻ , 4 ⁻
1082,5	(2, 3, 4)	1082	3 ⁻ , 4 ⁻
1269,7	(2, 3, 4)	1269,5	3 ⁻ , 4 ⁻
1319,7	(2, 3, 4)	1321	3 ⁻ , 4 ⁻
1349,3	(4, 5)	1350,5	3 ⁻ , 4 ⁻
1388,2	(2, 3, 4)	1389	3 ⁻ , 4 ⁻
1444,9	(2, 3, 4)	1445,1	3 ⁻ , 4 ⁻
1471,7	(2, 3, 4)	1471,9	3 ⁻ , 4 ⁻

(xem tiếp ở trang sau)

Bảng 3.3: tiếp theo			
Nghiên cứu này		ENSDF	
Năng lượng (keV)	Spin (\hbar)	Năng lượng (keV)	Spin (\hbar)
1498,1	(2, 3, 4)	1496,4	3^- , 4^-
1528,6	(2, 3, 4)	1527,1	3^- , 4^-
1579,7	(2, 3, 4)	1579,8	
1583,8	(2, 3, 4)	1582,3	3^- , 4^-
1604,4	(2, 3, 4)	1604,9	3^- , 4^-
1747,0	(2, 3, 4)	1746,5	3^- , 4^-
1924,9	(2, 3, 4)	1924,5	
2081,3	(2, 3, 4)	2080,8	

Bên cạnh việc xác định năng lượng của các chuyển dời gamma nội tầng, ta cũng có thể xác định được loại chuyển dời (điện hay từ) của các chuyển dời gamma nếu biết đặc trưng của các trạng thái đầu và cuối. Ví dụ, chuyển dời 547,1 keV từ trạng thái kích thích đầu 547.1030 keV (3^-) về trạng thái cuối 0 keV (3^-) sẽ là một chuyển dời lưỡng cực từ ($M 1$). Chi tiết về các xác định loại chuyển dời đã được trình bày trong mục 3. Việc xác định loại chuyển dời đòi hỏi phải biết độ chẵn lẻ của mức kích thích đầu và cuối, đây là các thông tin không thể được xác định trong thí nghiệm phân rã gamma nội tầng do đó các thông tin từ thư viện ENSDF được sử dụng thay thế. Bảng 3.4 đánh giá loại chuyển dời cho tất cả các mức kích thích ghi nhận được. Hầu hết các chuyển dời gamma đều là loại $E1$ hoặc $M 1$. Các chuyển dời có bậc đa cực lớn hơn như $E2$ và $M 2$ xuất hiện nhưng rất hiếm. Điều này hoàn toàn phù hợp với các hiểu biết lý thuyết hiện nay, rằng xác suất xảy ra các chuyển dời có bậc đa cực nhỏ lớn hơn xác suất xảy ra các chuyển dời có bậc đa cực lớn. Ngoài ra, ta có thể thấy các chuyển dời xuất phát từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV hầu hết là các chuyển dời điện (E) trong khi các chuyển dời thứ cấp hầu hết là các chuyển dời từ (M). Các nghiên cứu tiếp theo, chi tiết hơn là cần thiết để có thể giải thích về hiện tượng này.

Bảng 3.4: Đánh giá loại chuyển dời một số chuyển dời gamma ghi nhận được trong thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng của ^{182}Ta tại Viện nghiên cứu hạt nhân. E_γ là năng lượng của chuyển dời gamma, $E_i, J_i^\pi, E_f, J_f^\pi$ là năng lượng, spin và độ chẵn lẻ của các trạng thái đầu và trạng thái cuối tương ứng.

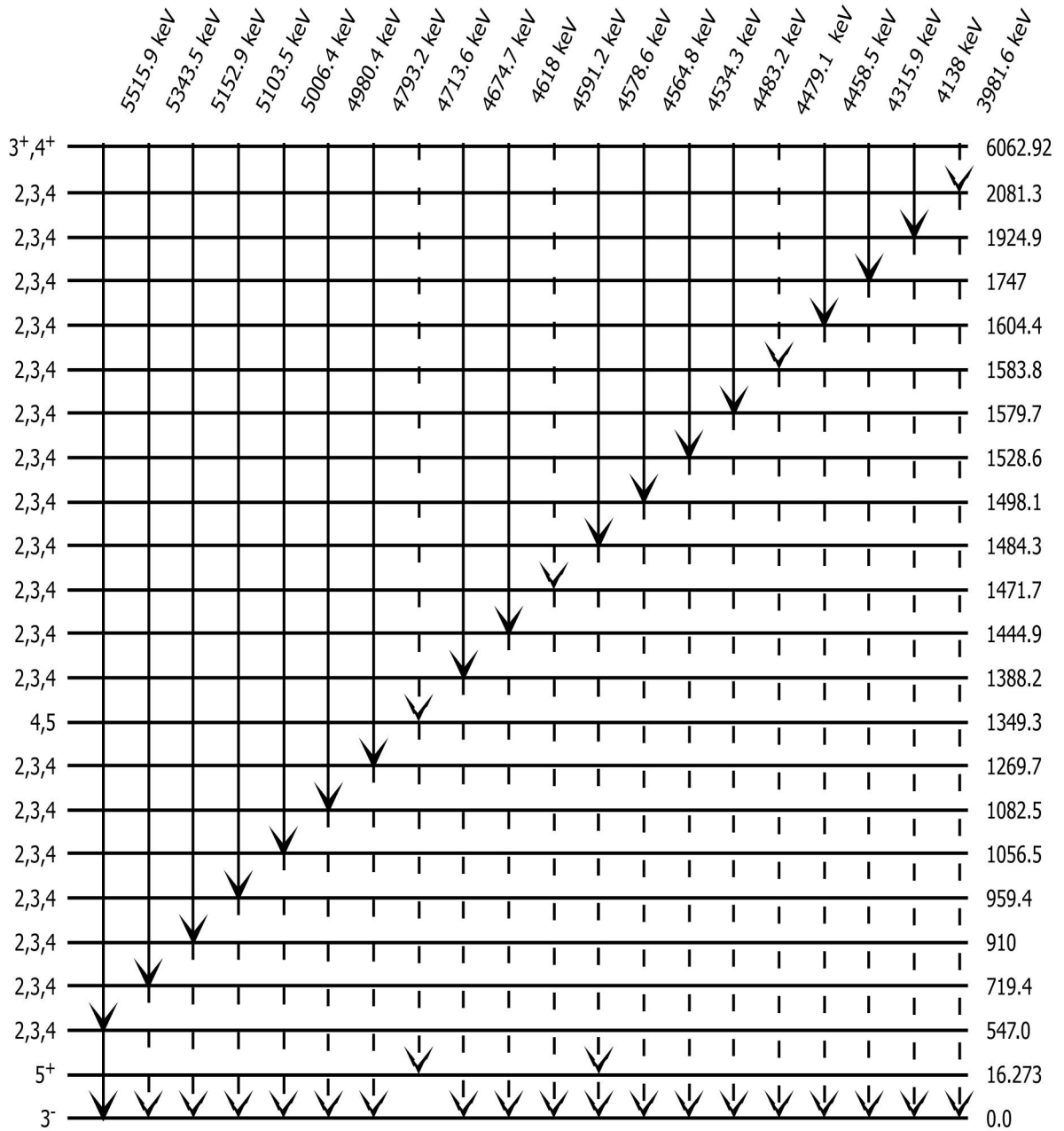
E_γ (keV)	E_i (keV)	J_i^π (\hbar)	E_f (keV)	J_f^π (\hbar)	Loại chuyển dời
547.1	547.1030	3^-	0	3^-	M1
719.5	719.4	(3^-)	0	3^-	M1
909.7	910	5^-	0	3^-	E2
959.4	959.4	(4^-)	0	3^-	M1
1056.5	1056.5	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1082.6	1082.5	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1269.6	1269.7	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1319.7	1319.7	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1331,1	1349,3	$3^-, 4^-$	16,273	5^+	M2, E1
1388	1388.2	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1444.9	1444.9	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1471.9	1471.7	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1498.1	1498.1	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1528.7	1528.6	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1

*(xem tiếp ở trang sau)***Bảng 3.4:** (tiếp theo)

E_γ (keV)	E_i (keV)	J_i^π (\hbar)	E_f (keV)	J_f^π (\hbar)	Loại chuyển đổi
1583.4	1583.8	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1604.4	1604.4	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
1747	1747	$3^-, 4^-$	0	3^-	M1
4315.9	6062.92	$3^+, 4^+$	1746.5	$3^-, 4^-$	E1
4458.5	6062.92	$3^+, 4^+$	1604.9	$3^-, 4^-$	E1
4534.3	6062.92	$3^+, 4^+$	1527	$3^-, 4^-$	E1
4564.8	6062.92	$3^+, 4^+$	1496.4	$3^-, 4^-$	E1
4618	6062.92	$3^+, 4^+$	1445.1	$3^-, 4^-$	E1
4674.7	6062.92	$3^+, 4^+$	1389	$3^-, 4^-$	E1
4793.2	6062.92	$3^+, 4^+$	1269.5	$3^-, 4^-$	E1
4980.4	6062.92	$3^+, 4^+$	1082	$3^-, 4^-$	E1
5006.4	6062.92	$3^+, 4^+$	1057	$3^-, 4^-$	E1
5103.5	6062.92	$3^+, 4^+$	960.528	(5^-)	M2, E1
5152.9	6062.92	$3^+, 4^+$	909.8	5^-	M2, E1
5343.5	6062.92	$3^+, 4^+$	719.552	$(3)^-$	E1
5515.9	6062.92	$3^+, 4^+$	547.103	$(3)^-$	E1

3.2. THẢO LUẬN

Tổng hợp các kết quả thu được, Hình 3.1 đưa ra sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xác định trên cơ sở các chuyển dời nối tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cuối là trạng thái cơ bản và trạng thái 16,273 keV. Các mức kích thích và các chuyển dời gamma phù hợp với dữ liệu hiện có trong thư viện được thể hiện bằng các đường kẻ ngang hoặc mũi tên liền nét. Các đường nét đứt là các dữ liệu chưa xuất hiện trong thư viện. Tổng cộng 22 cặp chuyển dời gamma nối tầng đã được đưa ra trong Hình 3.1. Đây là các cặp chuyển dời nối tầng mà các dữ liệu hiện có cho phép sắp xếp thứ tự. Ngoài ra còn nhiều cặp chuyển dời nối tầng khác ghi nhận được (in nghiêng trong các Bảng 3.1 và 3.2) được quan sát thấy nhưng không xác định được thứ tự để đưa vào sơ đồ mức. Nhìn chung các kết quả thu được tái lập rất tốt các dữ liệu đã biết thông qua các nghiên cứu trước đây, vì vậy các dữ liệu chưa có trong thư viện được quan sát thấy trong nghiên cứu này có khả năng rất cao sẽ là các dữ liệu mới, bổ sung vào kho tàng sơ đồ mức hạt nhân thực nghiệm. Tuy nhiên, để đi đến kết luận này với độ tin cậy cao nhất, ta cần tiến hành bổ sung một số thí nghiệm kiểm chứng độc lập cũng như tiến hành đánh giá thông qua một số mô hình tính toán lý thuyết.



Hình 3.1: Sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta xây dựng từ số liệu phân rã gamma nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV về trạng thái cơ bản và trạng thái 16,273 keV.

Ngoài ra, việc còn rất nhiều cặp nối tầng chưa thể sắp xếp thứ tự cho thấy dữ liệu thực nghiệm về sơ đồ mức của ^{182}Ta vẫn còn thiếu nhiều và cần có các nghiên cứu để bổ sung.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Thông qua luận văn này, học viên đã tìm hiểu và thực hành thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng sử dụng phổ kế trùng phùng gamma - gamma tại Viện nghiên cứu hạt nhân để nghiên cứu sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta . Học viên đã cùng với các thành viên của phòng thí nghiệm tham gia vào quá trình thực nghiệm và xử lý số liệu. Các chuyển dời nổi tầng tương ứng với các trạng thái cuối là trạng thái 0 keV và trạng thái 16,273 keV là các đối tượng chính mà học viên quan tâm.

Ngoài ra, học viên cũng đã áp dụng các kiến thức lý thuyết được học về phản ứng hạt nhân và cấu trúc hạt nhân vào bài toán thực tế. Cụ thể, học viên đã tiến hành sắp xếp thứ tự các chuyển dời gamma dựa trên các thông tin về đặc trưng của các mức kích thích hạt nhân đưa ra trong thư viện số liệu hạt nhân ENSDF và đánh giá loại chuyển dời khả dĩ cho một số chuyển dời gamma ghi nhận được.

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

- Xác định được 37 cặp chuyển dời nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV của ^{182}Ta về trạng thái cơ bản;
- Xác định được 7 cặp chuyển dời nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6062,92 keV của ^{182}Ta về trạng thái 16,273 keV;
- Đánh giá dải spin khả dĩ và so sánh với dữ liệu trong thư viện ENSDF cho 22 mức kích thích ghi nhận được;
- Đánh giá loại chuyển dời cho 30 chuyển dời gamma ghi nhận được;
- Xây dựng được sơ đồ mức riêng phần của ^{182}Ta từ 22 cặp chuyển dời nổi tầng xác định được thứ tự;

- Các kết quả thực nghiệm được so sánh với dữ liệu trong thư viện ENSDF và cho thấy sự phù hợp tốt, qua đó khẳng định độ tin cậy của nghiên cứu;
- Ghi nhận nhiều dữ liệu chưa tồn tại trong thư viện dữ liệu hạt nhân ENSDF, tuy nhiên cần thêm các nghiên cứu bổ sung để có thể khẳng định rằng đây là các dữ liệu mới và cần được cập nhật vào thư viện dữ liệu ENSDF.

KIẾN NGHỊ

Để phát triển và hoàn thiện các kết quả nghiên cứu trong luận văn, học viên kiến nghị tiếp tục tiến hành cách nghiên cứu bổ sung, áp dụng các kỹ thuật phân tích hiện đại hơn, để tăng cường độ chính xác và nâng cao độ tin cậy của các kết quả thu được. Các nghiên cứu lý thuyết về phân rã nối tầng cũng nên được tiến hành để có thể giải thích các hiện tượng vật lý, quan sát thấy trong thí nghiệm đo phân rã gamma nối tầng của hạt nhân ^{182}Ta tại Viện Nghiên cứu hạt nhân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. E. Rutherford, 1912, The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom, *Philosophical Magazine*, 92(4), pp. 379-398.
2. J. Chadwick, 1932, Possible existence of a neutron, *Nature*, 129(3252), pp. 312–312.
3. <https://www.nndc.bnl.gov/>.
4. R. Capote, M. Herman, P. Obložinský, P. Young, S. Goriely, T. Belgya, A. Ignatyuk, A. Koning, S. Hilaire, V. Plujko, M. Avrigeanu, O. Bersillon, M. Chadwick, 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.
5. K. S. Krane, 1991, Introductory nuclear physics, *John Wiley & Sons*.
6. J.M. Blatt, V.F. Weisskopf, 1991, Theoretical nuclear physics, *Courier Corporation*.
7. [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)).
8. <https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>.
9. N. Ngoc Anh, N. Quang Hung, N. Xuan Hai, P. Dinh Khang, A.M. Sukhovoij, L.V. Mitsyna, H. Huu Thang, L. Hong Khiem, 2019, Level scheme of ^{153}Sm obtained from the $^{152}\text{Sm}(\text{nth}, \gamma)$ reaction using a $\gamma - \gamma$ coincidence spectrometer, *Physical Review C*, 100, pp 024324.
10. 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 $^{163}\text{Dy}(\text{nth}, 2\gamma)$ experiment, *Nuclear Physics A*, 1007, pp 122136.

11. B. Singh, 2015, Nuclear data sheets for $A = 182$, *Nuclear Data Sheets*, 130, pp. 21–126.
12. 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.
13. S.-C. Wu, 2025, Nuclear data sheets for $A = 181$, *Nuclear Data Sheets*, 106(3), pp. 367–600.
14. G. F. Knoll, 2010, Radiation detection and measurement, *John Wiley & Sons*.
15. 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.
16. R. G. Helmer, R. C. Greenwood, C. W. Reich, 1971, Level structure of ^{182}Ta , *Nuclear Physics A*, 168(449).
17. T. E. Ward, P. E. Haustein, J. B. Cumming, Y. Y. Chu, 1974, Decay of the $K\pi = 8^-$ isomer in ^{182}Hf , *Physical Review C*, 10(1986).
18. 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).
19. 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).
20. 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. De-lang, P. Gottel, H. Seyfarth, 1979, Nuclear levels in the doubly odd ^{182}Ta nucleus, *Physical Review C*, 20(504).
21. W. Andrejtscheff, P. Manfrass, W. Seidel, 1974, Transition

- probabilities in the doubly odd nuclei ^{176}Lu and ^{182}Ta , *Nuclear Physics A*, 226(142).
22. O. A. Wasson, R. E. Chrien, M. A. Lone, M. R. Bhat, M. Beer, 1969, Resonance neutron capture in $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)^{182}\text{Ta}$, *Nuclear Physics A*, 132(161).
 23. 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).
 24. 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).
 25. 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).
 26. 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).
 27. L. M. Bollinger, J. R. Erskine, G. E. Thomas, 1973, *private Communication*.
 28. J. R. Erskine, W. W. Buechner, 1964, 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).
 29. 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).
 30. N. A. Nguyen, X. H. Nguyen, D. K. Pham, Q. H. Nguyen, H. T. Ho, 2017, Updated level scheme of ^{172}Yb from $^{171}\text{Yb}(\text{nth}, \gamma)$ reaction

- studied via gamma–gamma coincidence spectrometer, *Nuclear Physics A*, 964, pp. 55–68.
31. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>.
 32. N. X. Hai, 2010, *Ứng dụng phương pháp cộng biên độ các xung trùng phùng nghiên cứu phân rã gamma nối tầng của hạt nhân Yb và Sm trên lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt*, Luận án tiến sĩ, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam.
 33. A. Hoogenboom, 1958, A new method in gamma-ray spectroscopy: A two crystal scintillation spectrometer with improved resolution, *Nuclear Instruments*, 3, pp. 57–68.
 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.
 35. N. Anh, 2018, Experimental study on level structure of excited ^{172}Yb and ^{153}Sm nuclei using neutron beam from Dalat nuclear research reactor, Luận án tiến sĩ, *Vietnam Atomic Energy Institute* .