XÁC ĐỊNH MỘT SỐ CHUYỂN DỜI GAMMA NỐI TẦNG CỦA ^{56}Mn BẰNG PHẢN ỨNG ^{55}Mn(n_{th}, 2γ)^{56}Mn

NGUYỄN AN SƠN[*], HỒ HỮU THẮNG[**], DƯƠNG DANH HÙNG[***]

TÓM TẮT

Nghiên cứu phân rã gamma nối tầng là một trong những phương pháp thực nghiệm vật lí hạt nhân nhằm kiểm nghiệm và giải thích cấu trúc hạt nhân của đồng vị cần quan tâm. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành đo đạc các chuyển dời gamma nối tầng hai bước của ^{56}Mn khi giải kích thích bằng phản ứng bắt neutron nhiệt của bia mẫu ^{55}Mn. Nguồn neutron sử dụng là nguồn neutron nhiệt tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Hệ trùng phùng gamma-gamma dùng để thu thập số liệu. Ứng dụng mẫu lớp để xác định spin và độ chẵn lẻ của một số mức trung gian mới. Kết quả đã xắp xếp được 50 cặp chuyển dời gamma nối tầng hai bước vào sơ đồ mức. Bổ sung được 23 mức và phát hiện 11 năng lượng mới của chuyển dời gamma so với thư viện LANL [9].

Từ khóa: gamma nối tầng hai bước, hệ trùng phùng, spin và độ chẵn lẻ, mẫu lớp hạt nhân.

ABSTRACT

Determination of some gamma two-step cascades of ^{56}Mn by ^{55}Mn(n_{th}, 2γ)^{56}Mn reaction

Investigation of gamma two-step cascades is one of the experimental nuclear physics which is testing and explanation for the nuclear structure. In this paper, we investigated gamma two-step cascade of ^{56}Mn which are the energy of nuclear de-*excitation by captured thermal neutron of ^{55}Mn target. The thermal neutron source is thermal neutron of 3rd horizontal channel of Dalat nuclear reactor. The spectrum system is gamma-gamma coincidence system collected. Application for the shell model to determine for spin and parity of new intermediate levels. The results are arranged 50 gamma two-step cascades in the nuclear scheme. Adding 23 new energy levels and 11 new energy of gamma rays compared LANL [9].*

Keywords: gamma two-step cascades, coincidence system, spin and parity, shell model.

1. Tổng quan

Vật liệu Mangan thường được sử dụng trong chế tạo Lò phản ứng hạt nhân. Mangan được pha tạp trong một số hợp kim trong các thiết bị cấu tạo thành lò, lõi lò, … Do vậy, để tiếp cận công nghệ Lò phản ứng thì việc hiểu rõ các tính chất của nguyên liệu làm nên Lò phản ứng là cần thiết và thiết thực.

^{55}Mn thường tồn tại ở dạng ôxit trong tự nhiên. Độ phổ biến đồng vị của ^{55}Mn trong tự nhiên là 100%, tiết diện bắt neutron nhiệt là 13.3 barn [5]. ^{56}Mn là hạt nhân

[*] TS, Trường Đại học Đà Lạt; *Email: sonnguyendlu@yahoo.com*

[**] ThS, Viện Nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt

[***] HVCH, Trường Đại học Đà Lạt

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: $1s^2_{1/2}1p^4_{3/2}1p^2_{1/2}1d^6_{5/2}2s^2_{1/2}1d^4_{3/2}1f^5_{7/2}$.
- Phân bố neutron: $1s^2_{1/2}1p^4_{3/2}1p^2_{1/2}1d^6_{5/2}2s^2_{1/2}1d^4_{3/2}1f^8_{7/2}2p^3_{3/2}$.

Ở trạng thái cơ bản, spin và độ chẵn lẻ của ^{56}Mn được xác định theo quy tắc Brennan – Bernstein [3]. Theo nguyên tắc này, ở trạng thái cơ bản, ^{56}Mn có spin và độ chẵn lẻ là 3^+. Kết quả này phù hợp với các công trình công bố liên quan. [6, 7]

Khi bắt neutron, ngoài việc phát bức xạ beta, phần còn lại tạo thành hạt nhân ^{56}Mn. Hạt nhân ^{56}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^- [6, 7]. Hạt nhân ^{56}Mn giải kích thích bằng cách phát các bức xạ gamma. Các nghiên cứu thực nghiệm quá trình giải kích kích của hạt nhân ^{56}Mn đã được thực hiện từ khá sớm. [3, 4, 5, 8]

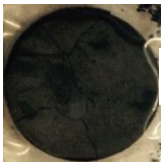
Tuy nhiên, vấn đề hạn chế của việc đo đạc bằng phương pháp sử dụng hệ đo đơn detector là việc ảnh hưởng của nền phông compton lên các đỉnh phát gamma có cường độ thấp. Dễ thấy ở thiếu sót này là khi tra cứu số liệu của ^{56}Mn tại thư viện [9]. Có rất nhiều bức xạ gamma phát ra từ ^{56}Mn vẫn chưa xác định được mức năng lượng trên và dưới, điều này làm cho việc giải đoán cấu trúc hạt nhân của ^{56}Mn trở nên khó khăn hơn.

Bằng phương pháp đo trùng phùng gamma-gamma đã đáp ứng một phần trong việc khắc phục nhược điểm của hệ đo đơn detector. Ảnh hưởng của nền phông Compton được cải thiện từ việc thu nhận dữ liệu trùng phùng hai hay nhiều detector.

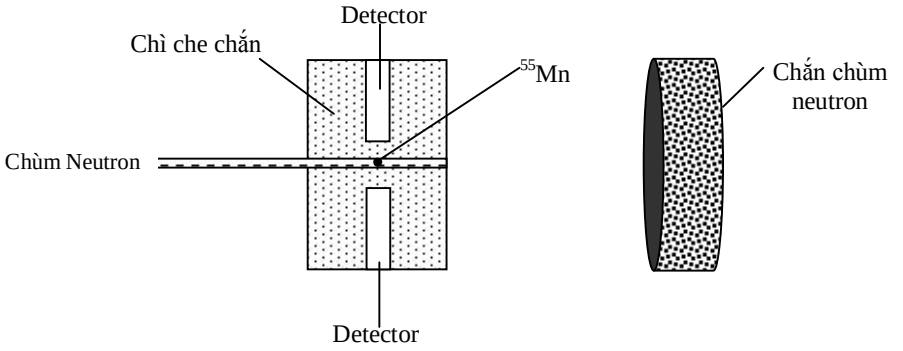
2. Thực nghiệm

2.1. 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 ~10^6 n/cm^2/s [2]. Đường kính chùm neutron là 1,5 cm. Bia mẫu Mangan ở dạng ôxít MnO_2 dạng bột, đường kính 2 cm, dày 1 mm, nén trên máy nén 10 tấn. Hình 1 trình bày hình ảnh của bia mẫu MnO_2 sử dụng trong thực nghiệm. Hình 2 trình bày các bố trí thí nghiệm.

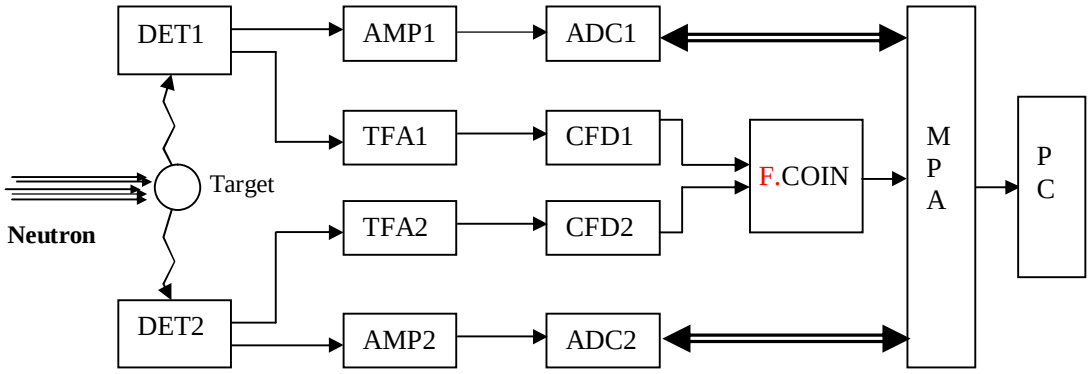


Hình 1. *Hình học bia mẫu ^{56}Mn*



Hình 2. *Vị trí tương đối giữa bia mẫu, chùm neutron và detector*

Hệ đo được sử dụng trong thu thập số liệu chuyển dời gamma nối tầng hai bước là hệ trùng phùng gamma-gamma. Sơ đồ hệ đo được trình bày ở Hình 3.



Hình 3. *Sơ đồ hệ đo thực nghiệm*

Khoảng cách từ bia mẫu đến mỗi detector (DET) là 5 cm. 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 (F.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 của hai ADC. Như vậy, khi phân rã gamma nối 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 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 tuỳ theo thời gian hình thành xung của bộ khuếch đại (cỡ μs), 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 *n*s. Như vậy, để đồng bộ thì tín hiệu ở lối ra của khối trùng phùng phải được làm trễ đi một lượng tuỳ theo thời gian hình thành xung của bộ khuếch đại phổ. Trong thực nghiệm này, độ trễ được chọn là 7 μs.

Phương pháp ghi đo tích luỹ 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.

2.2. Xử lí số liệu

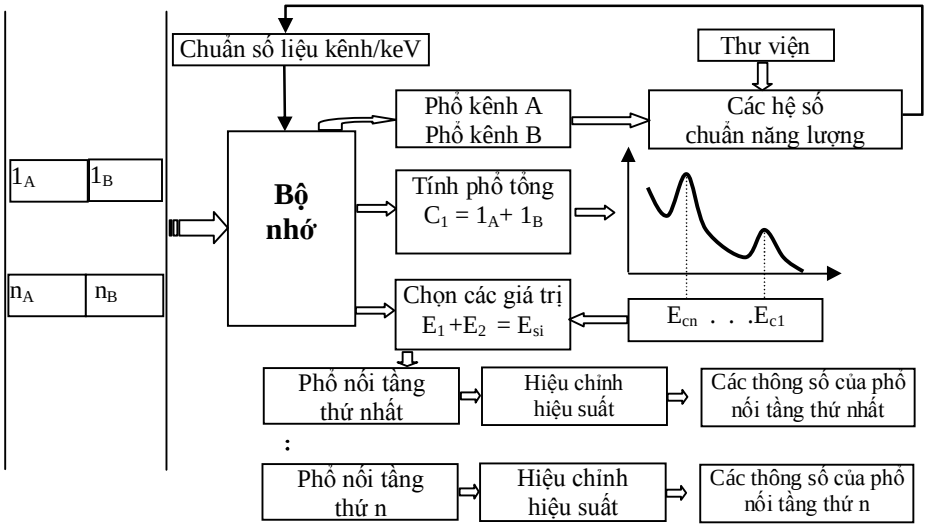
Với phương pháp đo trùng phùng, việc thu nhận các bức xạ gamma chỉ thực hiện khi cả hai đầu dò có hai bức xạ đi vào, với độ lệch thời gian không lớn hơn cửa sổ trùng phùng (~ *ns*). Như vậy, nếu là trùng phùng thật thì hai gamma này là hai chuyển dời nối tầng hoặc gamma thoát đơn, thoát đôi của quá trình biến đổi hạt nhân. Việc loại bỏ gamma thoát đơn và thoát đôi sẽ được thực hiện trong quá trình xử lí phổ.

Giả sử E_s là năng lượng tổng của cặp chuyển dời có năng lượng sơ cấp E_1 và năng

lượng thứ cấp E_2, $E_s = E_1 + E_2$, và nếu E_f là năng lượng mức cuối của nối tầng, thì:

$$B_n = E_s + E_f = E_1 + E_2 + E_f \quad (1)$$

B_n năng lượng liên kết của neutron nhiệt với hạt nhân. Các chuyển dời gamma nối tầng hai bước có cùng năng lượng tổng cộng E_s khi bị hấp thụ hoàn toàn bởi hai đầu dò sẽ được ghi vào một đỉnh của phổ tổng. Từ một đỉnh của phổ tổng sẽ tạo ra được phổ nối tầng hai bước của các bức xạ gamma tương ứng. Ở phổ nối tầng sẽ xác định được năng lượng, cường độ của các cặp chuyển dời gamma. Trong phổ nối tầng đã loại trừ được sự phân bố liên tục, nên có thể quan sát được một số đỉnh mà trong các phép đo thường không phát hiện được do nền phông Compton của các bức xạ gamma năng lượng cao gây nên. Đặc điểm chính của phổ nối tầng là có các cặp đỉnh của chuyển dời nối tầng có vị trí đối xứng nhau qua điểm giữa tương ứng với $E_s/2$ và có diện tích bằng nhau. Sơ đồ thuật toán xử lí số liệu được mô tả ở Hình 4.



Hình 4. *Sơ đồ thuật toán tạo phổ tổng và phổ nối tầng hai bước*

Thông thường, khi nghiên cứu thực nghiệm, các mẫu cấu trúc hạt nhân được ứng dụng để giải thích cho từng nhóm vùng hạt nhân và từng nghiên cứu cụ thể. Chẳng hạn, khi giải đoán các lực liên kết trong hạt nhân thì mẫu giọt thường được sử dụng; với các hạt nhân có A trung bình thì mẫu lớp được sử dụng trong xác định các lớp, spin, độ chẵn lẻ của mức trung gian; và với hạt nhân nặng biến dạng (suy biến) thì mẫu tập thể được áp dụng cho những bài toán giải thích phổ quay và phổ dao động. Như đã phân tích ở trên, ^{56}Mn là hạt nhân trung bình, nên áp dụng mẫu lớp để giải thích và bổ sung thực nghiệm nhằm xác định spin và độ chẵn lẻ của một mức mới. Giả sử hạt nhân có năng lượng, spin và độ chẵn lẻ ở trạng thái đầu tương ứng là E_i, J_i, π_i và trạng thái cuối là là E_f, J_f, π_f thì năng lượng của tia gamma phát ra được xác định từ độ lệch giữa hai mức năng lượng:

$E_\gamma = E_i - E_f$ (2)

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

$$\left|J_i - J_f\right| \le L \le J_i + J_f \quad (3)$$

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

$\pi_i\pi_\gamma\pi_f = 1$ (4)

Độ chẵn lẻ của photon π_γ là dương nếu $\pi_i = \pi_f$, và π_γ phải là âm nếu $\pi_i = -\pi_f$.

Với dịch chuyển gamma là dạng dịch chuyển điện thì:

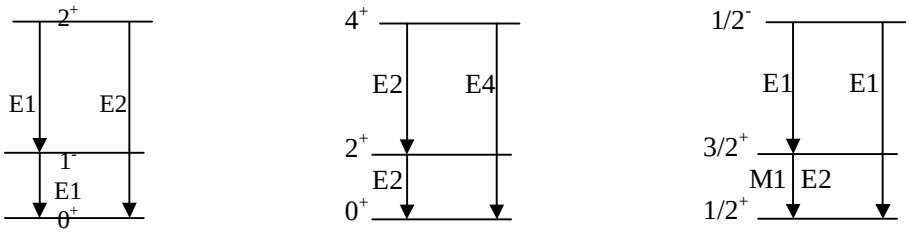
$$\pi_\gamma = (-1)^L \quad (5)$$

và dịch chuyển gamma là dạng dịch chuyển từ thì:

$$\pi_\gamma = (-1)^{L+1} \quad (6)$$

Bức xạ gamma 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…

Như vậy độ đa cực của bức xạ gamma được xác định bằng 2^L. Do L > 0 nên không tồn tại đơn photon ứng với dịch chuyển E_0. Hình 5 minh họa một số dịch chuyển điện từ và bậc đa cực. [4]



Hình 5. *Minh họa spin, chẵn lẻ và bậc đa cực của một số dịch chuyển*

Theo [3] có thể thấy:

- Nếu trong dịch chuyển đã tồn tại dịch chuyển điện thì không xuất hiện dịch chuyển từ;
- Trong một dịch chuyển gamma không xuất hiện hai loại dịch chuyển cùng loại, nghĩa là không tồn tại đồng thời các dịch chuyển điện khác bậc đa cực, hay dịch chuyển từ khác bậc đa cực trong cùng một dịch chuyển gamma;
- Dịch chuyển lưỡng cực từ kèm theo dịch chuyển tứ cực điện trong cùng một dịch chuyển gamma.

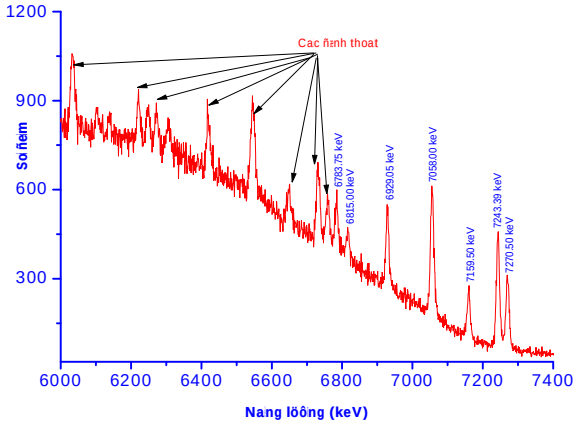
Vì xác suất dịch chuyển cùng loại (điện hoặc từ) giữa hai bậc liên tiếp (ví dụ bậc

đa cực L và bậc đa cực L + 1) là vô cùng lớn (xấp xỉ $\frac{R^2}{(2L+3)^3}$, R là bán kính hạt nhân [1]), nên với hạt nhân có thời gian sống ngắn (nhỏ hơn ps), thực nghiệm chỉ đo được là loại bức xạ lưỡng cực điện E1, bức xạ lưỡng cực từ M1 và bức xạ tứ cực điện E2.

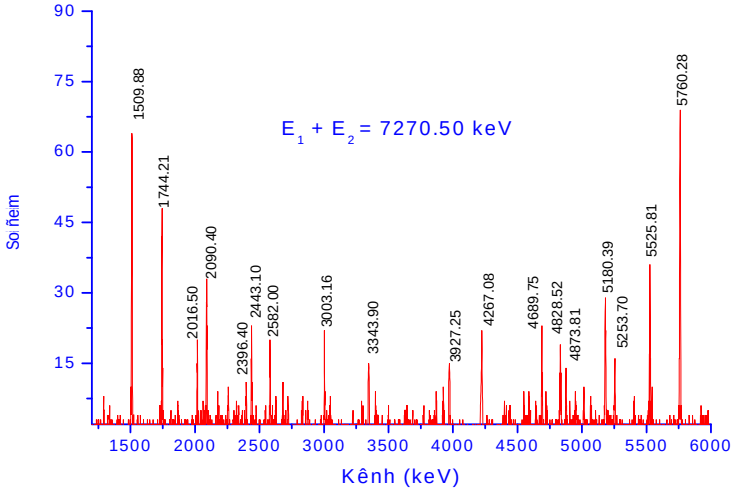
3. Kết quả, tính toán và biện luận

3.1. Kết quả

Thực nghiệm được tiến hành đo đạc trên kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Thời gian đo thực nghiệm là 100 giờ. 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 ^{56}Mn. Hình 6 là phổ nối tầng tương ứng với đỉnh tổng 7270.50 KeV. Kết quả thực nghiệm phân tích với các phổ nối tầng của các đỉnh tổng: 7270.50 keV, 7243.39 keV, 7159.50 keV, 7058.00 keV, 6929.05 keV, 6815.00 keV và 6783.75 keV đã xác định được 50 cặp chuyển dời hai bước. Bảng 1 trình bày kết quả phân tích.



Hình 5. *Một phần phổ tổng của Mn^{56}*



Hình 6. *Phổ vi phân ứng với đỉnh tổng 7270.50 keV*

Bảng 1. *Các cặp chuyển dời gamma nối tầng hai bước của* Mn^{56} *từ phản ứng* $^{55}Mn(n_{th}, 2\gamma)^{56}Mn$ *bằng phương pháp đo trùng phùng gamma-gamma*

Stt	E_1 (keV)	E_2 (keV)	E_L (keV)	ΔE_L (keV)
$E_1 + E_2 = 7270.50$ keV. $E_f = 0$ keV				
1	5760.28	1509.88	1510.22	0.34
2	5525.81	1744.21	1744.69	0.48
3	5253.70	2016.50	2016.80	0.30
4	5180.39	2090.40	2090.11	0.29
5	4873.81	2396.40	2396.69	0.29
6	4828.52	2443.10	2441.98	1.12
7	4689.75	2582.00	2580.75	1.25
8	4267.08	3003.16	3003.42	0.26
9	3927.25	3343.90	3343.25	0.65
$E_1+E_2 = 7243.39$ keV. $E_f = 26.60$ keV				
10	6104.24	1139.28	1166.26	0.38
11	5919.26	1324.60	1351.24	0.04
12	5432.90	1811.40	1837.60	0.40
13	5180.39	2063.21	2090.11	0.30
14	5067.00	2176.60	2203.50	0.30
15	4949.07	2294.54	2321.43	0.29
16	4873.81	2369.40	2396.69	0.69
17	4565.93	2677.70	2704.57	0.27
18	4380.75	2863.40	2889.75	0.25
19	3979.15	3265.00	3291.35	0.25
$E_1 + E_2 = 7159.50$ keV. $E_f = 110.50$ keV				
20	6104.24	1055.39	1166.26	0.37
21	5436.55	1723.40	1833.95	0.05
22	5035.12	2124.50	2235.38	0.38
23	4949.07	2210.64	2321.43	0.29
24	4907.65	2252.80	2362.85	0.45
25	4841.00	2319.14	2429.50	0.14
26	4565.93	2594.50	2704.57	0.43

27	4550.34	2610.60	2720.16	0.94
28	3752.04	3408.85	3518.46	0.89
$E_1 + E_2 = 7058.00$ keV. $E_f = 212.03$ keV				
29	6031.15	1027.40	1239.35	0.08
30	5919.26	1139.28	1351.24	0.07
31	5525.81	1531.40	1744.69	1.26
32	5436.55	1620.40	1833.95	1.52
33	5198.90	1858.40	2071.60	1.17
34	5180.39	1877.20	2090.11	0.88
35	5067.00	1990.60	2203.50	0.87
36	5015.41	2043.70	2255.09	0.64
37	4724.49	2333.20	2546.01	0.78
$E_1 + E_2 = 6929.05$ keV. $E_f = 340.99$ keV				
38	5525.81	1403.00	1744.69	0.70
39	5180.39	1749.00	2090.11	0.12
40	5015.41	1915.00	2255.09	0.90
$E_1 + E_2 = 6815.00$ keV. $E_f = 455.50$ keV				
41	5525.81	1289.40	1744.69	0.21
42	5678.60	1137.28	1591.90	0.88
43	5253.70	1562.40	2016.80	1.10
44	5015.41	1801.40	2255.09	1.81
45	4724.49	2090.40	2546.01	0.11
$E_1 + E_2 = 6783.75$ keV. $E_f = 486.31$ keV				
46	5525.81	1257.60	1744.69	0.78
47	5035.12	1749.00	2235.38	0.07
48	4828.52	1956.40	2441.98	0.73
49	4445.75	2338.40	2824.75	0.04
50	4104.43	2678.70	3166.07	1.06

Ghi chú: E_1 và E_2 là năng lượng của các gamma chuyển dời nối tầng sơ cấp và thứ cấp; E_L, ΔE_L là mức năng lượng mức trung gian và sai số.

3.2. Tính toán và biện luận

Ở số liệu Bảng 1 cho thấy đã xác định và xếp được 50 cặp chuyển dời gamma nối tầng vào sơ đồ phân rã của ^{56}Mn. So với số liệu trong thư viện LANL, có 23 mức trung gian được phát hiện mới và có 11 tia gamma được bổ sung. Sử dụng qui tắc xác định spin và độ chẵn lẻ của các mức mới dựa vào các công thức (3), (4), (5), (6) với chú ý là spin và độ chẵn lẻ của ^{56}Mn ở mức B_n là 2^- và 3^-, mức cơ bản là 3^+; đồng thời cần tính đến xác suất dịch chuyển điện từ, dịch chuyển cùng bậc cho cùng loại và khác loại như đã phân tích ở trên. Kết quả xác định spin và độ chẵn lẻ các mức mới như sau:

- Ở đỉnh tổng 7270.5 keV: các mức trung gian là 1744.69 keV, 2441.98 keV, 2582.75 keV, 3343.25 keV và 2090.11 keV là những mức tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+ hoặc 4^+. Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về mức cơ bản.
- Ở đỉnh tổng 7243.39 keV: các mức trung gian là 1351.24 keV, 1837.60 keV, 2396.69 keV và 2889.75 keV là những mức tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 1^+ hoặc 3^+ (do xác suất chuyển dời điện từ, nên không thể là 2^+ và 4^+ vì các mức này chuyển về mức trung gian tiếp theo là 26.60 keV có spin là 2+ [9]). Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về mức 26.60 keV.
- Ở đỉnh tổng 7159.50 keV: các mức trung gian là 2235.38 keV, 2362.85 keV, 2429.50 keV, 2704.57 keV và 2720.16 keV là những mức tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+ (do xác suất chuyển dời điện từ, nên không thể là 1^+ và 3^+ và 4^+ vì các mức này chuyển về mức trung gian tiếp theo là 110.50 keV có spin là 1+ [9]). Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về mức 110.50 keV.
- Ở đỉnh tổng 7058.00 keV: các mức trung gian là 1239.35 keV, 1833.95 keV, 2071.60 keV và 2203.50 keV là những mức tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+ hoặc 3^+. Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về mức 212.03 keV với spin và độ chẵn lẻ mức này là 4^+ [9].
- Ở đỉnh tổng 6929.05 keV: chỉ có mức trung gian mới là 2255.09 keV. Mức này được tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+, 4^+, sau đó từ mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về mức 340.99 keV có spin và độ chẵn lẻ 3^+. [9]
- Ở đỉnh tổng 6815.00 keV: các mức trung gian là 2016.80 keV và 2546.01 keV có chuyển dời gamma lưỡng cực điện E_1, nên có spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+ và 4^+. Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về 455.50 keV (3^+).
- Tương tự với đỉnh tổng 6783.75 keV: các mức trung gian là 2441.98 keV và 2824.75 keV, là những mức tạo thành do chuyển dời gamma dạng lưỡng cực điện (E_1) từ B_n, nên có

spin khả dĩ theo lí thuyết là 2^+, 4^+. Sau đó từ các mức trung gian này sẽ phát gamma theo dịch chuyển hỗn hợp lưỡng cực từ và tứ cực điện ($M_1 + E_2$) để trở về 486.31 keV (3^+).

Đặc biệt, trong quá trình phân tích phổ nối tầng từ các đỉnh tổng, ngoài các mức trung gian mới vừa nêu ở trên, còn phát hiện thêm được một số năng lượng gamma mới đó là 1811.4 keV, 1723.4 keV, 1027.40 keV, 1531.40 keV, 1620.40 keV, 1858.40 keV, 1956.40 keV, 1289.40 keV, 1562.40 keV, 1801.40 keV và 2090.40 keV.

4. Kết luận

Bằng phương pháp kích hoạt neutron nhiệt tại kênh ngang số 3 của Lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và đo các chuyển dời gamma nối tầng hai bước khi giải kích thích của ^{56}Mn đã thu nhận được 50 cặp chuyển dời nối tầng trong vùng năng lượng từ B_n đến hơn 1 MeV. Kết quả có 23 mức mới được phát hiện và 11 tia gamma năng lượng mới so với thư viện LANL công bố.

Bằng phương pháp đo trùng phùng gamma-gamma đã khắc phục được hạn chế của nền phông Compton ảnh hưởng lên những đỉnh quang điện có cường độ phát thấp. Đây cũng là ưu điểm của phương pháp so với hệ đo sử dụng một detector.

Với việc ứng dụng mẫu lớp để xác định spin và độ chẵn lẻ của các mức trung gian mới cũng như các mức đã nghiên cứu bởi các công trình trước đây, kết quả cho thấy ở các mức đã công bố bằng thực nghiệm khá phù hợp với cách tính lí thuyết. Điều đó chứng tỏ hạt nhân ^{56}Mn phù hợp với giải đoán của mẫu đơn hạt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Hữu Thư (1972), *Bài giảng về cấu trúc hạt nhân*, Nxb đại học & trung học chuyên nghiệp.
2. Viện Nghiên cứu Hạt nhân (2009), *Báo cáo các đặc trưng kĩ 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*.
3. A.H. Colenbrander, T.J.Kennett (1975), "An Investigation of the Reaction 55Mn(n,gamma)56Mn", *Can. J. Phys*. 53, pp. 236-250.
4. J. M. Blatt and V. F. Weisskopf (1972), *Theoretical Nuclear Physics*, John Wiley and Sons, Newyork.
5. J. Magill, G. Pfenning, J. Galy(2006), *Chart of the nuclides, Karlsruher nuklidkarte*, 7th edition 2006.
6. J. Mellema, H. Postma (1970), *Invertigation of nuclear level spins pf 56Mn by means of nuclear orientation*, Nuclear physics A154, pp. 385-406.
7. P. H. M. Van Assche, el al (1971), *Energy levels of 56Mn*, Nuclear physics A160, pp. 367-384 (1971).
8. P.P.J. Delheij, K.Abrahams, W.J. Huiskamp, H. Postma (1980), "The 55Mn(n,gamma)56Mn Reaction Studied with Polarized Neutrons and Polarized Manganese Nuclei", *Nucl. Phys.* A341, pp. 45-55.
9. *https://www-nds.iaea.org/pgaa/PGAAdatabase/LANL/isotopic/25mn55*

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 06-10-2015; ngày phản biện đánh giá: 06-11-2015; ngày chấp nhận đăng: 22-12-2015)