

Phân rã gamma nối tầng bậc hai từ trạng thái hợp phần về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta

Nguyễn Ngọc Anh^{1*}, Nguyễn Xuân Hải¹, Trần Anh Khôi¹, Nguyễn Quang Hưng^{2,3},
Lê Tấn Phúc^{2,3}, Phạm Đình Khang⁴, Đinh Thị Tường Quy⁵, Cao Minh Nhân⁵

¹Viện Nghiên cứu Hạt nhân, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

²Viện Khoa học Cơ bản và Ứng dụng, Trường Đại học Duy Tân

³Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Duy Tân

⁴Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

⁵Khoa Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Trường Đại học Khánh Hòa

Ngày nhận bài 6/9/2021; ngày chuyển phân biện 10/9/2021; ngày nhận phân biện 12/10/2021; ngày chấp nhận đăng 18/10/2021

Tóm tắt:

Chuyển dời gamma nối tầng bậc hai tương ứng với phân rã nối tầng từ trạng thái hợp phần (năng lượng 6.062,93 keV) về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta được nghiên cứu thông qua phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ sử dụng nguồn neutron nhiệt từ kênh ngang số 3 của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma. Kết hợp và so sánh với các số liệu hiện có trong thư viện số liệu hạt nhân (ENSDF), các tác giả đã xác định được thứ tự chuyển dời của 20 cặp gamma nối tầng, từ đó xây dựng sơ đồ mức riêng phần tương ứng cho ^{182}Ta . Trong số các chuyển dời gamma và mức kích thích, xác định được 17 chuyển dời sơ cấp, 1 thứ cấp và 20 mức kích thích trung gian. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các số liệu hiện có trong ENSDF. Như vậy, các mức và chuyển dời gamma còn lại (3 chuyển dời sơ cấp và 19 thứ cấp) được xác định là các dữ liệu mới. Dải spin khả dĩ (2, 3, 4) h cũng được gán cho các mức kích thích trung gian được xác định trong nghiên cứu này.

Từ khóa: hạt nhân ^{182}Ta , phản ứng (n, γ), phân rã gamma nối tầng bậc hai, sơ đồ mức hạt nhân.

Chỉ số phân loại: 1.3

Tổng quan

Một trong các thông tin quan trọng khi nghiên cứu cấu trúc hạt nhân là sơ đồ mức hạt nhân. Sơ đồ này không chỉ là cơ sở để đánh giá, kiểm chứng nhiều mô hình lý thuyết về cấu trúc hạt nhân (tiêu biểu là mẫu lớp), mà còn là thông số đầu vào quan trọng trong tính toán tốc độ của các phản ứng tổng hợp hạt nhân xảy ra trong môi trường thiên văn sử dụng lý thuyết Hauser-Feshback (1952) [1]. Giá trị tốc độ phản ứng này có vai trò đặc biệt quan trọng đối với các nghiên cứu về sự hình thành, phát triển và lụi tàn của các ngôi sao trong vũ trụ [2]. Sơ đồ mức hạt nhân bao gồm sự sắp xếp theo năng lượng của các mức kích thích hạt nhân; các đặc trưng lượng tử của các mức kích thích đó như spin và độ chẵn lẻ; cường độ của các chuyển dời gamma khi hạt nhân chuyển từ trạng thái kích thích có năng lượng cao về các trạng thái có năng lượng thấp hơn. Bởi vì sự phức tạp và đa dạng về thông tin, việc xác định sơ đồ mức hạt nhân gặp nhiều khó khăn do không có thí nghiệm nào có thể cung cấp toàn bộ các thông tin cần thiết để thiết lập sơ đồ này đầy đủ. Trong thực tế, các nhà khoa học cần phải tiến hành nhiều thí nghiệm, sử dụng các loại phản ứng và các kênh phân rã, cũng như ứng dụng nhiều kỹ thuật đo khác nhau để có thể thu thập được đầy đủ thông tin cần thiết cho việc xây dựng sơ đồ mức hạt nhân [3].

Hạt nhân ^{182}Ta nằm trong chuỗi tổng hợp hạt nhân

(nucleosynthesis) theo tiến trình s (s-process, tiến trình hình tổng hợp nguyên tố thông qua phản ứng bắt neutron chậm) trong vùng Ta-W, do đó có vai trò quan trọng trong nhiều nghiên cứu thiên văn [4]. Một trong số các thông tin quan trọng của ^{182}Ta cần thiết cho các tính toán tổng hợp hạt nhân theo tiến trình s là sơ đồ mức hạt nhân. Chính vì vậy, sơ đồ mức của ^{182}Ta đã được nghiên cứu thông qua nhiều thí nghiệm khác nhau và được tổng hợp tại ENSDF [5, 6]. Tuy nhiên, hiện nay sơ đồ mức hạt nhân của ^{182}Ta vẫn còn chưa đầy đủ. Cụ thể, nhiều mức kích thích mặc dù đã được phát hiện nhưng chưa xác định được spin hoặc dải spin khả dĩ, cũng như nhiều chuyển dời gamma khả dĩ theo các tiên đoán sử dụng quy tắc dịch chuyển điện từ [7] vẫn chưa được phát hiện.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma để nghiên cứu các chuyển dời nối tầng từ trạng thái hợp phần (năng lượng bằng 6.062,92 keV) về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta , từ đó xác định năng lượng và dải spin khả dĩ của một số mức kích thích trong sơ đồ mức ^{182}Ta . Phương pháp trùng phùng gamma-gamma [8] có ưu điểm về khả năng loại bỏ nền phông Compton cao, cũng như khả năng phát hiện rất tốt các cặp chuyển dời gamma có tương quan về mặt thời gian. Điều này mở ra cơ hội phát hiện một số chuyển dời gamma mới mà các nghiên cứu khác chưa ghi nhận được, góp phần bổ sung vào bộ số liệu về sơ đồ mức hạt nhân ^{182}Ta trong ENSDF.

*Tác giả liên hệ: Email: ngocanh8999@gmail.com

Two-step gamma cascade decays from the compound state to the ground state of ^{182}Ta nucleus

Ngoc Anh Nguyen^{1*}, Xuan Hai Nguyen¹, Anh Khoi Tran¹, Quang Hung Nguyen^{2,3}, Tan Phuc Le^{2,3}, Dinh Khang Pham⁴, Thi Tuong Quy Dinh⁵, Minh Nhan Cao⁵

¹Dalat Nuclear Research Institute, Vietnam Atomic Energy Institute

²Institute of Fundamental and Applied Sciences, Duy Tan University

³Faculty of Natural Sciences, Duy Tan University

⁴Hanoi University of Science and Technology

⁵Department of Natural Science and Technology, Khanh Hoa University

Received 6 September 2021; accepted 18 October 2021

Abstract:

Two-step gamma transitions corresponding to the decays from the compound state (6,062.93 keV) to the ground state of ^{182}Ta nucleus have been investigated via a $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ reaction using the thermal neutron beam from the No.3 neutron channel of the Dalat Nuclear Research Reactor and a gamma-gamma coincidence spectrometer. By comparing with data extracted from the Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) library, the authors have determined the order of 20 pairs of gamma cascade transitions, and then constructed a corresponding partial nuclear level scheme of ^{182}Ta . Based on the detected gamma transitions and levels, 17 primary transitions, 1 secondary transition, and 20 intermediate levels are found to be the same as those in the ENSDF. The remaining 3 primary transitions and 19 secondary transitions are, thus, considered as the new data. In addition, a tentative spin range of (2, 3, 4) h. has been assigned to all the intermediate levels detected within the present work.

Keywords: nuclear level scheme, nuclear ^{182}Ta , (n, γ) reaction, two-step gamma cascade decay.

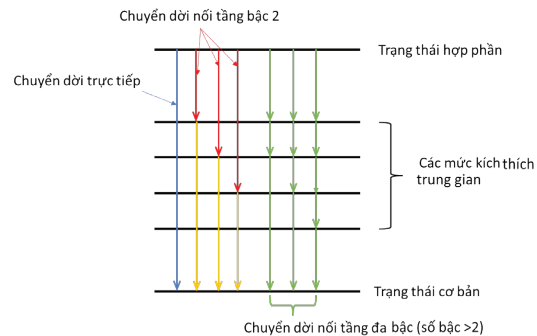
Classification number: 1.3

Thí nghiệm và phương pháp xử lý số liệu

Trong nghiên cứu này, hạt nhân ^{182}Ta ở trạng thái hợp phần được tạo ra từ phản ứng $^{181}\text{Ta}(n,\gamma)^{182}\text{Ta}$ gây bởi chùm neutron nhiệt trên kênh ngang số 3 của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt. Thông tin chi tiết về cách bố trí thí nghiệm cũng như thông số đặc trưng của dòng neutron được trình bày trong tài liệu tham khảo [9]. Bia mẫu ^{181}Ta có khối lượng xấp xỉ 1,5 g. Tổng thời gian đo hiệu dụng là 690 giờ.

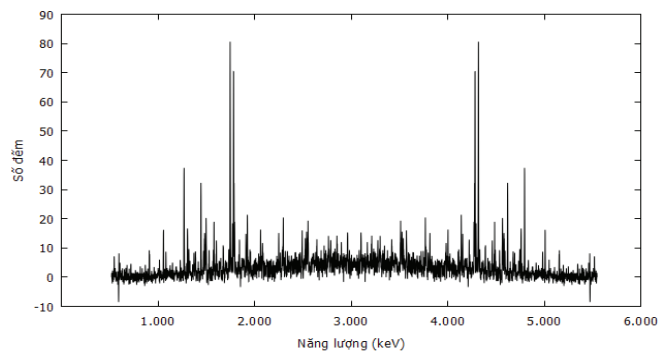
Sau khi hạt nhân ^{182}Ta được hình thành ở trạng thái hợp

phần, nó luôn có xu hướng trở về các trạng thái cơ bản (trạng thái bền vững nhất) thông qua các phân rã gamma trực tiếp (xuống trạng thái cơ bản) hoặc thứ cấp (xuống các trạng thái có năng lượng thấp hơn rồi từ đó trở về trạng thái cơ bản, gọi là các chuyển dời gamma nối tầng bậc 2 hoặc đa bậc) (hình 1). Phương pháp trùng phùng gamma-gamma [8] cho phép chỉ ghi nhận các cặp chuyển dời nối tầng bậc hai (các cặp nối tầng bậc hai nằm trong các nối tầng đa bậc cũng vẫn được ghi nhận). Tuy nhiên, có thể dễ dàng phân biệt các nối tầng bậc hai tương ứng với quá trình phân rã gamma từ trạng thái hợp phần về trạng thái cơ bản với các nối tầng bậc hai khác bằng điều kiện về tổng năng lượng của hai chuyển dời. Cụ thể, với hạt nhân ^{182}Ta , các nối tầng bậc hai được quan tâm sẽ có tổng năng lượng của hai tia gamma bằng 6.062,939 keV, trong đó 6.062,93 keV là năng lượng kích thích của trạng thái hợp phần và 9 keV là độ nhòe năng lượng của hệ phổ kế tại năng lượng này.



Hình 1. Minh họa các quá trình chuyển dời gamma trực tiếp, chuyển dời nối tầng bậc 2 và chuyển dời nối tầng đa bậc từ trạng thái hợp phần xuống trạng thái cơ bản của hạt nhân kích thích.

Phần phân rã gamma nối tầng bậc hai từ trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta được trình bày ở hình 2. Các cặp chuyển dời nối tầng sẽ xuất hiện trong phổ nối tầng bậc hai dưới dạng các cặp đỉnh đối xứng qua tâm phổ. Vị trí và diện tích của các đỉnh tỷ lệ tương ứng với năng lượng và cường độ của các chuyển dời nối tầng.



Hình 2. Phổ phân rã gamma nối tầng bậc hai trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta .

Để thuận tiện cho việc phân tích phổ, chúng tôi quy ước các chuyển dời từ trạng thái hợp phần về mức kích thích trung gian (các chuyển dời sơ cấp) được ký hiệu là E_i và các chuyển dời từ mức kích thích trung gian về trạng thái cơ bản (các chuyển dời thứ cấp) được ký hiệu là E_j . Thực tế, phương pháp trùng phùng gamma-gamma cho phép xác định các cặp chuyển dời nổi tầng nhưng không cho biết chuyển dời nào trong cặp là chuyển dời sơ cấp. Trong thí nghiệm này, chúng tôi xác định chuyển dời sơ cấp của một cặp chuyển dời gamma nổi tầng dựa trên thông tin bổ sung từ ENSDF. Cụ thể, mỗi cặp chuyển dời nổi tầng chỉ có hai cách sắp xếp thứ tự, theo đó, cách sắp xếp có mức kích thích trung gian thu được phù hợp với các dữ liệu đang có trong ENSDF được cho là cách sắp xếp đúng. Các cặp chuyển dời nổi tầng mà cả hai cách sắp xếp đều không phù hợp với số liệu đã có trong ENSDF sẽ được xếp vào các trường hợp mà thứ tự của chuyển dời nổi tầng là không xác định.

Đối với spin của các mức kích thích, spin của mức kích thích trung gian được xác định dựa trên quy tắc dịch chuyển điện từ [7], với giả thiết các chuyển dời gamma thu được trong thí nghiệm đều là chuyển dời lưỡng cực [10, 11]. Theo quy tắc dịch chuyển điện từ, dải spin khả dĩ của một mức kích thích trung gian sẽ được xác định dựa theo hệ thức sau:

$$J_m = [\max\{J_i - 1, J_f - 1\}, \min\{J_i + 1, J_f + 1\}]$$

trong đó: $J_i = [3, 4] \hbar$ là spin của trạng thái hợp phần và $J_f = 3 \hbar$ là spin của trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta . Như vậy, dựa theo hệ thức trên, dải spin khả dĩ của các mức kích thích trung gian phát hiện trong nghiên cứu này sẽ là $J_m = [2, 3, 4] \hbar$.

Kết quả và bàn luận

Kết quả

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã xác định được 39 cặp chuyển dời nổi tầng bậc hai tương ứng với phân rã gamma nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta . Trong số các cặp chuyển dời nổi tầng, xác định được 20 cặp có thể xác định được thứ tự (bảng 1) và 19 cặp không xác định được thứ tự (bảng 2). Thông tin của 20 cặp chuyển dời nổi tầng thực nghiệm với thứ tự đã được xác định cho phép xây dựng sơ đồ mức thực nghiệm riêng phần tương ứng với phân rã gamma nổi tầng bậc hai từ trạng thái hợp phần về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta .

So sánh sơ đồ mức riêng phần thực nghiệm thu được từ nghiên cứu này với các số liệu hiện có trong ENSDF, chúng tôi đã ghi nhận được 3 chuyển dời sơ cấp và 19 chuyển dời thứ cấp chưa có trong ENSDF. Các số liệu nêu trên được in đậm trong bảng 1.

Bảng 1. Sơ đồ mức riêng phần thực nghiệm tương ứng với chuyển dời nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta .

E_1	ΔE_1	E_2	ΔE_2	$I_{\gamma 1}$	$\Delta I_{\gamma 1}$	E_m	ΔE_m	J_m	J_m (ENSDF)
(keV)	(keV)	(keV)	(keV)	-	-	(keV)	(keV)	(\hbar)	(\hbar)
5.515,9	1,0	547,1	1,0	7,4	1,6	547,1	1,4	2, 3, 4	3
5.343,5	1,2	719,5	1,2	6,0	1,4	719,5	1,7	2, 3, 4	3
5.152,9	0,7	909,7	1,3	7,3	2,7	909,7	1,5	2, 3, 4	5
5.103,5	1,2	959,4	1,2	3,4	1,2	959,4	1,8	2, 3, 4	4
5.006,4	0,6	1.056,5	0,6	18,3	2,6	1.056,5	0,8	2, 3, 4	3, 4
4.980,4	0,8	1.082,6	0,9	9,5	1,8	1.082,6	1,2	2, 3, 4	3, 4
4.793,2	0,5	1.269,6	0,5	46,7	4,0	1.269,6	0,7	2, 3, 4	3, 4
4.743,2	1,1	1.319,7	1,1	9,9	2,1	1.319,7	1,6	2, 3, 4	3, 4
4.674,7	1,4	1.388,0	1,3	11,9	2,0	1.388,0	1,9	2, 3, 4	3, 4
4.618,0	0,5	1.444,9	0,5	40,3	3,7	1.444,9	0,7	2, 3, 4	3, 4
4.591,2	1,3	1.471,9	1,3	9,0	2,1	1.471,9	1,8	2, 3, 4	3, 4
4.564,8	0,9	1.498,1	0,8	22,6	3,1	1.498,1	1,2	2, 3, 4	3, 4
4.534,3	1,1	1.528,7	1,1	11,6	2,0	1.528,7	1,5	2, 3, 4	3, 4
4.483,2	0,8	1.579,3	0,7	19,7	2,8	1.579,3	1,0	2, 3, 4	-
4.479,1	1,1	1.583,4	1,0	8,8	2,1	1.583,4	1,5	2, 3, 4	3, 4
4.458,5	0,7	1.604,4	0,7	16,8	2,2	1.604,4	0,9	2, 3, 4	3, 4
4.315,9	0,4	1.747,0	0,4	100,0	6,0	1.747,0	0,5	2, 3, 4	3, 4
4.219,7	0,5	1.837,7	1,0	9,2	2,2	1.837,7	1,1	2, 3, 4	-
4.138,0	0,6	1.924,6	0,7	22,3	3,0	1.924,6	0,9	2, 3, 4	-
3.981,6	1,2	2.081,3	1,2	13,9	2,5	2.081,3	1,7	2, 3, 4	-

E_1 , E_2 và E_m lần lượt là năng lượng của chuyển dời sơ cấp, thứ thứ cấp và mức kích thích trung gian (keV); ΔE_1 , ΔE_2 và ΔE_m lần lượt là sai số của các năng lượng chuyển dời sơ cấp, thứ thứ cấp và mức kích thích trung gian (keV); $I_{\gamma 1}$ và $\Delta I_{\gamma 1}$ lần lượt là cường độ tương đối và sai số cường độ tương đối của chuyển dời nổi tầng bậc hai; J_m là spin khả dĩ của các mức kích thích trung gian (\hbar); J_m (ENSDF) là spin của các mức kích thích trung gian (\hbar) đã có trong ENSDF. Các số liệu được in đậm là các số liệu mới (chưa có trong ENSDF [5, 6]).

Bảng 2. Cường độ tương đối của các cặp chuyển dời nổi tầng chưa xác định được thứ tự chuyển dời.

E_1	ΔE_1	E_2	ΔE_2	$I_{\gamma 1}$	$\Delta I_{\gamma 1}$
(keV)	(keV)	(keV)	(keV)	-	-
5.150,7	1,4	912,2	1,5	6,8	2,7
4.757,2	0,7	1.305,7	0,7	22,4	2,7
4.582,6	1,0	1.480,4	1,2	14,2	2,8
4.578,6	1,0	1.484,6	1,5	15,2	2,9
4.291,5	0,8	1.771,4	0,8	17,3	2,9
4.280,6	0,3	1.782,4	0,3	86,6	6,0
4.275,3	1,0	1.786,8	0,7	35,8	4,2
4.269,9	0,7	1.793,0	0,7	19,9	3,1
4.226,0	0,9	1.843,3	0,8	9,3	2,2
4.152,4	1,1	1.910,2	0,9	17,0	2,5
4.111,7	0,8	1.951,2	0,9	9,0	2,0
4.106,2	0,9	1.956,8	0,9	9,8	2,0
4.001,0	0,8	2.062,0	0,9	15,6	2,6
3.976,2	1,8	2.086,7	1,8	9,9	2,2
3.813,4	0,9	2.249,5	0,9	15,5	2,7
3.796,0	1,1	2.266,9	1,2	10,6	2,0
3.777,5	1,1	2.285,5	1,2	8,7	2,2
3.771,7	1,4	2.291,2	1,4	8,6	2,6
3.766,9	0,9	2.296,1	0,8	18,9	3,5

Ngoài ra, dải spin khả dĩ của các mức kích thích tương ứng xác định được trong thí nghiệm này cũng được trình bày ở bảng 1. Mặt khác, cường độ tương đối của các cặp chuyển dời nổi tầng phát hiện được cung cấp ở bảng 1 và 2.

Các thảo luận sau đây sẽ tiếp tục làm rõ hơn ý nghĩa của các kết quả thu được trong nghiên cứu này.

Bàn luận

Từ bảng 1 có thể thấy, phần lớn các chuyển dời sơ cấp được phát hiện trong thí nghiệm đo phân rã gamma nổi tầng bậc hai bằng hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma đã được ghi nhận bởi các thí nghiệm sử dụng phản ứng (n, γ) và phổ kế gamma truyền thống [12-14]. Trong khi đó, phần lớn các chuyển dời thứ cấp đo được trong thí nghiệm này đều chưa từng được ghi nhận bởi các thực nghiệm trước đây. Kết quả này thể hiện rõ ưu điểm vượt trội của phương pháp trùng phùng gamma-gamma trong việc lọc lựa các chuyển dời có tương quan về mặt thời gian. Dễ thấy rằng, số lượng các tia gamma có năng lượng thấp nhiều hơn rất nhiều các tia gamma có năng lượng cao. Do vậy, khả năng phát hiện các tia gamma năng lượng cao trong phổ gamma ghi bởi các hệ phổ kế gamma truyền thống tốt hơn khả năng phát hiện các tia gamma năng lượng thấp. Một trong số các nguyên nhân được xác định là do hiện tượng chồng chập đỉnh trong vùng năng lượng cao của phổ gamma truyền thống ít xảy ra. Trong khi đó, ở vùng năng lượng thấp của phổ gamma truyền thống, hiện tượng chồng chập xảy ra nhiều hơn đáng kể do số lượng tia gamma đóng góp vào vùng phổ này là rất lớn. Không những vậy, vùng năng lượng thấp của phổ gamma truyền thống còn bị ảnh hưởng đáng kể bởi nền phong Compton gây bởi các tia gamma năng lượng cao. Phương pháp trùng phùng gamma-gamma cho phép ghi nhận được các phổ nổi tầng bậc hai chỉ chứa các tia gamma tương ứng với các phân rã nổi tầng bậc hai từ trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta (hình 2). Chính vì vậy, việc sử dụng phương pháp trùng phùng gamma-gamma đã góp phần giảm đáng kể số lượng các tia gamma không mong muốn đóng góp vào phổ cũng như loại bỏ ảnh hưởng của nền phong Compton. Ngoài ra, sự chồng chập đỉnh cũng được giảm bớt, nhờ đó cải thiện đáng kể khả năng phát hiện các tia gamma có năng lượng và cường độ thấp trong phương pháp trùng phùng gamma-gamma, đặc biệt là khi so sánh với phương pháp phân tích phổ gamma truyền thống.

Dải spin khả dĩ của các mức kích thích trung gian ghi nhận trong nghiên cứu này được so sánh với các giá trị trích xuất từ ENSDF ở bảng 1 cho thấy sự phù hợp rất cao. Chỉ có duy nhất một trường hợp là mức kích thích có năng lượng 909,7 keV có dải spin khả dĩ không phù hợp với giá trị spin trích xuất từ ENSDF. Đặc biệt, chúng tôi lần đầu tiên đã xác định được dải spin khả dĩ (2, 3, 4) \hbar cho 4 mức kích thích trung gian có năng lượng 1.579,3, 1.837,7, 1.924,6 và 2.081,3 keV. Các mức kích thích này hiện chưa có thông tin về giá trị spin trong ENSDF.

Kết quả bảng 1 và 2 cũng cung cấp cường độ tương đối của các cặp chuyển dời nổi tầng bậc hai tương ứng với phân rã gamma nổi tầng từ trạng thái hợp phần 6.062,93 keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta . Thông tin về cường độ chuyển dời nổi tầng có thể được sử dụng để đánh giá mật độ mức và hàm lực bức xạ của ^{182}Ta bằng cách sử dụng các chương trình mô phỏng phân rã gamma nổi tầng như DICEBOX [15] và RAINIER [16]. Đây là các vấn đề mà chúng tôi đã và đang thực hiện, kết quả thu được sẽ được trình bày trong các công trình nghiên cứu tiếp theo.

Kết luận

Trong công trình nghiên cứu này, chúng tôi đã xác định được các phân rã gamma nổi tầng bậc hai từ trạng thái hợp phần 6.062,93

keV về trạng thái cơ bản của hạt nhân ^{182}Ta thông qua phản ứng $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)^{182}\text{Ta}$ sử dụng chùm neutron nhiệt của lò phản ứng hạt nhân Đà Lạt và hệ phổ kế trùng phùng gamma-gamma. Chúng tôi đã xác định được thứ tự chuyển dời của 20 cặp chuyển dời gamma nổi tầng, từ đó xây dựng được sơ đồ mức riêng phần của hạt nhân ^{182}Ta . Trong số 20 cặp chuyển dời gamma này, có 17 chuyển dời sơ cấp, 1 thứ cấp và 20 mức kích thích trung gian, điều này hoàn toàn phù hợp với các số liệu trong ENSDF. 3 chuyển dời sơ cấp và 19 thứ cấp còn lại chưa có trong ENSDF, do đó được xác định là các dữ liệu mới. Ngoài ra, chúng tôi cũng lần đầu xác định được dải spin khả dĩ (2, 3, 4) \hbar của 4 mức kích thích trung gian có năng lượng 1.579,3, 1.837,7, 1.924,6 và 2.081,3 keV mà chưa được ghi nhận trong ENSDF. Các kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng trong việc hoàn thiện dần sơ đồ mức của hạt nhân ^{182}Ta , từ đó góp phần vào các nghiên cứu về mật độ mức, hàm lực bức xạ cũng như những vấn đề liên quan tới quá trình hình thành các đồng vị Tantalum trong vũ trụ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ thông qua đề tài “Nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết mật độ mức, hàm lực bức xạ của một số hạt nhân kích thích” (mã số ĐTDLCN.02/19) thuộc Chương trình Phát triển vật lý đến năm 2020 và Đề tài cấp quốc gia mã số KC.05.18/16-20. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W. Hauser, H. Feshbach (1952), “The inelastic scattering of neutrons”, *Phys. Rev.*, **87**, DOI: 10.1103/Phys.Rev.87.366.
- [2] T. Rauscher, F.K. Thielemann, K.L. Kratz (1997), “Nuclear level density and the determination of thermonuclear rates for astrophysics”, *Phys. Rev. C*, **56**, DOI: 10.1103/Phys.Rev.56.1613.
- [3] T. Belgya, et al. (2006), *Handbook for Calculations of Nuclear Reaction Data*, IAEA-Techdoc, Vienna, Austria.
- [4] J.N. Avila, et al. (2012), “Tungsten isotopic compositions in stardust SiC grains from the murchison meteorite: constraints on the s-process in the Hf-Ta-W-Re-Os region”, *Astrophys. J.*, **744**, DOI: 10.1088/0004-637X/744/1/49.
- [5] <https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>.
- [6] B. Singh (2015), “Nuclear data sheets for A=182”, *Nucl. Data. Sheets*, **130**, pp.121-126.
- [7] J.M. Blatt, V.F. Weisskopf (1991), *Theoretical Nuclear Physics*, Springer-Verlag, 896pp.
- [8] S. Boneva, E. Vasileva, Y. Popov, A. Sukhovoy, V. Khitrov, Yu. Yazvitskiy (1991), “Two-quantum cascades of radiative neutron capture 1-Spectroscopy of excited states of complex nuclei in the neutron binding energy region”, *Sov. J. Part. Nucl.*, **22(2)**, pp.232-248.
- [9] N.A. Nguyen, X.H. Nguyen, D.K. Pham, Q.H. Nguyen, H.T. Ho (2017), “Updated level scheme of ^{171}Yb from $^{171}\text{Yb}(n, \gamma)$ reaction studied via gamma-gamma coincidence spectrometer”, *Nucl. Phys. A*, **964**, pp.55-68.
- [10] N.N. Anh, et al. (2019), “Level scheme of ^{153}Sm obtained from the $^{152}\text{Sm}(n, \gamma)$ reaction using a γ - γ coincidence spectrometer”, *Phys. Rev. C*, **100**, DOI: 10.1103/Phys.RevC.100.024324.
- [11] N.K. Uyen, et al. (2021), “Level scheme of ^{164}Dy obtained from $^{163}\text{Dy}(n_{th}, 2\gamma)$ experiment”, *Nucl. Phys. A*, **1007**, pp.122-136.
- [12] J.M. Van Den Cruyce, et al. (1979), “Nuclear levels in the doubly odd nucleus ^{182}Ta ”, *Phys. Rev. C*, **20**, DOI: 10.1103/Phys.RevC.20.504.
- [13] R.G. Helmer, R.C. Greenwood, C.W. Reich (1971), “Level structure of ^{182}Ta ”, *Nucl. Phys. A*, **168**, pp.449-486.
- [14] W. Andrejtscheff, P. Manfrass, W. Seidel (1974), “Transition probabilities in the doubly odd nuclei ^{176}Lu and ^{182}Ta ”, *Nucl. Phys. A*, **226**, pp.142-156.
- [15] F. Becvar (1998), “Simulation of γ cascades in complex nuclei with emphasis on assessment of uncertainties of cascade-related quantities”, *Nucl. Instr. Methods A*, **417**, pp.434-449.
- [16] L.E. Kirsch, L.A. Bernstein (2017), “RAINIER: a simulation tool for distributions of excited nuclear states and cascade fluctuations”, *Nucl. Instr. Methods A*, **892**, pp.30-40.