

# Ứng dụng mẫu tập thể trong việc xác định một số dải quay và dải dao động của hạt nhân $^{152}\text{Sm}$ và $^{152}\text{Gd}$

• Nguyễn An Sơn

• Đặng Lành

Trường Đại học Đà Lạt

• Hồ Hữu Thắng

Viện nghiên cứu Hạt nhân

( Bài nhận ngày 04 tháng 11 năm 2014, nhận đăng ngày 26 tháng 01 năm 2015)

## TÓM TẮT

*Nghiên cứu phản ứng hạt nhân là cần thiết trong việc xác định các tính chất đặc thù của từng hạt nhân và là phương pháp thực nghiệm hữu hiệu cho đến ngày nay. Tuy nhiên, để giải thích các tính chất về cấu trúc hạt nhân, ngoài việc nghiên cứu phản ứng thì phải sử dụng các mẫu cấu trúc hạt*

**Từ khóa:** Mẫu tập thể;  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$ ;  $^{152}\text{Eu}$ ; dải quay; dải dao động

*nhân để làm sáng tỏ vấn đề. Có nhiều mẫu cấu trúc hạt nhân khác nhau để giải quyết cho bài toán này. Bài báo trình bày ứng dụng mẫu tập thể trong việc xác định một số dải quay và dải dao động của hai hạt nhân  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$  dựa trên việc phân rã beta của nguồn  $^{152}\text{Eu}$ .*

## MỞ ĐẦU

Mẫu tập thể được phát triển vào những năm 1950 bởi các công trình nghiên cứu của Reynvoter, A. Bohr và công sự [1]. Trên cơ sở ý tưởng cho rằng cấu trúc của hạt nhân không có tính đối xứng cầu (là những hạt nhân có số proton và số neutron nằm xa các số magic), nên không thể giải thích được các tính chất của hạt nhân khi sử dụng mẫu lớp. Để khắc phục, mẫu tập thể được xây dựng với sự bổ sung hai giả thuyết chính là tính bất đối xứng của hố thế và sự tương tác giữa các nucleon. Trong vấn đề hố tự hợp có dạng bất đối xứng cầu, có thể coi bên trong hạt nhân xuất hiện thêm một bậc tự do mới, là bậc tự do tập thể, tương ứng với sự quay của lõi hạt nhân. Kết quả thực nghiệm sẽ cho thấy các phổ năng lượng kích thích của hạt nhân xuất hiện các phổ quay; đồng thời phổ thu được ở trạng thái kích thích có thể xuất hiện các phổ dao động do

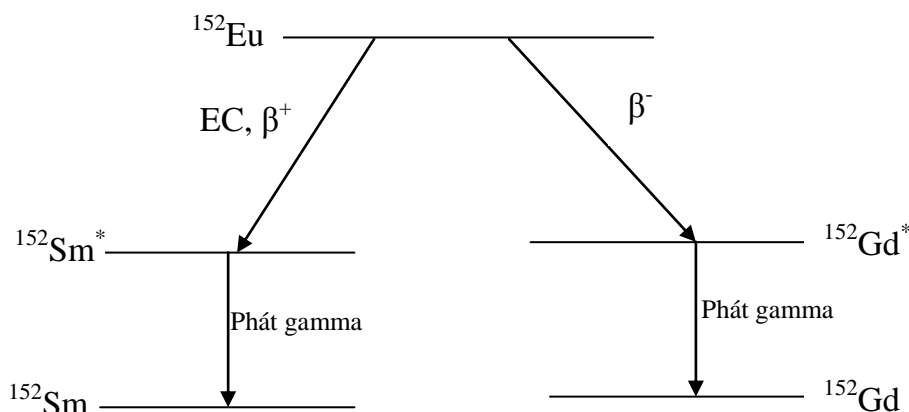
sự tương tác giữa các nucleon bên ngoài với lõi hạt nhân làm cho lõi hạt nhân dao động.

Có nhiều nghiên cứu trước đây về nguồn  $^{152}\text{Eu}$  như nghiên cứu ứng dụng phổ quay để giải thích các năng lượng thấp dưới 300 keV [2], ở nghiên cứu này nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp phân tích kích hoạt neutron khi sử dụng bia  $^{151}\text{Eu}$  theo phản ứng  $\text{Eu}^{151}(n, \gamma)^{152}\text{Eu}$  và đã xác định được cặp phổ quay 81 keV và 92 keV; các nghiên cứu khác liên quan được đăng tải gần đây chủ yếu nghiên cứu tỉ số các dịch chuyển điện đơn cực và tứ cực ( $E_0/E_2$ ) của  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$  [3, 4].

Các công trình trong nước chưa thấy có nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và sử dụng mẫu lý thuyết hạt nhân để giải quyết bài toán về cấu trúc của  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$ . Chỉ có những công trình dùng nguồn  $^{152}\text{Eu}$  để chuẩn năng lượng cho hệ đo

[5].  $^{152}\text{Eu}$  rất hay được sử dụng ở các phòng thí nghiệm vật lý hạt nhân trong việc chuẩn hệ đo. bán hủy là 13,537 năm để tạo ra  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$  ở trạng thái kích thích, sau đó các hạt nhân này giải thích bằng cách phát ra các bức xạ gamma.  $^{152}\text{Eu}$  là hạt nhân nặng và là hạt nhân lẻ - lẻ, gồm

$^{152}\text{Eu}$  có đặc điểm là phân rã có cả các quá trình gồm bắt electron, phân rã  $\beta^+$  và  $\beta^-$  với thời gian 63 proton và 89 neutron, khi phân rã beta sẽ trở về các hạt nhân chẵn - chẵn. Sơ đồ phân rã được minh họa ở Hình 1.



**Hình 1.** Sơ đồ phân rã của  $^{152}\text{Eu}$ .

Đối với các hạt nhân có lớp lấp đầy hoặc gần như đầy, thế năng đối xứng cầu có độ ổn định khá cao trước những tác động nhiễu loạn từ các nucleon bổ sung. Vì thế hình dạng hạt nhân vẫn còn đối xứng cầu. Các trạng thái kích thích của những hạt nhân này được xác định bằng các mức một hạt trong trường thế đối xứng cầu, và bằng các dao động tứ cực dạng hạt nhân đối xứng cầu cân bằng tương đối.

Trong trường thế không đối xứng cầu, moment tổng động lượng  $i$  không được bảo toàn, nên sự suy biến ngắn  $(2i + 1)$  của mức bị loại bỏ. Tuy vậy, nếu trường có đối xứng trục, thì hình chiếu  $i_z$  của vector  $\vec{i}$  lên trục đối xứng được bảo toàn. Điều đó dẫn tới sự suy biến gấp đôi của mỗi mức con với giá trị  $|i_z|$  (tương ứng với 2 giá trị hình chiếu  $+i_z$  và  $-i_z$ ). Như vậy, mức  $i$  được chia thành  $(2i + 1)/2$  mức con dịch chuyển lẫn nhau một cách tương đối. Mức độ dịch chuyển phụ thuộc vào dấu và thông số của hạt nhân không cầu  $\delta = \Delta R/R$ , mà có thể tính toán được từ giá trị moment tứ cực điện của hạt nhân  $Q$ .

Việc tính toán các mức một hạt đối với hạt nhân không đối xứng cầu lần đầu tiên đã được Nilsson đưa ra với việc sử dụng hồ thế của dao động tứ với đối xứng trục và liên kết spin quỹ đạo mạnh [6]:

$$V(r) = \frac{M}{2} [\omega^2(x^2 + y^2) + \omega_z^2 z^2] + Cls + DI^2 \quad (1)$$

Trong đó

$$\omega^2 = \omega_0^2(1 + 2\delta/3); \quad \omega_z^2 = \omega_0^2(1 - 4\delta/3);$$

$C, D, \omega_0$  là các hằng số;  $\delta$  là thông số biến dạng.

Hạt nhân không cầu có dạng elipxoit quay, có hình chiếu tổng tất cả các moment của các nucleon hạt nhân trên trục đối xứng của hạt nhân, hình chiếu này được ký hiệu là  $K$ . Vector  $\vec{K}$  trùng với spin của hạt nhân, ở trạng thái cơ bản thì  $K = I_0$ . Trường hợp đối với hạt nhân chẵn - chẵn thì  $I_0 = K = 0$ .

Nếu hạt nhân không cầu ở trạng thái kích thích, thì giá trị spin của nó có thể khác  $I_0$ . Nếu moment quay của hạt nhân bằng  $\Omega$ , thì moment tổng của nó ở trạng thái kích thích:

$$I = K + \Omega \quad (2)$$

Các mức năng lượng quay: ở trạng thái kích thích của dải quay thì  $K = \text{const}$ . Năng lượng của trạng thái quay được xác định [6]:

$$E_{\text{quay}} = \frac{\Omega^2}{2J_{\text{hd}}} = \frac{I^2 - K^2}{2J_{\text{hd}}} = \frac{\hbar^2}{2J_{\text{hd}}} [I(I+1) - K(K+1)] \quad (3)$$

với  $\hbar$  là hằng số Planck,  $J_{\text{hd}}$  là moment quán tính hiệu dụng:

$$J_{\text{hd}} \approx J_0 \left( \frac{\Delta R}{R} \right)^2 \quad (4)$$

Trong đó  $J_0$  là moment quán tính của vật cứng có hình dạng giống như hạt nhân,  $R$  là bán kính hạt nhân,  $\Delta R$  là độ biến dạng bán kính của hạt nhân.

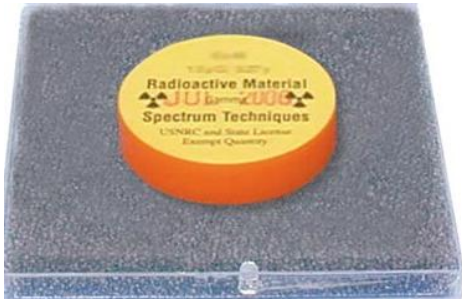
Trường hợp hạt nhân chẵn - chẵn và các chuyển dời được khảo sát ở trạng thái cơ bản, tức  $K = 0$ , thì năng lượng quay được xác định [6]:

$$E_{\text{quay}} = \hbar^2 \frac{I(I+1)}{2J_{\text{hd}}} \quad (5)$$

vì  $K = 0$ , theo công thức (2) sẽ có  $I = \Omega$ , và  $I$  chỉ có thể nhận giá trị chẵn  $I = 0, 2, 4, 6, \dots$  (do tính đối xứng biến dạng đối với mặt phẳng vuông góc trục đối xứng của hạt nhân), nên năng lượng của các dải quay chỉ có thể nhận các giá trị sau:

$$E_0 = 0; E_1 = \frac{3\hbar^2}{J_{\text{hd}}}; E_2 = \frac{10\hbar^2}{J_{\text{hd}}}; E_3 = \frac{21\hbar^2}{J_{\text{hd}}}; E_4 = \frac{36\hbar^2}{J_{\text{hd}}}; E_5 = \frac{55\hbar^2}{J_{\text{hd}}}; \dots \quad (6)$$

Như vậy, theo (6) tỉ lệ giữa các năng lượng của dải quay là:



Hình 2. Hình học nguồn  $^{152}\text{Eu}$ .

$$E_1/E_2/E_3/E_4/E_5/\dots = 1/(10/3)/7/12/(55/3)/\dots \quad (7)$$

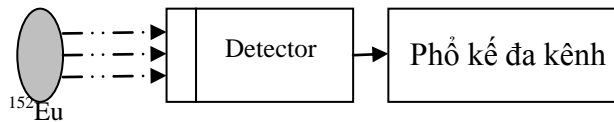
Các mức năng lượng của dải dao động: khác với các dải quay xuất hiện khi có sự thừa hoặc thiếu nhiều nucleon bên ngoài các lớp đã đầy, các dải dao động xuất hiện khi hạt nhân có sự thừa hoặc thiếu các nucleon không nhiều. Khoảng cách đều nhau của các mức năng lượng dao động và tính liên tục xác định của spin và độ chẵn lẻ đặc trưng cho các phổ dao động.

$$E_{\text{dao động}} = n\hbar\omega, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (8)$$

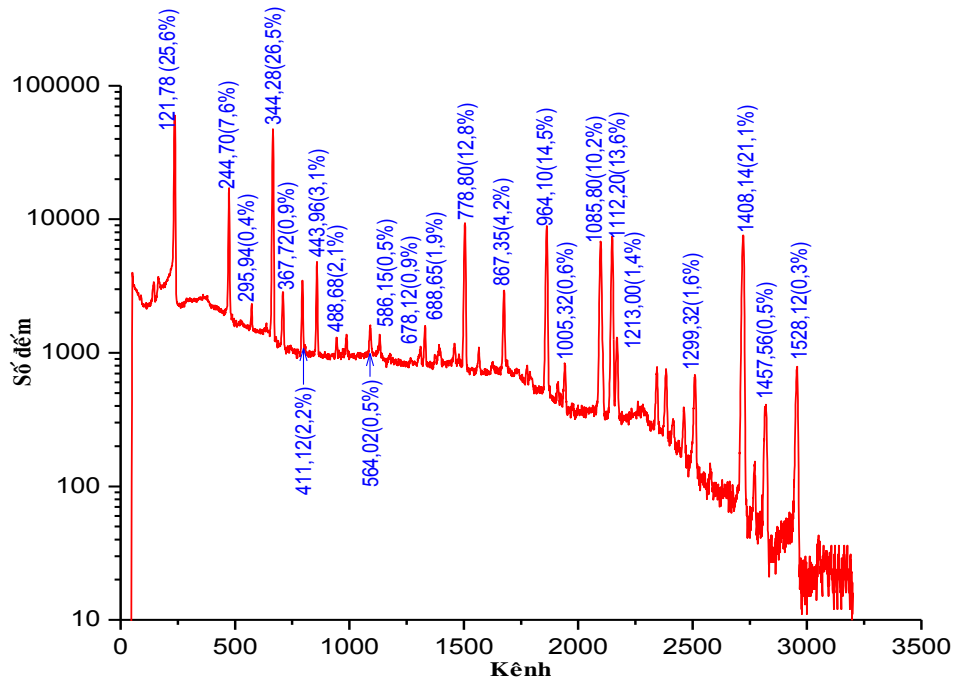
### VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tiến hành thực nghiệm đo đặc trên nguồn  $^{152}\text{Eu}$ , là nguồn điểm được bao bọc bởi nhôm có đường kính 2,54 cm, bề dày 3 mm, hoạt độ nguồn tại thời điểm tiến hành thí nghiệm là 198,99 kBq. Hình 2 trình bày dạng hình học của nguồn  $^{152}\text{Eu}$ .

Thu nhận phổ thực nghiệm bằng hệ phổ kế gamma đa kênh với detector bán dẫn, hiệu suất tương đối 20 % và độ phân giải năng lượng là 1,9 keV (tại năng lượng 1332 keV). Khoảng cách từ nguồn đến detector là 5 cm. Thời gian đo thực là 10 giờ. Hình 3 trình bày sơ đồ bố trí nguồn và detector, Hình 4 là phổ thu được của nguồn  $^{152}\text{Eu}$  đo với thời gian 10 giờ.



Hình 3. Thiết lập sơ đồ thực nghiệm.



Hàm chuẩn năng lượng có dạng:  $E(\text{keV})=10^{-7}x^2+0,518x-0,287$

Hình 4. Phổ đo thực nghiệm của <sup>152</sup>Eu.

Thực nghiệm đo đặc được trình bày trong Bảng 1, kết quả đã xác định được 23 tia gamma phát ra. Như đã đề cập ở phần tổng quan, quá trình <sup>152</sup>Eu phát beta và tạo thành hai hạt nhân <sup>152</sup>Sm và <sup>152</sup>Gd, sau đó khử kích thích bằng cách phát ra các tia gamma, nhưng trong thực nghiệm này sử dụng hệ phổ kế một detector nên không

thể xác định được chuyển dời gamma riêng lẻ của <sup>152</sup>Sm và <sup>152</sup>Gd. Do vậy, để tách những chuyển dời riêng biệt đối với hai hạt nhân này cần tham khảo thêm số liệu từ thư viện [7]. Kết quả của các chuyển dời gamma ở quá trình khử kích thích của <sup>152</sup>Sm và <sup>152</sup>Gd được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 1. Năng lượng và cường độ phát tương đối của các tia gamma đo được từ thực nghiệm khi <sup>152</sup>Eu phân rã beta

Stt	Năng lượng (keV)	Cường độ phát tương đối (%)	Stt	Năng lượng (keV)	Cường độ phát tương đối (%)
1	121,78	25,6	13	778,80	12,8
2	244,70	7,6	14	867,35	4,2
3	295,94	0,4	15	964,10	14,5
4	344,28	26,5	16	1005,32	0,6
5	367,72	0,9	17	1085,80	10,2
6	411,12	2,2	18	1112,20	13,6
7	443,96	3,1	19	1213,00	1,4
8	488,68	2,1	20	1299,32	1,6
9	564,02	0,5	21	1408,14	21,1
10	586,15	0,5	22	1457,56	0,5
11	678,12	0,9	23	1528,12	0,3
12	688,65	1,9			

**Bảng 2.** Các chuyển dời gamma của  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$ .

Các chuyển dời gamma của $^{152}\text{Sm}$ .					
Stt	Năng lượng (keV)	Cường độ phát tương đối (%)	13	1213,00	1,4%
1	121,78	25,6	14	1408,14	21,1
2	244,70	7,6	15	1457,56	0,5
3	295,94	0,4	16	1528,12	0,3
4	443,96	3,1	Các chuyển dời gamma của $^{152}\text{Gd}$ .		
5	488,68	2,1	Stt	Năng lượng (keV)	Cường độ phát tương đối (%)
6	564,02	0,5	1	344,28	26,5
7	688,65	1,9	2	367,72	0,9
8	867,35	4,2	3	411,12	2,2
9	964,10	14,5	4	586,15	0,5
10	1005,32	0,6	5	678,12	0,9
11	1085,80	10,2	6	778,80	12,8
12	1112,20	13,6	7	1299,32	1,6

$^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$  là hai hạt nhân chẵn - chẵn, nên sử dụng các công thức (6), (7) để xác định các dải quay, và công thức (8) để xác định dải

dao động. Kết quả tính toán, kết hợp so sánh giữa lý thuyết và thực nghiệm được trình bày ở Bảng 3.

**Bảng 3.** So sánh kết quả tính toán lý thuyết của dải quay và dải dao động của hạt nhân  $^{152}\text{Sm}$  và  $^{152}\text{Gd}$ .

Dải quay của $^{152}\text{Sm}$				Dải dao động $^{152}\text{Gd}$ .		
Stt	$E_\gamma$ (keV)	$(E_i/E_1)$ thực nghiệm	$(E_i/E_1)$ lý thuyết	Stt	$E_\gamma$ thực nghiệm (keV)	$E_\gamma$ lý thuyết (keV)
1	121,78	1,00	1,00	1	344,28	344,28
2	443,96	3,38	3,33	2	678,12	688,56
3	867,35	7,12	7,00	3	1299,32	1377,12
4	1457,56	11,97	12,00			

Kết quả thực nghiệm cho thấy, ở hạt nhân  $^{152}\text{Sm}$  có 04 dải quay là các năng lượng 121,78 keV, 443,96 keV, 867,35 keV và 1457,56. Kết quả này khá phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm. Trong trường hợp với hạt nhân  $^{152}\text{Gd}$  không xác định được dải quay, nhưng có 03 dải dao động là 344,28 keV, 678,12 keV và 1299,32 keV. Việc xác định dải dao động được tính theo công thức (8), ở đó các năng lượng của dải dao động là bội số của năng lượng mức kích thích đầu tiên. Kết quả này cũng khá phù hợp với lý thuyết, tuy nhiên ở năng lượng 1299,32 keV có sự khác biệt nhiều so với lý thuyết.

### KẾT LUẬN

Bằng việc ứng dụng lý thuyết mẫu tập thể trong nghiên cứu cấu trúc hạt nhân, kết quả đã xác định được một số dải quay và dải dao động của hai hạt nhân bất đối xứng cầu là  $^{152}\text{Sm}$   $^{152}\text{Gd}$  sinh ra từ phân rã beta của nguồn  $^{152}\text{Eu}$ . Các quá trình giải kích thích của  $^{152}\text{Sm}$   $^{152}\text{Gd}$  cho thấy có một số dải quay và dải dao động. Điều này là phù hợp với lý thuyết của mẫu tập thể khi nghiên cứu các hạt nhân nặng có số neutron và proton trong hạt nhân sai khác nhau lớn. Kết quả đã tìm được một số nhóm quay và nhóm dao động của  $^{152}\text{Sm}$   $^{152}\text{Gd}$  chứng tỏ hai hạt nhân này có cấu trúc không đối xứng cầu.

# Application of the collective model to determine the rotational bands and vibrational bands of $^{152}\text{Sm}$ $^{152}\text{Gd}$ nucleus

- **Nguyen An Son**
- **Dang Lanh**  
Dalat University
- **Ho Huu Thang**  
Nuclear Research Institute

## ABSTRACT

The research nuclear reactions is necessary to identify the specific characteristics of nucleus, It is the most effective experimental method up to now. However, in order to explain the properties of nuclear structures, in addition to the study of the nuclear reactions, nuclear structure models to explain experimental data and its

theory must be used. There are many nuclear structure models to solve those properties of nucleus. This paper presents a collective model application to identify some of rotational bands and vibrational bands of  $^{152}\text{Sm}$  and  $^{152}\text{Gd}$  nucleus which have the decayed beta of  $^{152}\text{Eu}$  source.

**Keywords:** Collective model,  $^{152}\text{Sm}$  and  $^{152}\text{Gd}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ; rotational band, vibrational band.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Bohr, B.R. Mottelson, Nuclear structure, 1, W.A. Benjamin Publishers, (1975).
- [2]. E.T. Patronis, Jr., H. Marshak, Low energy capture gamma rays of  $\text{Eu}^{152}$  and  $\text{Eu}^{154}$  *Physical Review*, 115, 5, 1287-1289 (1959).
- [3]. P. Mukherjee, I. Mukherjee, E0 transitions in  $^{152}\text{Sm}$  and  $^{152}\text{Gd}$ , *Eliver*, 34-39 (1969).
- [4]. Y.K. Agarwal, C.V.K. Baba, N.C. Mukhopadhyay, Particle parameters for conversion electrons in  $^{152}\text{Sm}$ ,  $^{152}\text{Gd}$  and  $^{160}\text{Dy}$ , *Nuclear Physics A*, 127, 3, 661-668 (2011).
- [5]. T.T.H. Loan, M.V. Nhon, L.V. Ngoc, Đ.N. Phuong, Mô phỏng Monte Carlo đường cong hiệu suất đỉnh của đầu dò HpGe trong hệ phổ kế gamma môi trường sử dụng chương trình MCNP4C2, *Tạp chí Phát triển KH&CN*, 10, 5 33-40 (2007).
- [6]. K.N. Mulkhin, Experimental Nuclear Physics, I, *Mir Publishers, Moscow, Russia* (1987).
- [7]. [Http://ie.lbl.gov/toi/](http://ie.lbl.gov/toi/)