

## XÁC ĐỊNH THỜI GIAN BÁN RÃ, ĐỘ RỘNG MỨC VÀ HÀM LỰC DỊCH CHUYỂN E1 CỦA $^{49}\text{Ti}$ BẰNG PHẢN ỨNG $^{48}\text{Ti}(n, 2\gamma)^{49}\text{Ti}$

NGUYỄN AN SƠN<sup>\*</sup>, PHẠM ĐÌNH KHANG<sup>\*\*</sup>, NGUYỄN ĐỨC HÒA<sup>\*\*\*</sup>

### TÓM TẮT

Thực nghiệm này nghiên cứu phản ứng  $^AX(n, 2\gamma)^{A+1}X$  với hạt nhân bia  $^{48}\text{Ti}$  trên chùm neutron nhiệt tại kênh số 3 của Lò phản ứng Đà Lạt. Hệ phổ kế thực nghiệm là hệ trùng phùng gamma-gamma ghi đo theo phương pháp “sự kiện-sự kiện”. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu của  $^{49}\text{Ti}$  với các chuyển dời nối tầng thu được từ thực nghiệm. Thời gian bán rã, độ rộng mức và hàm lực dịch chuyển E1 được tính toán dựa trên mẫu đơn hạt.

**Từ khóa:** phản ứng  $^AX(n_{th}, 2\gamma)^{A+1}X$ , thời gian bán rã, độ rộng phóng xạ riêng phần, hàm lực E1.

### ABSTRACT

*Determinating the level of half-life, the gamma width level and the E1 transition strength of  $^{52}\text{V}$  by  $^{51}\text{V}(n_{th}, 2\gamma)^{52}\text{V}$  reaction*

*In this experiment, we studied  $^AX(n, 2\gamma)^{A+1}X$  reaction on  $^{48}\text{Ti}$  which is activated by thermal neutron of 3<sup>rd</sup> channel in Da Lat nuclear power station. The experimental system is gamma-gamma coincidence recorded with the “event-event” method. This report presents some results of  $^{49}\text{Ti}$  from the gamma two-step cascade energies experiment. The level of half-life, the gamma width level and E1 transition strength are calculated single particle model.*

**Keywords:**  $^AX(n_{th}, 2\gamma)^{A+1}X$  reaction, the level half-life, gamma width level, E1 transition strength.

### 1. Mở đầu

Hạt nhân  $^{49}\text{Ti}$  là hạt nhân nhẹ, có cấu trúc đơn giản, không suy biến. Các nghiên cứu trước đây như của P. Carlos và các cộng sự [3] đã xác định được spin ở mức 8,1 MeV là  $1/2^+$ . Sau đó, bằng phản ứng (d, p), P. Fettweis và M. Saidane [4] đã nghiên cứu và đo đạc được một số mức trung gian, có sự khác biệt so với công trình [3] đã công bố. Báo cáo tiếp theo của J.F.A. Ruyl và các cộng sự [1] đã tính được một số hàm lực dịch chuyển M2 của một số năng lượng gamma.

<sup>\*</sup> NCS, Trường Đại học Đà Lạt

<sup>\*\*</sup> TS, Trung tâm đào tạo Hạt nhân Hà Nội

<sup>\*\*\*</sup> PGS TS, Trường Đại học Đà Lạt

Trong thực nghiệm này, sử dụng bia mẫu  $^{48}\text{Ti}$ , được kích hoạt bằng neutron nhiệt tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng Đà Lạt với phản ứng hạt nhân  $^{48}\text{Ti}(n_{th}, 2\gamma)^{49}\text{Ti}$ . Hệ thực nghiệm là hệ trùng phùng gamma – gamma ghi đo theo phương pháp sự kiện – sự kiện. Hệ được xây dựng thành công vào cuối năm 2005, mục đích chính của các nghiên cứu trước đây trên hệ thực nghiệm này là nghiên cứu cấu trúc hạt nhân [5].

Trên kết quả thu được của chuyển dời nổi tầng, chúng tôi tính toán một số giá trị đặc trưng của hạt nhân  $^{49}\text{Ti}$  như thời gian bán rã, độ rộng mức và tính toán hàm lực chuyển dời lưỡng cực điện E1 của các chuyển dời từ trạng thái kích thích  $B_n$  về trạng thái cơ bản.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Độ rộng mức toàn phần của chuyển dời gamma ( $\Gamma_\gamma$ ) của một trạng thái kích thích phụ thuộc vào thời gian sống trung bình của mức ( $\tau_m$ ) [2]:

$$\Gamma_\gamma = \frac{h}{\tau_m} \tag{1}$$

trong đó,  $h$  là hằng số Dirac. Thời gian sống trung bình liên hệ với thời gian bán rã theo công thức:

$$t_{1/2} = \tau_m \ln 2 \tag{2}$$

Áp dụng với mẫu đơn hạt, thời gian bán rã của mức được xác định theo dịch chuyển điện từ với [2, 6]:

$$t_{1/2}(EL) = \frac{\ln 2}{2} \frac{L[(2L+1)!!]^2 h}{(L+1)e^2 R^{2L}} \left(\frac{3+L}{3}\right)^2 \left(\frac{hc}{E_\gamma}\right)^{2L+1} \tag{3}$$

$$t_{1/2}(ML) = \frac{\ln 2}{80} \frac{L[(2L+1)!!]^2 h}{(L+1)\mu_N^2 R^{2L-2}} \left(\frac{3+L}{3}\right)^2 \left(\frac{hc}{E_\gamma}\right)^{2L+1}$$

trong đó:  $L$  là bậc đa cực của bức xạ gamma,  $E$  là năng lượng của bức xạ gamma (keV),  $R$  là bán kính hạt nhân,  $e^2 = 1.440 \times 10^{-10} \text{keV.cm}$ ,  $\mu_N^2 = 1.5922 \times 10^{-23} \text{keV.cm}^3$ .

Nếu ở cùng một trạng thái kích thích có nhiều bức xạ gamma phát ra thì độ rộng mức riêng phần của bức xạ gamma thứ  $i$  ( $\Gamma_{\gamma_i}$ ) được cho bởi:

$$\Gamma_{\gamma_i} = \Gamma_\gamma B.R_{\gamma_i} \tag{4}$$

trong đó,  $B.R_{\gamma_i}$  là hệ số rẽ nhánh của bức xạ gamma thứ  $i$ . Hệ số rẽ nhánh được xác định:

$$B.R_{\gamma_i} = \frac{I_{\gamma_i}}{I_{\text{tot}}} \times 100\% \tag{5}$$

với  $I_{\gamma_i}$  là cường độ chuyển dời của bức xạ gamma thứ  $i$ ,  $I_{tot}$  là cường độ tổng cộng của một mức năng lượng.

Hàm lực chuyển dời điện, từ của bức xạ gamma  $|M(EL,ML)|^2$  được xác định từ độ rộng bức xạ theo công thức [2]:

$$|M(EL,ML)|^2 = \frac{\Gamma_{\gamma}(EL,ML)}{\Gamma_{\gamma_{Wu}}(EL,ML)} \quad (\text{đơn vị W.u.}) \quad (6)$$

$\Gamma_{\gamma_{Wu}}(EL,ML)$  là độ rộng phóng xạ riêng phần của dịch chuyển điện từ theo đơn vị Weisskopf (W.u).

Trường hợp dịch chuyển hỗn hợp tứ cực điện và lưỡng cực từ ( $E2 + M1$ ) thì độ rộng mức riêng phần của chuyển dời tứ cực điện  $\Gamma_{\gamma}(E2)$  và lưỡng cực từ  $\Gamma_{\gamma}(M1)$  sẽ là:

$$\Gamma_{\gamma}(M1) + \Gamma_{\gamma}(E2) = \Gamma_{\gamma} \quad (7)$$

Cường độ chuyển dời gamma nổi tầng được xác định tỉ lệ với diện tích của đỉnh năng lượng chuyển dời:

$$I_i^{\gamma-\gamma} = \frac{S_i^{\gamma-\gamma}}{\sum_1^n S_i^{\gamma-\gamma}} \quad (8)$$

trong đó,  $S_i^{\gamma-\gamma}$  là diện tích đã chuẩn hiệu suất của đỉnh thứ  $i$  trong chuyển dời nổi tầng.

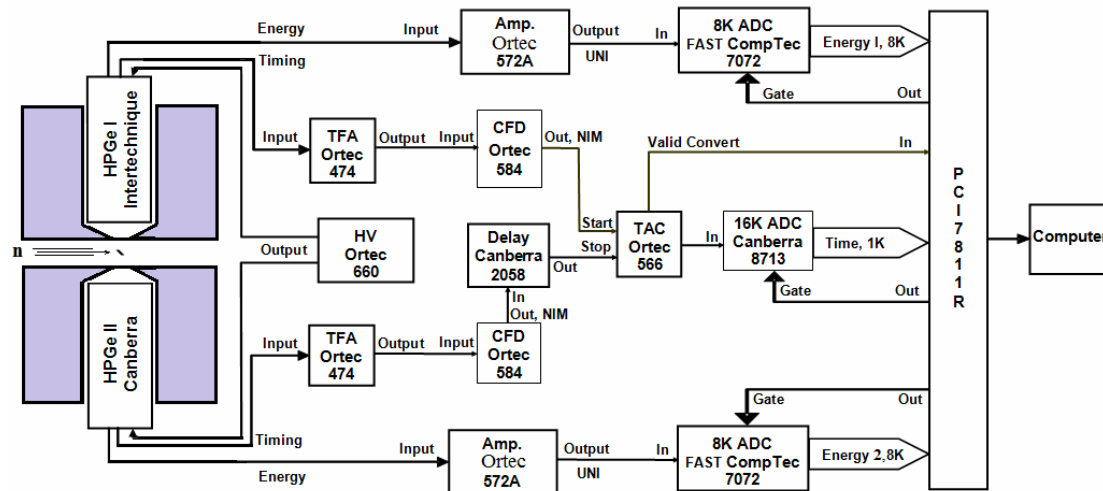
### 3. Thực nghiệm

Đo đạc thực nghiệm trên bia mẫu Titan tự nhiên. Độ phổ biến và tiết diện bắt neutron của các đồng vị Titan trong bia mẫu tương ứng là:  $^{46}\text{Ti}$  8,25%,  $\sigma = 0,6$  barn;  $^{47}\text{Ti}$  7,44%,  $\sigma = 1,6$  barn;  $^{48}\text{Ti}$  73,72%,  $\sigma = 7,9$  barn;  $^{49}\text{Ti}$  5,41%,  $\sigma = 1,9$  barn;  $^{50}\text{Ti}$  5,18%,  $\sigma = 0,179$  barn. [7]

Thời gian đo thực nghiệm là 300 giờ. Góc đo bố trí giữa chùm neutron, bia mẫu và detector được đặt sao cho xác suất ghi bức xạ gamm phát ra từ bia mẫu là lớn nhất. Trong thực nghiệm này, bia mẫu đặt lệch  $45^0$  so với chùm neutron, hai detector được đặt đối xứng nhau  $180^0$ . Thông lượng neutron nhiệt tại vị trí đặt mẫu  $\sim 10^6 \text{n/cm}^2/\text{s}$ , hệ số cadmi là 900 (đo với hộp cadmi dày 1 mm).

Quá trình hoạt động của hệ thực nghiệm có thể mô tả tóm tắt như sau: tín hiệu năng lượng từ hai detector được khuếch đại và tạo dạng bởi khối khuếch đại (Amp. 572A). ADC 7072 biến đổi tín hiệu lối ra của khối khuếch đại thành tín hiệu dạng số. Tín hiệu thời gian từ hai detector được khối khuếch đại nhanh (TFA 474) khuếch đại và tạo dạng. Tín hiệu lối ra từ TFA 474 đi vào khối gạt ngưỡng hằng (CFD 584). Lối ra của hai CFD đi vào ngõ start và stop của TAC, trong đó có một đường tín hiệu của lối ra CFD được đánh trễ một khoảng tỉ lệ với thời gian của cửa sổ trùng phùng. Lối ra

valid convert của TAC mang tín hiệu điều khiển, dùng điều khiển ADC 7072 cho phép hay không cho phép biến đổi. Tín hiệu lỗi ra của TAC là tín hiệu tương tự được biến đổi sang tín hiệu dạng số bởi ADC 8713, mang thông tin về mặt thời gian.



Hình 1. Sơ đồ hệ thực nghiệm [5]

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Năng lượng, cường độ tương đối, spin, mức trung gian của cặp chuyển dời nội tầng

<sup>49</sup>Ti là hạt nhân chẵn – lẻ, gồm 22 proton và 27 neutron. Ở mức cơ bản spin và độ chẵn lẻ của <sup>49</sup>Ti là 7/2<sup>-</sup>. Theo lí thuyết khi bắt neutron sóng s, hạt nhân ở dạng hợp phần, có spin và độ chẵn lẻ khả dĩ là J<sup>π</sup> ± 1/2. Kết quả của những nghiên cứu trước đây cho thấy <sup>49</sup>Ti ở trạng thái hợp phần khi bắt neutron có spin và độ chẵn lẻ là 1/2<sup>+</sup>. [1,3,4,8]

Bảng 1. Một số kết quả thực nghiệm thu được từ phản ứng <sup>48</sup>Ti(n, 2γ)<sup>49</sup>Ti

E1(keV)	E2(keV)	E <sub>L</sub> (keV)	Spin thực nghiệm	Spin Ref. [1,3,4]	I(%) Thực nghiệm	I(%) Ref. [8]
<b>E1 + E2 = 8142,50 keV, Ef = 0 keV</b>						
6761,08	1381,42	1381,42	3/2 <sup>-</sup>	3/2 <sup>-</sup>	46,300(269)	46,300
6556,06	1585,44	1585,44	3/2 <sup>-</sup>	3/2 <sup>-</sup>	5,919(312)	5,090
<b>E1 + E2 = 6761,08 keV, Ef = 1381,42 keV</b>						
6419,04	341,29	1722,96	1/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	4,145(437)	24,280
4966,86	1793,47	3175,14	1/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	2,703(213)	2,570
4713,83	2046,50	3428,17	1/2 <sup>+</sup>	3/2 <sup>-</sup>	0,494(104)	0,260

4353,78	2405,54	3788,22	1/2 <sup>+</sup>	3/2 <sup>-</sup>	0,468(231)	0,211
3920,73	2839,60	4221,27	1/2 <sup>-</sup> , 3/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	1,561(311)	0,299
3026,62	3733,71	5115,38	3/2 <sup>-</sup> , 1/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	2,626(367)	1,310
<b>E1 + E2 = 6419,04 keV, Ef = 1722,96 keV</b>						
3920,73	2498,55	4221,27	1/2 <sup>-</sup> , 3/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	0,999(102)	0,299
3475,68	2943,61	4666,32	3/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	2,175(078)	0,940
3026,62	3389,66	5115,38	3/2 <sup>-</sup> , 1/2 <sup>-</sup>	1/2 <sup>-</sup>	1,045(095)	0,020
<b>E1 + E2 = 3260,38 keV, Ef = 4882,12 keV</b>						
1498,43	1761,46	1761,57	3/2 <sup>-</sup>	5/2 <sup>-</sup>	10,203(167)	4,890
1674,45	1585,44	1585,55	3/2 <sup>-</sup>	3/2 <sup>-</sup>	2,292(134)	0,397
<b>E1 + E2 = 3175,14 keV, Ef = 4966,86 keV</b>						
1793,47	1381,42	1381,53	3/2 <sup>-</sup>	3/2 <sup>-</sup>	7,324(209)	2,570

**Ghi chú:**  $E_1$  (keV) là năng lượng của tia gamma sơ cấp,  $E_2$  (keV) là năng lượng của tia gamma thứ cấp,  $E_L$  (keV) là năng lượng mức trung gian,  $I_{\gamma\gamma}$  (%) là cường độ chuyển dời nối tầng. Sai số năng lượng 1 keV.

Kết quả thực nghiệm đo được 14 cặp chuyển dời nối tầng bậc hai với năng lượng và cường độ chuyển dời được xác định. Kết quả cường độ chuyển dời có một số khác biệt so với đã công bố [8]. Điều này có thể là do một số mức trong xác định cường độ bằng việc lấy tổng cường độ theo phương pháp (n,  $\gamma$ ).

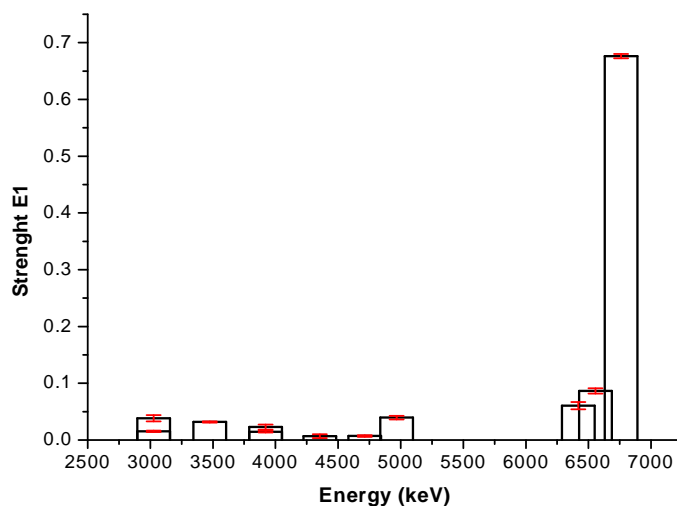
Với quy tắc xác định spin và bậc đa cực của chuyển dời, chúng tôi đã tính toán và sắp xếp được các spin và độ chẵn lẻ khả dĩ của các mức mà thực nghiệm đo được.

#### 4.2. Thời gian bán rã, độ rộng mức và hàm lực dịch chuyển E1

Kết quả thực nghiệm được trình bày ở Bảng 2. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng công thức (2) để xác định thời gian sống của mức. Độ rộng mức được tính theo công thức (1) và (4). Hệ số rẽ nhánh được tính từ kết quả đo đạc thực nghiệm về cường độ chuyển dời ở Bảng 1 kết hợp với cách tính từ công thức (5). Hình 2 trình bày sự phụ thuộc của lực chuyển dời E1 theo các vùng năng lượng từ khoảng 2,5 MeV đến 7,5 MeV.

**Bảng 2.** Thời gian sống của mức, độ rộng mức và hàm lực dịch chuyển E1 của  $^{49}\text{Ti}$  đo đạc thực nghiệm từ phản ứng  $^{48}\text{Ti}(n, 2\gamma)^{49}\text{Ti}$

Năng lượng mức đầu $E_i$ (keV)	Năng lượng (keV)	Loại dịch chuyển	Hệ số rẽ nhánh (%)	$T_{1/2}$ (s)	Độ rộng mức $\Gamma_{\gamma_i}$ (eV)	$ M(E1) ^2$
8142,50	6761,08	E1	67,66(39)	1,634E-18	188,909(998)	0,6763(0039)
	6556,06	E1	8,65(46)	1,792E-18	22,021(861)	0,0865(0046)
	6419,04	E1	6,06(64)	1,909E-18	14,474(826)	0,0606(0064)
	4966,86	E1	3,95(31)	4,121E-18	4,373(345)	0,0395(0031)
	3920,73	E1	2,28(45)	8,379E-18	1,242(247)	0,0228(0045)
	3026,62	E1	3,84(55)	1,821E-17	0,961(138)	0,0384(0055)
	3920,73	E1	1,46(15)	8,379E-18	0,795(081)	0,0146(0015)
	3475,68	E1	3,18(11)	1,203E-17	1,205(043)	0,0318(0011)
	3026,62	E1	1,53(14)	1,821E-17	0,382(034)	0,0153(0014)
1381,42	1381,42	E2	100,00(58)	1,056E-11	0,000043	
1585,44	1585,44	E2	100,00(527)	5,302E-12	0,000086	
1381,42	1381,42	M1	100,00(58)	8,352E-15	0,055(003)	
1585,44	1585,44	M1	100,00(527)	5,525E-15	0,083(004)	
1722,96	341,29	M1	100,00(865)	5,538E-13	0,001(000)	
1761,46	1761,46	M1	100,00(164)	4,028E-15	0,113(002)	
3175,14	1793,47	M1	100,00(788)	3,817E-15	0,120(009)	
3260,08	1498,43	M1	81,65(134)	6,544E-15	0,057(001)	
	1674,45	M1	18,35(107)	4,690E-15	0,018(001)	
3428,17	2046,50	M1	100,00(871)	2,569E-15	0,178(037)	
3788,22	2405,54	M1	100,00(994)	1,582E-15	0,288(142)	
4221,27	2839,60	M1	60,96(985)	9,616E-16	0,289(058)	
	2498,55	M1	39,04(398)	1,412E-15	0,126(013)	
4666,32	2943,61	M1	100,00(359)	8,632E-16	0,529(019)	
5115,38	3733,71	M1	71,54(924)	4,230E-16	0,772(110)	
	3389,66	M1	28,46(256)	5,653E-16	0,230(021)	



**Hình 2.** Hàm lực chuyển dời E1 theo năng lượng

Kết quả tính toán cho thấy thời gian bán rã nằm trong khoảng  $10^{-18}$ s đến  $10^{-11}$ s, độ rộng các mức <190 eV, độ rộng mức giảm dần theo dạng dịch chuyển điện từ và bậc đa cực theo quy luật: lưỡng cực điện, lưỡng cực từ và nhỏ nhất là tứ cực điện. Hàm lực chuyển dời E1 mạnh nhất ở vùng  $B_n$  dịch chuyển năng lượng khoảng 6.3 MeV đến 6.7 MeV về trạng thái có mức năng lượng thấp gần cơ bản.

## 5. Kết luận

Bằng thực nghiệm nghiên cứu, đo đặc phản ứng  $^{48}\text{Ti}(n, 2\gamma)^{49}\text{Ti}$  trên dòng neutron nhiệt tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng Đà Lạt, chúng tôi đã ghi nhận được 14 cặp chuyển dời nổi tăng. Trên cơ sở sử dụng lý thuyết mẫu đơn hạt, tính toán được thời gian bán rã, độ rộng mức và hàm lực chuyển dời E1. Kết quả tính toán một số mức chuyển dời nổi tăng cho thấy hạt nhân  $^{49}\text{Ti}$  phù hợp với lý thuyết của mẫu đơn hạt.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J.F.A. Ruyl and P.M. Endt (1983), *Invertigation of the  $^{48}\text{Ti}(n, \gamma)^{49}\text{Ti}$  reaction*, Nuclear physics A7.
2. J. M. Blatt and V. F. Weisskopf (1952), *Theoretical Nuclear Physics*, John Wiley and Sons, Newyork.
3. P.Carlos, J. Matszek, A. Audias, B. P. Maier, H. ifenecker (1968), *Capture radiative de neutron thrmiques dans  $^{48}\text{Ti}$* , Nuclear physics A107.
4. P. Fettweis and M. Saidane (1969), *The level scheme of  $^{48}\text{Ti}$  and  $^{49}\text{Ti}$  as studies by the neutron capture  $\gamma$  ray spectra*, Nuclear physics A139.

5. Pham Dinh Khang, V.H. Tan, N.X. Hai, N.N. Dien (2011), *Gamma-gamma coincidence spectrometer setup for neutron activation analysis and nuclear structure studies*, Nucl. Instr. and Meth. A631.
6. Skerka S.J., Hertel J. and Retzscheidt (1966), *Nucl., Data A2*.
7. (2006) *Chart of the nuclides*, 7th edition.
8. <http://www-nds.iaea.org/pgaa/PGAAdatabase/LANL/isotopic/22Ti48>

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 02-7-2013; ngày phản biện đánh giá: 11-10-2013;  
ngày chấp nhận đăng: 24-10-2013)