

# Xác định hàm lực chuyển dời lưỡng cực điện (E1) của $^{56}\text{Mn}$ từ $B_n$ về các mức năng lượng thấp bằng phân rã gamma nội tầng

• Nguyễn An Sơn

Trường Đại học Đà Lạt

( Bài nhận ngày 12 tháng 09 năm 2015, nhận đăng ngày 28 tháng 03 năm 2016)

## TÓM TẮT

Nghiên cứu, tính toán hàm lực chuyển dời gamma là cần thiết để xác định một số đặc trưng của hạt nhân như: spin, độ chẵn lẻ, loại dịch chuyển, tiết diện phản ứng, ... Trong nghiên cứu này, bia mẫu  $^{55}\text{Mn}$  được sử dụng để kích hoạt tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Thu nhận số liệu bằng phương pháp trùng phùng sự kiện-sự kiện với hệ

**Từ khóa:** Dịch chuyển lưỡng cực điện E1; spin và độ chẵn lẻ;  $^{56}\text{Mn}$ ; Hàm lực dịch chuyển gamma.

trùng phùng gamma-gamma. Kết quả đo giải kích thích của  $^{56}\text{Mn}$  đã thu nhận được 49 cặp chuyển dời gamma nội tầng; đồng thời đã ứng dụng mẫu lớp để tính toán spin, độ chẵn lẻ, hàm lực dịch chuyển lưỡng cực điện E1, và so sánh xác suất dịch chuyển giữa lý thuyết và thực nghiệm.

## MỞ ĐẦU

Hàm lực chuyển dời gamma nội tầng là tham số quan trọng trong việc xác định các đặc trưng của hạt nhân khi giải kích thích. Hàm lực cho biết đặc tính dịch chuyển cũng như xác suất của các kênh phản ứng. Khi xác định được hàm lực, chúng ta có thể xác định các tham số của hạt nhân như: tiết diện bắt bức xạ, phổ bức xạ, thời gian sống của mức, ... Trường hợp giải kích thích, nếu độ lệch spin giữa mức đầu và mức sau không lớn, thì xác suất ghi nhận bằng thực nghiệm của dịch chuyển gamma chủ yếu là dịch chuyển lưỡng cực điện, dịch chuyển tứ cực điện và dịch chuyển lưỡng cực từ [1].

Nghiên cứu bằng thực nghiệm trên hạt nhân  $^{56}\text{Mn}$  đã thực hiện từ khá sớm [2]. Hầu hết các nghiên cứu chủ yếu xác định năng lượng, cường độ chuyển dời của quá trình giải kích thích từ mức năng lượng  $B_n$ , năng lượng liên kết của neutron, với  $^{56}\text{Mn}$  (7270.50 keV) khi bia mẫu  $^{55}\text{Mn}$  bắt neutron [3, 4]. Một số nghiên cứu đo đạc và tính toán spin và độ chẵn lẻ của các mức năng lượng thấp của  $^{56}\text{Mn}$  [5]. Các nghiên cứu sau này đã quan tâm đến hàm lực chuyển dời của một số chuyển dời gamma [6, 7], tuy nhiên chỉ xác định được hàm lực của một số ít dịch chuyển gamma.

Trong nghiên cứu này, bia mẫu  $^{55}\text{Mn}$  được sử dụng  $^{55}\text{Mn}$  thường tồn tại ở dạng oxide trong tự nhiên. Độ phổ biến đồng vị của  $^{55}\text{Mn}$  trong tự nhiên là 100 %, tiết diện bắt neutron nhiệt là 13,3 barn [8]. Khi bắt neutron,  $^{55}\text{Mn}$  trở thành hạt nhân  $^{56}\text{Mn}$ .  $^{56}\text{Mn}$  là hạt nhân trung bình, gồm 25 proton và 31 neutron. Ở trạng thái cơ bản, theo mẫu lớp, sự phân bố các nucleon trong hạt nhân có thể mô tả như sau:

Phân bố proton:

$$1s_{1/2}^2 1p_{3/2}^4 1p_{1/2}^2 1d_{5/2}^6 2s_{1/2}^2 1d_{3/2}^4 1f_{7/2}^5.$$

Phân bố neutron:

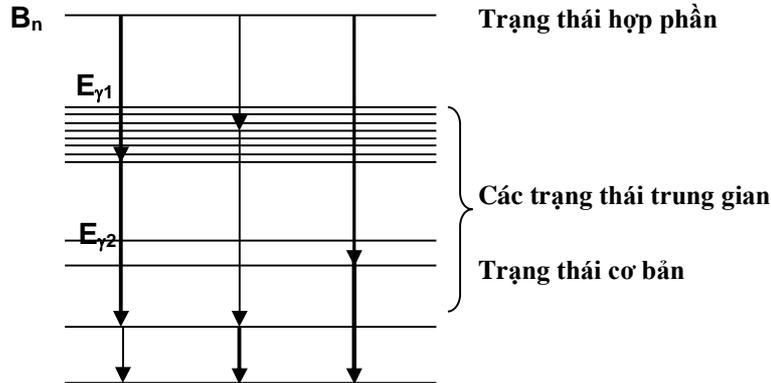
$$1s_{1/2}^2 1p_{3/2}^4 1p_{1/2}^2 1d_{5/2}^6 2s_{1/2}^2 1d_{3/2}^4 1f_{7/2}^8 2p_{3/2}^3.$$

Trạng thái cơ bản của  $^{56}\text{Mn}$  có spin và độ chẵn lẻ được xác định theo quy tắc Brennan – Bernstein [1]. Theo nguyên tắc này, ở trạng thái cơ bản,  $^{56}\text{Mn}$  có spin và độ chẵn lẻ là  $3^+$ . Kết quả này phù hợp với các công trình công bố liên quan [4, 5].

Khi bắt neutron, ngoài việc phát bức xạ beta, phần còn lại tạo thành hạt nhân  $^{56}\text{Mn}$ . Hạt nhân  $^{56}\text{Mn}$  ở mức năng lượng kích thích  $B_n$  (năng lượng liên kết của neutron với hạt nhân) có trạng thái kép với spin và độ chẵn lẻ là  $2^-$  và  $3^-$  [4, 5, 9].

Bằng việc xác định các chuyển dời gamma nổi tầng để xác định hàm lực chuyển dời nghiệm. Phản ứng của bia mẫu  $^{55}\text{Mn}$  với neutron nhiệt được thực hiện tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Hệ trùng phùng gamma-gamma được sử dụng để thu nhận sự kiện trùng phùng. Kết hợp với tính toán chuyển dời điện từ theo mẫu đơn hạt để giải thích và biện luận một số kết quả trong dịch chuyển lưỡng cực điện E1 từ mức  $B_n$ .

**PHƯƠNG PHÁP**  
**Cơ sở lý thuyết**



**Hình 1.** Mô tả phân rã gamma của hạt nhân hợp phần.

Có thể minh họa quá trình phát gamma từ mức  $B_n$  về trạng thái cuối qua các trạng thái trung gian như Hình 1. Cường độ dịch chuyển gamma nổi tầng ( $I_{\gamma\gamma}$ ) liên quan đến độ rộng mức riêng phần ở trạng thái đầu ( $\Gamma_{\gamma i}$ ), độ rộng mức toàn phần ở trạng thái đầu ( $\Gamma_i$ ), độ rộng mức riêng phần ở trạng thái cuối ( $\Gamma_{\gamma f}$ ) và độ rộng mức toàn phần ở trạng thái cuối ( $\Gamma_f$ ) theo công thức [10, 11]:

$$I_{\gamma\gamma} = \frac{\Gamma_{\gamma i} \times \Gamma_{\gamma f}}{\Gamma_i \times \Gamma_f} \quad (1)$$

Nếu có  $n$  mức trung gian được tạo bởi các dịch chuyển sơ cấp có năng lượng trong khoảng từ  $E_\gamma$  đến  $E_\gamma + \Delta E$  thì cường độ dịch chuyển tổng cộng là:

$$I_{\gamma\gamma} = \sum_{i=1}^n \frac{\Gamma_{\gamma i} \times \Gamma_{\gamma f}}{\Gamma_i \times \Gamma_f} \quad (2)$$

Trong thực nghiệm trùng phùng gamma-gamma, cường độ dịch chuyển gamma nổi tầng tỷ lệ với diện

tích đỉnh tương ứng với dịch chuyển nổi tầng và được xác định theo công thức (3):

$$I_{\gamma\gamma} = \frac{S_i^{\gamma-\gamma}}{\sum_1^n S_i^{\gamma-\gamma}} \quad (3)$$

trong đó  $S_i^{\gamma-\gamma}$  là số đếm đỉnh của dịch chuyển gamma nổi tầng thứ  $i$  sau khi đã hiệu chỉnh hiệu suất ghi.

Quá trình phân rã gamma của một hạt nhân gắn liền với dịch chuyển từ trạng thái kích thích này về trạng thái khác có năng lượng thấp hơn. Do photon là lượng tử của trường điện từ, nên các quá trình dịch chuyển hạt nhân khi phát gamma được gọi là các dịch chuyển điện từ. Một dịch chuyển điện từ luôn luôn bảo toàn năng lượng, spin và độ chẵn lẻ.

Nếu hạt nhân có năng lượng, spin và độ chẵn lẻ ở trạng thái đầu tương ứng là  $E_i, J_i, \pi_i$  và trạng thái cuối là  $E_f, J_f, \pi_f$  thì năng lượng của tia gamma phát ra được xác định từ độ lệch giữa hai mức năng lượng:

$$E_\gamma = E_i - E_f \quad (4)$$

Photon là một bozon có spin bằng 1, vì thế moment góc L của photon phải là nguyên dương. Trong dịch chuyển điện từ giữa hai trạng thái hạt nhân  $|J_i^{\pi_i}\rangle \rightarrow |J_f^{\pi_f}\rangle$  thì moment góc L của photon được xác định từ hệ thức (5):

$$|J_i - J_f| \leq L \leq J_i + J_f \quad (5)$$

Độ chẵn lẻ cũng được bảo toàn trong quá trình dịch chuyển điện từ.

$$\pi_i \pi_\gamma \pi_f = 1 \quad (6)$$

Như vậy độ chẵn lẻ của photon  $\pi_\gamma$  là dương nếu  $\pi_i = \pi_f$  và  $\pi_\gamma$  phải là âm nếu  $\pi_i = -\pi_f$ .

Với dịch chuyển điện từ thì:

$$\pi_\gamma = (-1)^L \quad (7)$$

và dịch chuyển từ thì:

$$\pi_\gamma = (-1)^{L+1} \quad (8)$$

với L = 1 gọi là bức xạ lưỡng cực, L = 2 gọi là bức xạ tứ cực, L = 3 gọi là bức xạ bát cực, ...

Theo cơ học lượng tử, quá trình phát photon trong phân rã gamma tương đương với quá trình hấp thụ photon xảy ra khi hạt nhân bị kích thích bằng phản ứng quang phân ứng. Xác suất dịch chuyển điện từ được xác định bởi [12]:

$$T_\gamma^{E,ML} = \frac{8\pi(\lambda+1)}{\hbar\lambda[(2\lambda+1)!!]^2} \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c}\right)^{2\lambda+1} B(E(M)\lambda, J_i \rightarrow J_f) \quad (9)$$

Với  $E_\gamma$  là năng lượng của tia gamma.  $B(E(M)\lambda, J_i \rightarrow J_f)$  là xác suất dịch chuyển rút gọn và được xác định với các yếu tố ma trận rút gọn của moment đa cực điện và moment đa cực từ. Xét trường hợp giải thích hạt nhân theo mẫu lớn, xác suất dịch chuyển điện từ được xác định như sau: [1]

Xác suất dịch chuyển điện:

$$T_\gamma^{EL} = \frac{8\pi(L+1)e^2 b^L}{L[(2L+1)!!]^2 \hbar} \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c}\right)^{2L+1} B(EL) \quad (10)$$

Xác suất dịch chuyển từ:

$$T_\gamma^{ML} = \frac{8\pi(L+1)\mu_N^2 b^{L-1}}{L[(2L+1)!!]^2 \hbar} \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c}\right)^{2L+1} B(ML) \quad (11)$$

trong đó:

$$\begin{cases} B(EL) = \frac{1}{4\pi b^L} \left(\frac{3}{3+L}\right)^2 R^{2L} \\ B(ML) = \frac{10}{\pi b^{L-1}} \left(\frac{3}{3+L}\right)^2 R^{2L-2} \end{cases} \quad (12)$$

với L là bậc đa cực của bức xạ gamma,  $\hbar c = 197.327 \times 10^{-10} \text{ keV.cm}$ ,  $e^2 = 1.440 \times 10^{-10} \text{ keV.cm}$ ,

$$\mu_N^2 = 1.5922 \times 10^{-23} \text{ keV.cm}^3, \quad R = 1.2 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ cm.}$$

Độ rộng mức toàn phần của dịch chuyển gamma ( $\Gamma_\gamma$ ) phụ thuộc vào thời gian sống trung bình của mức ( $\tau_m$ ) theo công thức:

$$\Gamma_\gamma = \frac{\hbar}{\tau_m} \quad (13)$$

Thời gian sống trung bình liên hệ với chu kỳ bán rã theo công thức:

$$\tau_m = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad (14)$$

Thời gian bán rã của một mức phụ thuộc vào xác suất dịch chuyển gamma theo bậc đa cực và loại dịch chuyển theo hệ thức sau:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{T_\gamma^{EL,ML}} \quad (15)$$

Như vậy, thời gian sống trung bình của một mức tỷ lệ nghịch với xác suất dịch chuyển gamma:

$$\tau_m = \frac{1}{T_\gamma^{EL,ML}}, \quad (16)$$

nên độ rộng phóng xạ toàn phần của mức có thể viết:

$$\Gamma_\gamma = \frac{\hbar}{\tau_m} = \hbar T_\gamma^{EL,ML} \quad (17)$$

Nếu một mức phân rã bằng cách phát gamma về các mức dưới có năng lượng khác nhau, thì độ rộng mức được xác định như sau:

$$\Gamma_\gamma = \sum_i \Gamma_{\gamma_i} B.R_{\gamma_i} \quad (18)$$

Hệ số rẽ nhánh của một mức được xác định bởi:

$$B.R_{\gamma_i} = \frac{I_{\gamma_i}}{I_{tot}} \times 100\% \quad (19)$$

$B.R_{\gamma_i}$  là hệ số rẽ nhánh của mức tương ứng với gamma thứ  $i$ ,  $I_{\gamma_i}$  là cường độ dịch chuyển của bức xạ gamma thứ  $i$  và  $I_{tot}$  là tổng cường độ của các gamma dịch chuyển từ mức.

$$I_{tot} = \sum I_{\gamma_i} \quad (20)$$

Trường hợp dịch chuyển hỗn hợp tứ cực điện và lưỡng cực từ ( $E2 + M1$ ) thì độ rộng mức sẽ là:

$$\Gamma_\gamma = \Gamma_\gamma(M1) + \Gamma_\gamma(E2) \quad (21)$$

Hàm lực dịch chuyển gamma  $M(EL, ML)$  được xác định từ độ rộng phóng xạ riêng phần theo công thức [1]:

$$M(EL, ML) = \frac{\Gamma_\gamma(EL, ML)}{\Gamma_{\gamma wu}(EL, ML)} \quad (\text{đơn vị w.u.}) \quad (22)$$

$\Gamma_{\gamma wu}(EL, ML)$  là độ rộng phóng xạ riêng phần của dịch chuyển tính theo đơn vị Weisskopf. Trong trường hợp dịch chuyển là lưỡng cực, tứ cực điện và lưỡng cực từ thì độ rộng phóng xạ riêng phần có thể xác định như sau:

$$\Gamma_{\gamma wu}(E1) = 6.7492 \times 10^{-11} A^{2/3} E_\gamma^3 \quad (23)$$

$$\Gamma_{\gamma wu}(E2) = 4.7925 \times 10^{-23} A^{4/3} E_\gamma^5 \quad (24)$$

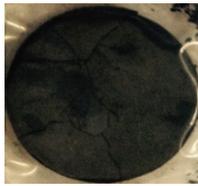
$$\Gamma_{\gamma wu}(M1) = 2.0734 \times 10^{-11} E_\gamma^3 \quad (25)$$

trong đó  $A$  là số khối của hạt nhân và  $E_\gamma$  là năng lượng bức xạ gamma (keV).

### Hệ thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Thông lượng neutron nhiệt tại vị trí đặt mẫu  $\sim 10^6$  n/cm<sup>2</sup>/s [13]. Đường kính chùm neutron là 1,5 cm.

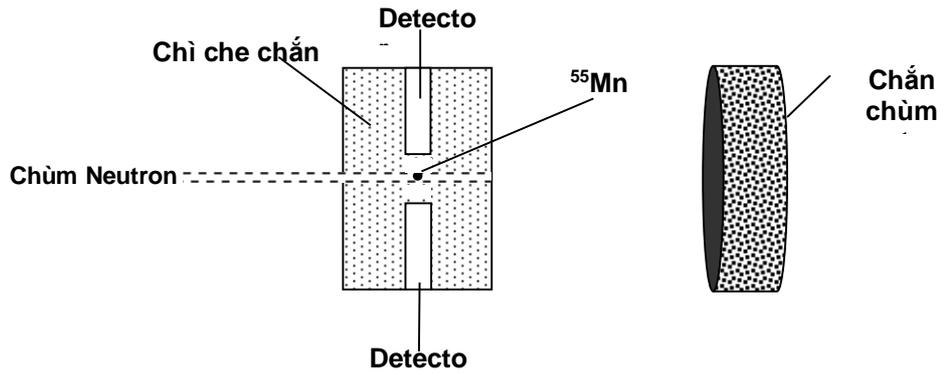
Bia mẫu Mangan ở dạng ôxít MnO<sub>2</sub> dạng bột, đường kính 2 cm, dày 1 mm, nén trên máy nén 10 tấn. Hình 2 trình bày hình ảnh của bia mẫu MnO<sub>2</sub> sử dụng trong thực nghiệm. Hình 3 trình bày các bố trí thí nghiệm.



**Hình 2.** Hình học bia mẫu  $^{56}\text{Mn}$

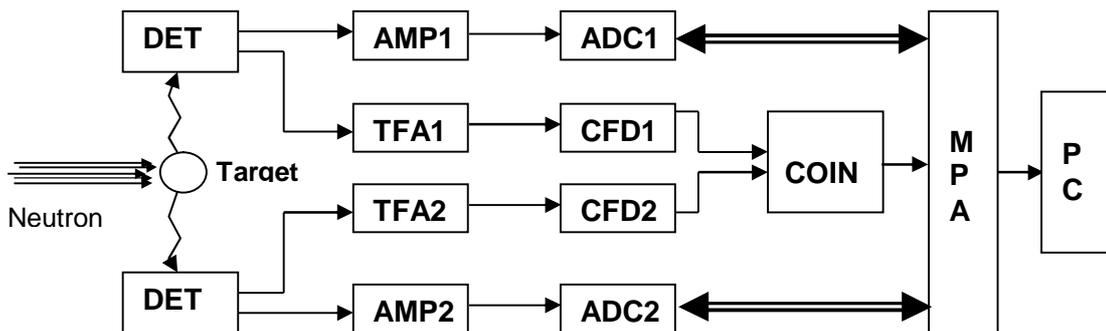
Hệ đo được sử dụng trong thu thập số liệu chuyên dòi gamma nổi tầng hai bước là hệ trùng phùng gamma-gamma. Sơ đồ hệ đo được trình bày ở Hình 4.

Khoảng cách từ bia mẫu đến mỗi detector (DET) là 5cm. Tín hiệu thời gian từ hai lối ra ở 2 detector được các khối khuếch đại nhanh (TFA) khuếch đại và tạo dạng cần thiết, sau đó đưa tới các khối gạt ngưỡng hằng (CFD). Gạt ngưỡng hằng CFD được sử dụng để loại trừ nhiễu và ảnh hưởng của các bức xạ gamma năng lượng thấp. Xung ra từ các khối gạt ngưỡng hằng đi tới lối vào của khối trùng phùng nhanh (COIN). Khối trùng phùng nhanh có độ rộng cửa sổ thời gian là 30 ns xác định điều kiện trùng phùng theo mặt tăng của xung. Lối ra của khối trùng phùng sẽ là xung dương và xung này được sử dụng để mở Gate



**Hình 3.** Vị trí tương đối giữa bia mẫu, chùm neutron và detector

của hai ADC. Như vậy, khi phân rã gamma nổi tầng được ghi bởi cả hai detector thì sẽ có một xung dương ở lối ra của khối trùng phùng nhanh cho phép hai ADC được biến đổi. Tín hiệu năng lượng  $E$  từ lối ra của hai detector được các khối khuếch đại phổ (AMP) khuếch đại và tạo dạng cần thiết. Tín hiệu ở lối ra các khuếch đại phổ trễ hơn so với tín hiệu lối vào một lượng tùy theo thời gian hình thành xung của bộ khuếch đại (cỡ  $\mu\text{s}$ ), trong khi tín hiệu ở lối ra của khối trùng phùng nhanh trễ hơn so với tín hiệu ở lối ra  $T$  của đầu dò chỉ cỡ  $\text{ns}$ . Như vậy, để đồng bộ thì tín hiệu ở lối ra của khối trùng phùng phải được làm trễ đi một lượng tùy theo thời gian hình thành xung của bộ khuếch đại phổ. Trong thực nghiệm này, độ trễ được chọn là 7  $\mu\text{s}$ .



**Hình 4.** Sơ đồ hệ đo thực nghiệm

Phương pháp ghi đo tích lũy với thời gian đo kéo dài, thu nhận số liệu là ghi dạng mã biên độ tỉ lệ với năng lượng của bức xạ gamma.

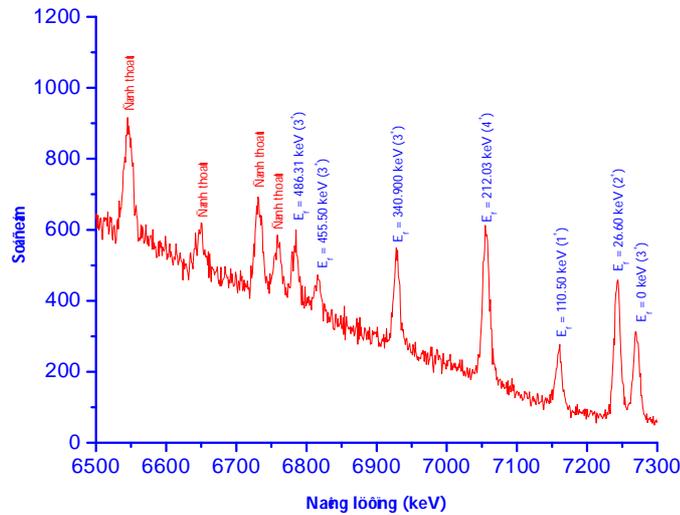
**KẾT QUẢ**

Tiến hành đo đặc trên kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Thời gian đo thực nghiệm là 100 giờ, số sự kiện trùng phùng trên toàn dải năng

lượng là 5,341,292 sự kiện. Số liệu lưu giữ theo phương pháp cộng biên độ, lưu trữ dưới dạng mã các sự kiện trùng phùng. Hình 5 trình bày một phần phổ tổng của <sup>56</sup>Mn. Bảng 1 trình bày một số thông tin của phổ tổng. Bảng 2 trình bày năng lượng cấp chuyển dời gamma nổi bật, mức trung gian và cường độ tương đối của các chuyển dời.

**Bảng 1.** Các thông tin của đỉnh phổ tổng

Stt	Năng lượng phổ tổng (keV)	Năng lượng mức cuối (keV)	Số cặp trùng phùng tại vùng năng lượng đỉnh	Spin và độ chẵn lẻ mức cuối
1	7270,50	0,00	3930	3 <sup>+</sup>
2	7243,39	26,60	5894	2 <sup>+</sup>
3	7159,50	110,50	3343	1 <sup>+</sup>
4	7058,00	212,03	7448	4 <sup>+</sup>
5	6929,05	340,99	7173	3 <sup>+</sup>
6	6815,00	455,50	8462	3 <sup>+</sup>
7	6783,75	486,31	8870	3 <sup>+</sup>



**Hình 5.** Một phần phổ tổng của Mn<sup>56</sup>

**Bảng 2.** Năng lượng cặp chuyển dời gamma nổi tăng, mức trung gian và cường độ chuyển dời tương đối

Stt	$E_1$ (keV)	$E_2$ (keV)	$E_L$ (keV)	$\Delta E_L$ (keV)	Cường độ chuyển dời $I_{\gamma\gamma}$ (%)	Sai số cường độ $\pm \Delta I_{\gamma\gamma}$ (%)
$E_1 + E_2 = 7270,50$ keV. $E_f = 0$ keV						
1	5760,28	1509,88	1510,22	0,34	4,09	0,30
2	5525,81	1744,21	1744,69	0,48	2,10	0,22
3	5253,70	2016,50	2016,80	0,30	0,90	0,14
4	5180,39	2090,40	2090,11	0,29	1,56	0,22
5	4873,81	2396,40	2396,69	0,29	0,52	0,11
6	4828,52	2443,10	2441,98	1,12	0,90	0,20
7	4689,75	2582,00	2580,75	1,25	0,98	0,16
8	4267,08	3003,16	3003,42	0,26	0,80	0,14
9	3927,25	3343,90	3343,25	0,65	0,51	0,11
$E_1 + E_2 = 7243,39$ keV. $E_f = 26,60$ keV						
10	6104,24	1139,28	1166,26	0,38	4,15	0,34
11	5919,26	1324,60	1351,24	0,04	1,84	0,22
12	5432,90	1811,40	1837,60	0,40	1,34	0,20
13	5180,39	2063,21	2090,11	0,30	3,35	0,32
14	5067,00	2176,60	2203,50	0,30	3,40	0,30
15	4949,07	2294,54	2321,43	0,29	2,68	0,27
16	4873,81	2369,40	2396,69	0,69	0,99	0,18
17	4565,93	2677,70	2704,57	0,27	1,45	0,22
18	4380,75	2863,40	2889,75	0,25	0,78	0,16
19	3979,15	3265,00	3291,35	0,25	0,79	0,14
$E_1 + E_2 = 7159,50$ keV. $E_f = 110,50$ keV						
20	6104,24	1055,39	1166,26	0,37	1,33	0,20
21	5436,55	1723,40	1833,95	0,05	0,69	0,15
22	5035,12	2124,50	2235,38	0,38	0,73	0,16
23	4949,07	2210,64	2321,43	0,29	1,21	0,21
24	4907,65	2252,80	2362,85	0,45	0,46	0,12
25	4841,00	2319,14	2429,50	0,14	0,74	0,22
26	4565,93	2594,50	2704,57	0,43	1,25	0,21
27	4550,34	2610,60	2720,16	0,94	0,62	0,17
28	3752,04	3408,85	3518,46	0,89	0,87	0,16
$E_1 + E_2 = 7058,00$ keV. $E_f = 212,03$ keV						

29	6031,15	1027,40	1239,35	0,08	0,85	0,14
30	5919,26	1139,28	1351,24	0,07	0,59	0,18
31	5525,81	1531,40	1744,69	1,26	2,95	0,31
32	5436,55	1620,40	1833,95	1,52	1,49	0,31
33	5198,90	1858,40	2071,60	1,17	1,85	0,26
34	5180,39	1877,20	2090,11	0,88	0,99	0,24
35	5067,00	1990,60	2203,50	0,87	3,96	0,34
36	5015,41	2043,70	2255,09	0,64	5,62	0,38
37	4724,49	2333,20	2546,01	0,78	5,69	0,39
$E_1 + E_2 = 6929,05 \text{ keV}$ . $E_f = 340,99 \text{ keV}$						
38	5525,81	1403,00	1744,69	0,70	10,90	0,52
39	5180,39	1749,00	2090,11	0,12	3,02	0,36
40	5015,41	1915,00	2255,09	0,90	4,10	0,33
$E_1 + E_2 = 6815,00 \text{ keV}$ . $E_f = 455,50 \text{ keV}$						
41	5525,81	1289,40	1744,69	0,21	0,95	0,22
42	5253,70	1562,40	2016,80	1,10	1,08	0,21
43	5015,41	1801,40	2255,09	1,81	5,38	0,46
44	4724,49	2090,40	2546,01	0,11	1,02	0,33
$E_1 + E_2 = 6783,75 \text{ keV}$ . $E_f = 486,31 \text{ keV}$						
45	5525,81	1257,60	1744,69	0,78	3,91	0,39
46	5035,12	1749,00	2235,38	0,07	1,96	0,32
47	4828,52	1956,40	2441,98	0,73	1,04	0,22
48	4445,75	2338,40	2824,75	0,04	1,03	0,31
49	4104,43	2678,70	3166,07	1,06	0,57	0,16

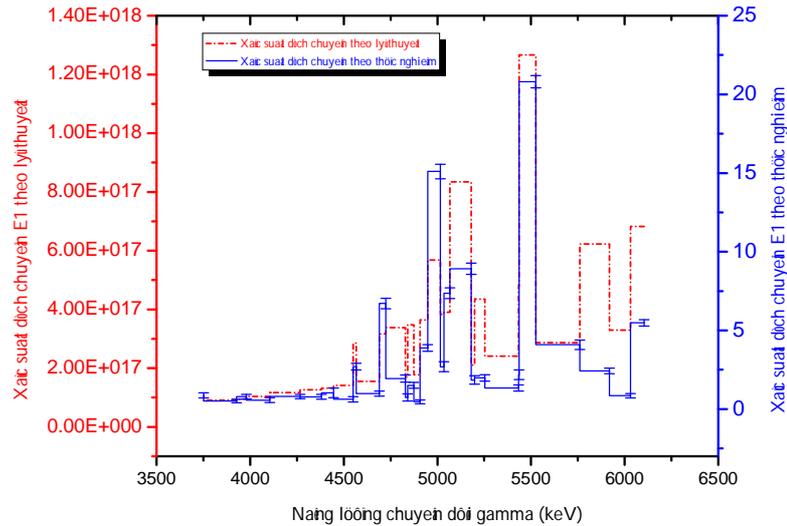
*Ghi chú:*  $E_1$  và  $E_2$  là năng lượng của các gamma chuyển dời nổi tầng sơ cấp và thứ cấp;  $E_L$ ,  $\Delta E_L$  là mức năng lượng mức trung gian và sai số.

Kết quả thực nghiệm cho thấy đã xác định được 49 cặp chuyển dời nổi tầng thu được từ 7 đỉnh phổ tổng. Sử dụng các công thức (5) ÷ (24) để xác định spin, độ chẵn lẻ, hệ số rẽ nhánh, thời gian sống trung

bình của mức, độ rộng mức, xác suất dịch chuyển và hàm lực từ mức  $B_n$  chuyển dời gamma loại dịch chuyển lưỡng cực điện E1 về các mức thấp hơn. Bảng 3 trình bày kết quả tính toán, Hình 6 trình bày xác suất tính theo lý thuyết và xác định bằng thực nghiệm của chuyển dời E1 từ  $B_n$  về các mức thấp hơn.

**Bảng 3.** Mức, thời gian sống của mức, độ rộng mức, spin và độ chắn lẻ, hệ số rẽ nhánh và hàm lực dịch chuyển gamma của  $^{56}\text{Mn}$ 

Năng lượng mức (keV)	Thời gian sống của mức ( $\tau_{1/2}$ ) (s)	Độ rộng mức $\Gamma_\gamma$ (eV)	Năng lượng chuyển dời gamma $E_\gamma$ (keV)	Spin và độ chắn lẻ mức trung gian tính theo mẫu lớp	Spin và độ chắn lẻ so sánh từ thư viện LANL [9, 14]	Xác suất dịch chuyển E1	Hệ số rẽ nhánh của mức $\text{BR}_{\gamma_i}$ (%)	Sai số hệ số rẽ nhánh $\pm\Delta \text{BR}_{\gamma_i}$ (%)	Hàm lực dịch chuyển thực nghiệm $ \text{M}(E(1)) ^2$	Sai số hàm lực dịch chuyển thực nghiệm $\pm\Delta  \text{M}(E(1)) ^2$
7270,50	2,746E-16	6,430	6104,24	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	1 <sup>+</sup>	6,826E+17	5,48	0,20	5,474	0,200
			6031,15	3 <sup>+</sup>	2 <sup>+</sup>	3,292E+17	0,85	0,14	0,845	0,141
			5919,26	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	6,224E+17	2,43	0,18	2,428	0,184
			5760,28	2 <sup>+</sup> , 4 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	2,868E+17	4,09	0,30	4,088	0,300
			5525,81	2 <sup>+</sup>	2 <sup>+</sup>	1,266E+18	20,81	0,39	20,814	0,389
			5436,55	1 <sup>+</sup>	1 <sup>+</sup>	4,822E+17	2,18	0,31	2,182	0,308
			5432,90	2 <sup>+</sup>	2 <sup>+</sup>	2,406E+17	1,34	0,20	1,337	0,199
			5253,70	3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>?</sup>	4,352E+17	1,98	0,21	1,985	0,206
			5198,90	3 <sup>+</sup>	3 <sup>-</sup>	2,108E+17	1,85	0,26	1,848	0,258
			5180,39	3 <sup>+</sup>	+?	8,344E+17	8,92	0,36	8,924	0,358
			5067,00	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	3,904E+17	7,36	0,34	7,361	0,339
			5035,12	3 <sup>+</sup>	3 <sup>+</sup>	3,830E+17	2,69	0,32	2,683	0,324
			5015,41	3 <sup>+</sup>	3 <sup>+</sup>	5,679E+17	15,10	0,46	15,095	0,455
			4949,07	2 <sup>-</sup>	2 <sup>-</sup>	3,638E+17	3,89	0,21	3,892	0,206
			4907,65	2 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	1,773E+17	0,46	0,12	0,462	0,118
			4873,81	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	3,474E+17	1,51	0,18	1,514	0,177
			4841,00	2 <sup>+</sup>	?	1,702E+17	0,74	0,22	0,737	0,216
			4828,52	2 <sup>+</sup> , 4 <sup>+</sup>	2 <sup>+</sup>	3,378E+17	1,94	0,22	1,946	0,224
			4724,49	3 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup>	?	3,164E+17	6,71	0,33	6,712	0,325
			4689,75	2 <sup>+</sup> , 4 <sup>+</sup>	?	1,548E+17	0,98	0,16	0,983	0,158
			4565,93	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	2,856E+17	2,70	0,21	2,693	0,206
			4550,34	2 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	1,414E+17	0,62	0,17	0,619	0,167
			4445,75	3 <sup>+</sup>	2.5 <sup>+</sup> ?	1,318E+17	1,03	0,31	1,032	0,313
			4380,75	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	1 <sup>+</sup>	1,261E+17	0,78	0,16	0,776	0,162
			4267,08	2 <sup>+</sup> hoặc 4 <sup>+</sup>	2.5 <sup>-</sup> ?	1,166E+17	0,8	0,14	0,796	0,138
			4104,43	3 <sup>+</sup>	?	1,037E+17	0,57	0,16	0,570	0,157
			3979,15	1 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup>	?	9,453E+16	0,79	0,14	0,786	0,138
			3927,25	2 <sup>+</sup> , 4 <sup>+</sup>	?	9,088E+16	0,51	0,11	0,511	0,110
			3752,04	2 <sup>+</sup>	?	7,925E+16	0,87	0,16	0,875	0,157



**Hình 6.** Xác suất chuyển dời E1 tính toán theo lý thuyết và xác định bằng thực nghiệm từ mức B<sub>n</sub> về các mức thấp hơn

Kết quả cho thấy, bằng thực nghiệm đo đạc và việc ứng dụng mẫu lớp để xác định spin và độ chẵn lẻ của một số mức, trong nghiên cứu này đã sắp xếp được 49 cặp chuyển dời nổi bật. Ở Bảng 3, có một số mức trong thực nghiệm này đã xác định spin và độ chẵn lẻ mà thư viện LANL chưa sắp xếp; đồng thời cũng có một số khác biệt về spin và độ chẵn lẻ so với thư viện.

Hình 6 cho thấy kết quả đo đạc thực nghiệm giữa xác suất chuyển dời lưỡng cực điện E1 so với lý thuyết có sự tương đồng. Tuy nhiên, vùng năng lượng lớn có sự khác biệt giữa lý thuyết và thực nghiệm. Vấn đề này có thể do hiệu suất ghi kém của hệ đo ở vùng năng lượng cao nên chưa thu thập đầy đủ về cường độ độ chuyển dời.

**KẾT LUẬN**

Kết quả nghiên cứu đã xác định được các dịch chuyển từ B<sub>n</sub> về các mức thấp hơn bằng phương pháp

đo trùng phùng gamma-gamma. Kết quả tính toán spin, độ chẵn lẻ bằng mẫu lớp cho thấy khá phù hợp với kết quả thực nghiệm. Điều này chứng tỏ hạt nhân <sup>56</sup>Mn là hạt nhân không suy biến, phù hợp với cách giải thích của mẫu lớp. Qua kết quả nghiên cứu cũng thể hiện tính tương đồng theo dự đoán của mẫu lớp về xác suất dịch chuyển gamma loại lưỡng cực điện, đặc biệt cả lý thuyết và thực nghiệm đều chứng tỏ vùng năng lượng chuyển dời gamma khoảng từ 4500 keV đến 5300 keV có các chuyển dời E1 mạnh về các mức trung gian.

*Lời cảm ơn:* Tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Nghiên cứu Hạt nhân đã cho phép thực hiện nghiên cứu này trên kênh ngang số 3 của Lò phản ứng Hạt nhân Đà Lạt.

# Determination of the electric dipole (E1) gamma ray strength function of $^{56}\text{Mn}$ from the $B_n$ level to low levels by two-step gamma cascades

- **Nguyen An Son**  
University of Dalat

## ABSTRACT

Investigation of gamma ray strength function is necessary to determine some nuclear characteristics, such as: spin, parity, electromagnetic transitions, cross section, ... In this research,  $^{55}\text{Mn}$  target was activated on the neutron of 3<sup>rd</sup> horizontal channel of Dalat nuclear reactor. The experimental data was collected by event-event coincidence by gamma-

**Keywords:** The electric dipole (E1) transition; spin and parity;  $^{56}\text{Mn}$ ; Gamma transition strength.

gamma coincidence system. The  $^{56}\text{Mn}$  deexcitation afforded the collected of 49 gamma – gamma two-step cascades. This was applied on shell model to determine the spin, parity, electric dipole gamma strength function (E1) as well as comparing between the theoretical and experimental E1 transition probabilities.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].J.M. Blatt, V. F. Weisskopf, Theoretical nuclear physics, John Wiley and Sons, New York (1972).
- [2].N. D'Angelo, Excited Levels in  $\text{Mn}^{56}$ , *Phys. Rev.*, 117 (1960).
- [3].A.H. Colenbrander, T.J. Kennett, An investigation of the reaction  $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ , *Can. J.Phys.* 53, 236 (1975).
- [4].P.H.M. Van Assche, et al, Energy levels of  $^{56}\text{Mn}$ , *Nuclear physics A160*, 367 (1971).
- [5].J. Mellema, H. Postma, Investigation of nuclear level spins of  $^{56}\text{Mn}$  by means of nuclear orientation, *Nuclear Physics A154*, 406 (1970).
- [6].P.P.J. Delheij, K. Abrahams, W.J. Huiskamp, H.Postma, The  $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$  reaction studied with polarized neutrons and polarized manganese nuclei, *Nuclear Physics. A341*, 45 (1980).
- [7].B. Pritychenko, E. Běták, M.A. Kellett, B. Singh, J. Totans, The Nuclear Science References (NSR) database and Web Retrieval System, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 640, Issue 1, 213 (2011).
- [8].K. Nuklidkarte, Chart of the nuclides, 7<sup>th</sup> edition (2006).
- [9].[http://www.nndc.bnl.gov/useroutput/AR\\_696C4B52916823479807B31CC9269CC3\\_2.html](http://www.nndc.bnl.gov/useroutput/AR_696C4B52916823479807B31CC9269CC3_2.html)
- [10]. P.Đ. Khang, Nghiên cứu phân rã gamma nói tảng của hạt nhân  $^{170}\text{Yb}$  và  $^{158}\text{Gd}$ , Luận án phó tiến sĩ Khoa học Toán Lý, Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội (1993).
- [11]. N.A. Son, Mật độ mức và hàm lực thực nghiệm của các hạt nhân  $\text{Ti}^{49}$ ,  $\text{V}^{52}$ ,  $\text{Ni}^{59}$ , Luận án tiến sĩ Vật lý, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam (2014).
- [12]. Bohn, B.R. Mottelson, *Nuclear structure*, I, W. A. Benjamin, INC (1975).
- [13]. Viện NCHN, Báo cáo các đặc trưng kỹ thuật của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt - Tài liệu dùng để xin tái cấp phép cho Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt (2009).
- [14]. [https://www.nds.iaea.org/pgaa/PAAADatabase/LA\\_NL/isotopic/25mn55](https://www.nds.iaea.org/pgaa/PAAADatabase/LA_NL/isotopic/25mn55).