ĐÁNH GIÁ CÁC MÔ HÌNH MẬT ĐỘ MỨC CỦA HẠT NHÂN ^{153}Sm

***Nguyễn Ngọc Anh*[1]**
***Nguyễn Ngọc Huynh*[2]**

TÓM TẮT

Bài viết này đánh giá các mô hình mật độ mức hạt nhân tính cho hạt nhân ^{153}Sm. Các mô hình được đánh giá bao gồm: Back-shifted Fermi Gas (BSFG), Constant Temperature (CT), Hartree-Fock BCS (HFBCS), Hatree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method (HFBC). Các mô hình được đánh giá dựa trên so sánh với số liệu mức gián đoạn báo cáo trong Nuclear Data Sheets (NDS), mật độ mức xác định từ phương pháp Oslo và khoảng cách mức trung bình ở năng lượng liên kết nơtron. Kết quả đánh giá cho thấy cả hai mô hình hiện tượng luận BSFG và CT đều không thể mô tả tốt số liệu thực nghiệm. Mô hình HFBCS chỉ có thể mô tả được vùng năng lượng kích thích dưới 0,5 MeV, trong khi đó mô hình HFBC mặc dù có thể mô tả tốt mật độ mức toàn phần nhưng không thành công khi mô tả mật độ mức riêng phần cho dải spin từ 0,5 đến 1,5 ħ.

Từ khóa: *Mật độ mức hạt nhân, ^{153}Sm*

1. Mở đầu

Hạt nhân ^{153}Sm là một hạt nhân biến dạng, trong vùng các hạt nhân nặng (số khối A>150), do đó có cấu trúc mức kích thích phức tạp. Cấu trúc mức kích thích của ^{153}Sm chứa đựng thông tin của nhiều quá trình vật lý khác nhau ví dụ như hiệu ứng quay, hiệu ứng dao động, hiệu ứng liên kết cặp và bẻ gãy liên kết cặp. Nghiên cứu cấu trúc mức của ^{153}Sm, do đó, là cần thiết. Thông qua đó, các hiệu ứng vật lý có thể được hiểu biết một cách rõ ràng hơn.

Một trong các thông số quan trọng của cấu trúc mức là mật độ mức hạt nhân. Để mô tả mật độ mức hạt nhân, người ta xây dựng các mô hình. Back-shifted Fermi Gas (BSFG) [1], Constant Temperature (CT) [1], Hartree-Fock BCS (HFBCS) [2] và Hatree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method (HFBC) [3] là bốn mô hình có độ tin cậy cao và được sử dụng phổ biến nhất. Hai mô hình đầu là các mô hình thực nghiệm, các tham số tự do của các mô hình này được xác định từ thực nghiệm. Hai mô hình sau là các mô hình vi mô, trong đó các giả thiết về thế tương tác và các hiệu ứng được sử dụng để tính toán mật độ trạng thái của hạt nhân. Độ tin cậy và khả năng tiên đoán của các mô hình này cần phải được đánh giá thông qua việc so sánh chúng với các số liệu thực nghiệm đã có.

Bài viết này tiến hành đánh giá 4 mô hình mật độ mức hạt nhân, bao gồm BSFG, CT, HFBCS và HFBC dựa trên các số liệu thực nghiệm sau đây: mức gián đoạn từ Nuclear Data Sheets (NDS) [4], mật độ mức toàn phần xác định từ phương pháp Oslo [5] và khoảng cách mức trung bình ở năng lượng liên kết nơtron [6].

2. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá các mô hình mật độ mức, chúng tôi tiến hành so sánh các

[1]Viện Nghiên cứu hạt nhân
Email: ngocanh8999@gmail.com
[2]Cục An toàn bức xạ và hạt nhân

mô hình với các số liệu thực nghiệm ở hai dạng biểu diễn: dạng đường số đếm tích lũy theo năng lượng kích thích và dạng mật độ mức. Dạng đường đếm tích lũy thích hợp để so sánh với số liệu mức gián đoạn, trong khi đó dạng mật độ mức giúp so sánh với khoảng cách mức trung bình ở năng lượng liên kết nơtron. Ngoài ra, mật độ mức toàn phần (tính cho toàn bộ các spin) và mật độ mức riêng phần (tính cho spin từ 0,5 đến 1,5 $\hbar$) cũng được so sánh độc lập. Dải spin từ 0,5 đến 1,5 $\hbar$ được lựa chọn vì đây là các spin có tần suất xuất hiện lớn trong NDS [4].

Dạng hàm mật độ mức của các mô hình BSFG và CT được tham khảo từ tài liệu [1]. Tham số tự do của các mô hình này được trích từ tài liệu [7]. Mật độ mức tính bởi các mô hình vi mô HFBCS và HFB được lấy từ các thư viện RIPL-2 [8] và RIPL-3 [6].

Mật độ mức tại năng lượng liên kết nơtron, $\rho(B_n)$, được xác định từ khoảng cách mức trung bình tại năng lượng liên kết nơtron. Đối với ^{153}Sm, $\rho(B_n) = (1{,}75 \pm 0{,}36) \times 10^6$ (MeV^{-1}) [6]. Trong khi đó mật độ mức trong vùng từ 0 đến 3,5 MeV xác định bằng phương pháp Oslo được lấy từ tài liệu [5].

Để xác định đường số đếm mức tích lũy từ các giá trị mật độ mức, chúng tôi sử dụng công thức truyền thống [9]:

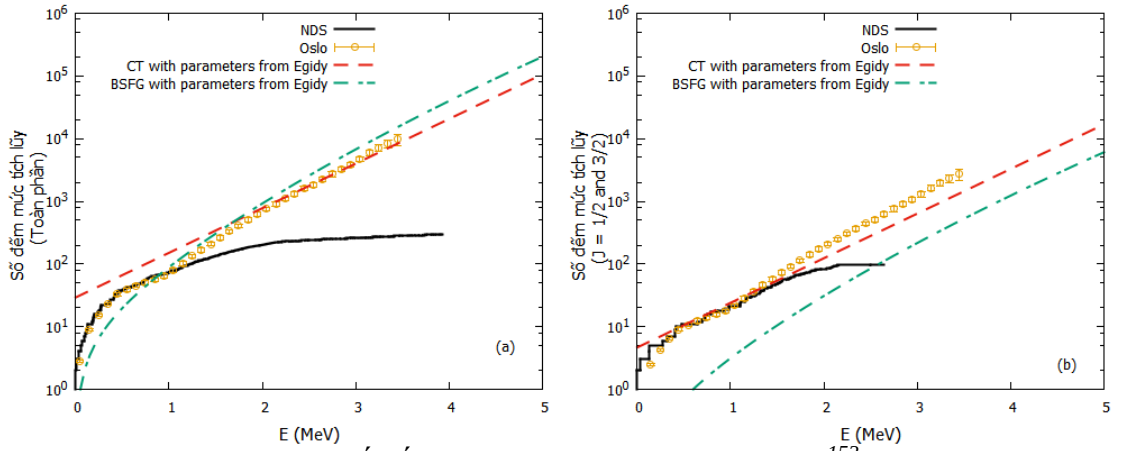
$$N(E) = \int_0^E \rho(E_c) dE_c \qquad (1)$$

Công thức (1) được sử dụng để xác định đường tích lũy cho tất cả các mô hình được đánh giá và số liệu của Oslo.

Mật độ mức xác định từ các mức gián đoạn trong NDS bằng cách đếm số mức trong một khoảng năng lượng xác định và chia số mức đếm được cho độ rộng khoảng năng lượng (tính theo đơn vị MeV).

3. Kết quả và thảo luận

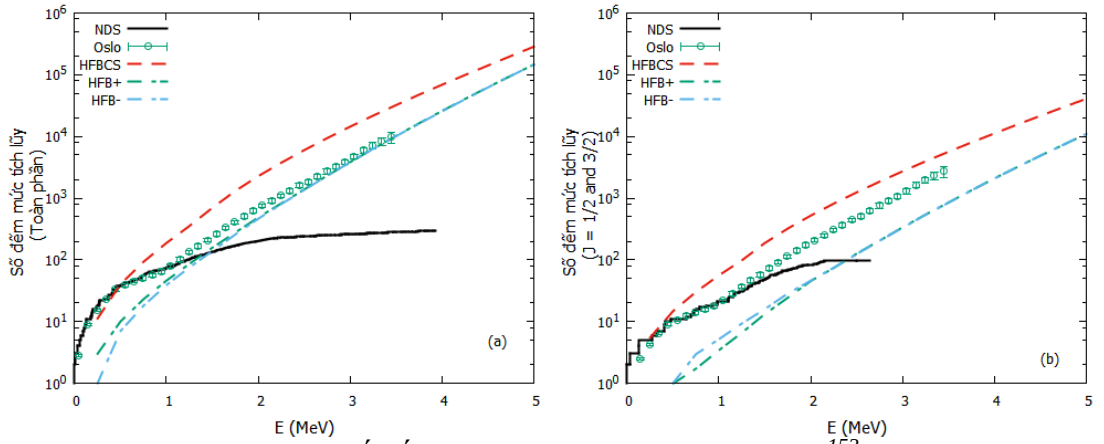
Hình 1 so sánh đường số đếm tích lũy thực nghiệm với các mô hình hiện tượng luận. Dễ thấy rằng mô hình CT mô tả tốt các đường tích lũy thực nghiệm cho dải spin từ 0,5 đến 1,5 $\hbar$ nhưng lại lệch khá xa so với các đường tích lũy toàn phần ở vùng năng lượng thấp (<1,5 MeV). Trong vùng này số liệu thực nghiệm của Oslo và của NDS có sự phù hợp rất tốt với nhau, do đó, không mô tả tốt số liệu thực nghiệm trong vùng này là một hạn chế lớn của mô hình CT. Mặt khác cũng có thể thấy rằng mô hình CT giả thiết mật độ mức bằng dạng hàm e mũ. Đây là một dạng hàm quá đơn giản, mà do đó không thể mô tả được các thăng giáng của số liệu thực nghiệm. Đối với mô hình BSFG, dễ thấy rằng mô hình này hầu như không thể mô tả các số liệu thực nghiệm. Các mô hình hiện tượng luận bị phụ thuộc rất mạnh vào giá trị các tham số tự do và dạng hàm của chúng, do đó việc các mô hình này không thể mô tả được số liệu thực nghiệm là hoàn toàn dễ hiểu.



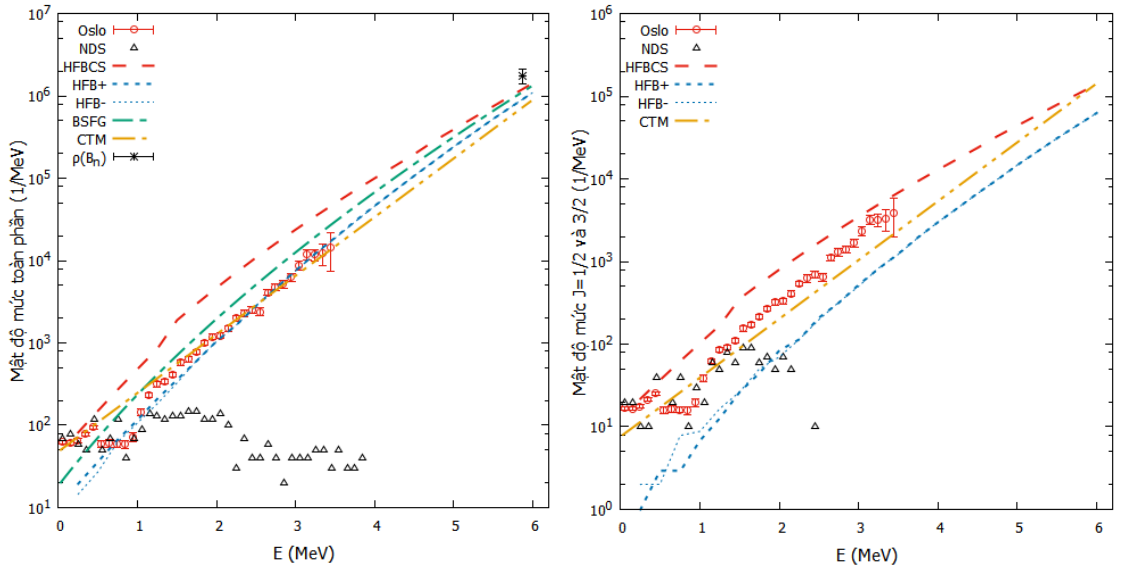
Hình 1: *So sánh đường số đếm mức tích lũy thực nghiệm của ^{153}Sm với tiên đoán của các mô hình hiện tượng luận (BSFG và CT)*

Giới hạn của các mô hình hiện tượng luận có thể được giải quyết bởi các mô hình vi mô. Hình 2 so sánh đường tích lũy tiên đoán bởi các mô hình HFBCS và HFB với các số liệu thực nghiệm. Dễ nhận thấy là mô hình HFBCS chỉ có thể mô tả được một khoảng số liệu thực nghiệm rất nhỏ (vùng dưới 0,5 MeV), ở các vùng năng lượng cao hơn, HFBCS tiên đoán giá trị cao hơn khoảng 10 lần so với các giá trị thực nghiệm. Trong khi đó mô hình HFBC (HFB+ và HFB- cho hạt chẵn và hạt lẻ trong hình 2), mô tả tốt đường tích lũy toàn phần. Tuy nhiên, HFBC lại hoàn toàn thất bại khi mô tả đường tích lũy riêng phần.

Hình 3 (trái) so sánh các mô hình với số liệu thực nghiệm dưới dạng biểu diễn mật độ mức toàn phần. Dễ dàng nhận thấy rằng toàn bộ các mô hình hiện tại đều không thể mô tả được $\rho(B_n)$. Ngoài ra, tiên đoán của các mô hình cũng đều nằm ngoài dải sai số của số liệu thực nghiệm khi so sánh với mật độ mức riêng phần của dải spin từ 0,5 đến 1,5 $\hbar$ (xem hình 3 (phải)).



Hình 2: *So sánh đường số đếm mức tích lũy thực nghiệm của ^{153}Sm với tiên đoán của các mô hình vi mô (HFBCS và HFB)*



Hình 3: *So sánh mật độ mức thực nghiệm với các mô hình BSFG, CT, HFBCS, HFB*

4. Kết luận

Dự đoán cho ^{153}Sm của 4 mô hình mật độ mức hạt nhân: BSFG, CT, HFBCS, và HFB đã được đánh giá bằng cách so sánh với số liệu mức gián đoạn báo cáo trong Nuclear Data Sheets (NDS), mật độ mức xác định từ phương pháp Oslo và khoảng cách mức trung bình ở năng lượng liên kết nơtron.

Các mô hình hiện tượng luận (BSFG và CT) phụ thuộc mạnh vào dạng hàm toán học và tham số tự do, do vậy không thể mô tả tốt số liệu thực nghiệm.

Trong số 2 mô hình vi mô được khảo sát, chỉ có mô hình HFBC mô tả được mật độ mức toàn phần. Tuy nhiên, mô hình này lại không thành công khi mô tả mật độ mức riêng phần cho dải spin từ 0,5 đến 1,5 $\hbar$.

Để cải thiện khả năng mô tả mật độ mức hạt nhân cho hạt nhân ^{153}Sm, việc xây dựng một mô hình vi mô mới hoặc cải tiến các mô hình vi mô hiện có, cần phải được thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. T. von Egidy và các cộng sự (1988), *Nuclear level densities and level spacing distributions: Part II*, Nuclear Physics A, 481, 189

2. P. Demetriou và S. Goriely (2001), *Microscopic nuclear level densities for practical applications*, Nuclear Physics A 695, 95

3. S. Goriely và các cộng sự (2008), *Improved microscopic nuclear level densities within the Hartree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method*, Physical Review C 78, 064307

4. R. G. Helmer (2006), *Nuclear Data Sheets A = 153*, Nuclear Data Sheets 107, 507

5. A. Simon và các cộng sự (2016), *First observation of low-energy -ray enhancement in the rare-earth region*, Physical Review C 93, 03430

6. Reference Input Parameter Library (RIPL-3) (2009), https://www-nds.iaea.org/RIPL-3, (truy cập ngày 20/5/2019)

7. T. vonEgidy và D. Bucurescu (2005), *Systematics of nuclear level density parameters*, Physical Review C 72, 044311

8. Reference Input Parameter Library (RIPL-2) (2003), https://www-nds.iaea.org/RIPL-2, (truy cập ngày 20/5/2019)

9. A. Gilbert và A.G.W. Cameron (1965), *A composite nuclear-level density formula with shell corrections*, Can. J. Phys. 43, 1446

EVALUATION OF LEVEL DENSITY MODELS FOR ^{153}Sm NUCLEUS

ABSTRACT

This article evaluates the predictions for the ^{153}Sm nucleus of various nuclear level density models. The evaluated models include Back-shifted Fermi Gas (BSFG), Constant Temperature (CT), Hartree-Fock BCS (HFBCS), Hatree-Fock-Bogoliubov plus combinatorial method (HFBC). The evaluation is based on the comparison between the predictions of these mentioned models and a few experimental data, namely the discrete levels from Nuclear Data Sheets (NDS), the nuclear level density extracted by the Oslo method, and the average spacing at the neutron binding energy. The results obtained indicate that phenomenological models (BSFG and CT) are not able to well describe the experimental data. At the same time, the HFBCS only describes the experimental data for the energy region below 0,5 MeV, whereas the HFBC describes well the total nuclear level density but fails to describe the partial nuclear level density for the spin range from 0,5 to 1,5ħ.

Keywords: *Nuclear level density, ^{153}Sm*

(Received: 21/6/2019, Revised: 2/7/2019, Accepted for publication: 18/7/2019)