

Áp dụng phần mềm DIRHB để tính toán tính chất của một số hạt nhân

Nguyễn Điền Quốc Bảo *



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Trong bài báo này, phương pháp Hartree-Bogoliubov tương đối tính đã được tìm hiểu và sử dụng để tính toán các tính chất của hạt nhân như năng lượng liên kết riêng, bán kính điện tích và các mức năng lượng đơn hạt của cả proton và neutron cho một vài hạt nhân như O^{16} , Ca^{40} , Sn^{132} , và Pb^{208} . Phương pháp này là trường hợp tương đối tính của phương pháp Hartree-Fock-Bogoliubov, vốn là một sự mở rộng của phương pháp Hartree-Fock cho phép bao gồm các lực tương quan tầm ngắn như lực kết cặp. Bên cạnh đó, phiếm hàm năng lượng DD-ME2 cũng được sử dụng để mô tả tương tác hiệu dụng trong các phương trình Hartree-Bogoliubov tương đối tính. Phần mềm DIRHB, được viết bằng ngôn ngữ Fortran, đã được sử dụng để tính toán và thu nhận kết quả. Các kết quả tính toán đã được so sánh với thực nghiệm, ngoại trừ các mức đơn hạt proton và neutron của Ca^{40} do thiếu dữ liệu thực nghiệm. So sánh cho thấy năng lượng liên kết riêng và bán kính điện tích tính toán được hầu như không sai lệch so với các giá trị thực nghiệm, do các tham số của phiếm hàm năng lượng DD-ME2 vốn dĩ được làm khớp dựa trên dữ liệu khối lượng của các hạt nhân. Tuy nhiên, kết quả tính toán cho các mức đơn hạt trong một vài trường hợp vẫn chưa phù hợp về thứ tự mức so với dữ liệu thực nghiệm. Điều này cho thấy phương pháp Hartree-Bogoliubov tương đối tính vẫn cần được kiểm chứng và nghiên cứu thêm.

Từ khoá: Hartree-Fock-Bogoliubov, DIRHB, năng lượng đơn hạt

GIỚI THIỆU

Cấu trúc hạt nhân đóng vai trò cực kì quan trọng trong việc nghiên cứu vật lý hạt nhân nói chung và lý thuyết hạt nhân nói riêng. Những hiểu biết về cấu trúc hạt nhân cho phép ta xây dựng được các mô hình vi mô để mô tả một cách phù hợp các tính chất của hạt nhân và vật chất hạt nhân cũng như cung cấp những thông tin quan trọng để tính toán các phản ứng hay phân rã hạt nhân. Từ những năm 50 của thế kỉ 20, đã có một vài bằng chứng thực nghiệm chứng tỏ hạt nhân có thể được mô tả bởi mẫu lớp tương tự như electron trong nguyên tử. Cụ thể, thực nghiệm đã chỉ ra sự tồn tại của các số magic: 2, 8, 20, 28, 50, 82 và 126. Những hạt nhân có số nucleon bằng với những con số này (gọi là nhân magic) sẽ có năng lượng tối thiểu để tách hạt nhân thành các nucleon riêng biệt cao hơn những hạt nhân xung quanh. Bên cạnh đó, năng lượng để kích thích các hạt nhân này lên trạng thái 2^+ cũng cao hơn các hạt nhân lân cận^{1,2}. Mô hình mẫu lớp cho rằng các nucleon chuyển động trong một trường thế trung bình được gây ra bởi tất cả các nucleon còn lại. Một mô hình như vậy được gọi là mẫu đơn hạt độc lập. Thông thường, thế được sử dụng phổ biến nhất là thế Wood-Saxon. Việc giải phương trình Schrodinger với thế Wood-Saxon có tính đến tương tác spin-quỹ đạo có thể giải thích phù hợp các số magic ở trên³.

Mặc dù thế Wood-Saxon có những thành công nhất định trong việc giải thích các thực nghiệm đã có, nó cũng chỉ là một dạng thể hiện tượng luận. Để tìm ra dạng thế đơn hạt trung bình của hạt nhân, ta phải dùng đến phương pháp Hartree-Fock, vốn xuất phát từ các tương tác nucleon-nucleon hiệu dụng phụ thuộc mật độ như thế Skyrme và thế Gorny. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu phương pháp này và có kết quả khá khả quan. Tiêu biểu như công trình của D. Vautherin và D. M. Brink vào năm 1972 đã dùng phương pháp Hartree-Fock cho thế Skyrme để tính toán một vài tính chất hạt nhân trong đó có các mức năng lượng đơn hạt⁴. Sau đó, vào năm 1975, M. Beiner, H. Flocard và N.V. Giai đã khảo sát các tham số làm khớp khác nhau của thế Skyrme dùng trong tính toán Hartree-Fock, và đã đưa ra kết luận rằng sự sai lệch giữa tính toán Hartree-Fock cho nhân cầu với thực nghiệm năng lượng liên kết tăng đối với các hạt nhân càng xa lớp kín⁵. Nguyên nhân là do sự tồn tại của hiệu ứng kết cặp sẽ được nhắc đến ngay sau đây. Các mô hình mẫu đơn hạt độc lập đơn thuần không thể lí giải tại sao năng lượng liên kết của một hạt nhân chẵn-lẻ lại nhỏ hơn giá trị trung bình của năng lượng liên kết của hai hạt nhân chẵn-chẵn kế bên nó. Bên cạnh đó, các tính toán từ loại mẫu này cho các thí nghiệm đo momen quán tính của các hạt nhân

Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý – Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Liên hệ

Nguyễn Điền Quốc Bảo, Bộ môn Vật lý Hạt nhân, Khoa Vật lý – Vật lý kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

Email: ndqbao@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 09-05-2019
- Ngày chấp nhận: 19-7-2019
- Ngày đăng: 31-12-2019

DOI: 10.32508/stdjns.v3i4.725



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Quốc Bảo N D. **Áp dụng phần mềm DIRHB để tính toán tính chất của một số hạt nhân.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 3(4):252-258.

biến dạng có sai lệch lớn so với giá trị thực nghiệm². Những khó khăn trên có thể được giải thích nếu ta thêm một lực tầm ngắn thể hiện tương quan nucleon-nucleon vào mô hình tính toán. Lực này gọi là lực kết cặp nhằm mô tả hiện tượng kết cặp của các nucleon trong hạt nhân. Hiệu ứng kết cặp có thể được mô tả bởi lý thuyết BCS (do John Bardeen, Leon Neil Cooper và John Robert Schrieffer đưa ra nhằm giải thích quá trình siêu dẫn). Ngoài ra, phương pháp Hartree-Fock-Bogoliubov là một sự mở rộng tự nhiên của phương pháp Hartree-Fock có bao hàm lý thuyết BCS cho phép mô tả chính xác hiệu ứng kết cặp trong các hạt nhân lớp mở⁵. Tuy nhiên, những phương pháp này chỉ cho xấp xỉ không quá tốt đối với những hạt nhân ở xa vùng bền (gần đường giới hạn). Để giải quyết vấn đề, phương pháp Hartree-Fock-Bogoliubov đã được mở rộng ra cho trường hợp tương đối tính, và được gọi là phương pháp Hartree-Bogoliubov tương đối tính⁶. Mô hình này sẽ cho phép chúng ta đưa bài toán nhiều hạt về bài toán đơn hạt mà vẫn tính đến hiệu ứng kết cặp.

Do mô hình Hartree-Bogoliubov tương đối tính vẫn còn khá mới ở Việt Nam nên trong bài báo này, chúng tôi sẽ tìm hiểu và sử dụng phần mềm DIRHB (vốn gồm các chương trình tính toán sử dụng mô hình chúng ta đang quan tâm) cho một vài hạt nhân như O¹⁶, Ca⁴⁰, Sn¹³², và Pb²⁰⁸. Tuy những hạt nhân này bền và có thể mô tả bằng những phương pháp truyền thống khác, những dữ liệu thực nghiệm của chúng là khá đầy đủ để chúng ta có thể so sánh và đánh giá phương pháp đang được nghiên cứu và tìm hiểu.

PHƯƠNG PHÁP

Phần mềm DIRHB bao gồm ba chương trình tính toán khác nhau: DIRHBS cho những hạt nhân dạng cầu, DIRHBZ dành cho những hạt nhân dạng đối xứng trụ, DIRHBT dành cho những hạt nhân không thuộc hai trường hợp đối xứng trên. Phần mềm này được mô tả bởi Niksic T. và đồng nghiệp⁷, và các phương trình đã được sử dụng trong phần mềm sẽ được mô tả trong phần này. Do các hạt nhân được chọn đều là các nhân magic đôi nên có thể giới hạn bài toán chúng ta quan tâm là bài toán đối xứng cầu. Trong trường hợp này, hàm sóng của nucleon có momen góc j_i , hình chiếu của momen góc m_i , tính chẵn lẻ π_i , và phương của spin đồng vị $t_i = \pm 1/2$ cho neutron và proton có thể được mô tả như sau⁷:

$$\psi_i(r, s, t) = \begin{pmatrix} f_i(r) \Phi_{l_j m_i}(\theta, \phi, s) \\ i g_i(r) \Phi_{l_j m_i}(\theta, \phi, s) \end{pmatrix} \chi_{t_i}(t) \quad (1)$$

Trong đó $\chi_{t_i}(t)$ là hàm sóng spin đồng vị, và $\Phi_{l_j m}$ là spinor hai chiều được cho bởi⁷:

$$\Phi_{l_j m}(\theta, \phi, s) = \left(\chi_{1/2}(s) \otimes Y_l(\theta, \phi) \right)_{j m} \quad (2)$$

Phương trình Schrodinger xuyên tâm cho thành phần lớn và nhỏ của Dirac spinor lần lượt là⁷:

$$(M^*(r) + V(r)) f_i(r) + \left(\partial_r - \frac{\kappa_i - 1}{r} \right) g_i(r) = \epsilon_i f_i(r) \quad (3)$$

$$-\left(\partial_r + \frac{\kappa_i + 1}{r} \right) f_i(r) - (M^*(r) - V(r)) g_i(r) = \epsilon_i g_i(r) \quad (4)$$

Trong đó $\kappa = \pm(j + 1/2)$

Khối lượng Dirac được cho bởi công thức sau⁷:

$$M^*(r) = m + g_\sigma \sigma \quad (5)$$

Và thế được cho bởi⁶:

$$V(r) = g_w w + g_\rho \tau_3 \rho + eA_0 + \Sigma_0^R \quad (6)$$

Các tham số σ, w, ρ, A là nghiệm của các phương trình Klein-Gordon và Poisson^{6,7}:

$$[-\Delta + m_\sigma^2] - \Delta + m_\sigma^2 \sigma(r, t) = -g_\sigma (\rho_v) \rho_s(r, t) \quad (7)$$

$$[-\Delta + m_w^2] w_\mu(r, t) = g_w (\rho_v) j_\mu(r, t) \quad (8)$$

$$[-\Delta + m_\rho^2] \vec{\rho}_\mu(r, t) = g_\rho (\rho_v) \vec{j}_\mu(r, t) \quad (9)$$

$$-\Delta A_\mu(r, t) = e j_{c\mu}(r, t) \quad (10)$$

Và Σ_0^R được cho bởi⁷:

$$\Sigma_0^R = \frac{\partial g_\sigma}{\partial \rho_v} \rho_s \sigma + \frac{\partial g_w}{\partial \rho_v} \rho_v w + \frac{\partial g_\rho}{\partial \rho_v} \rho_{rv} \rho \quad (11)$$

Các mật độ và dòng được cho trong các phương trình sau⁷:

$$\rho_s(r) = \sum \bar{\psi}_i(r) \psi_i(r) \quad (12)$$

$$j_\mu(r) = \sum \bar{\psi}_i(r) \gamma_\mu \psi_i(r) \quad (13)$$

$$\vec{j}_\mu(r) = \sum \bar{\psi}_i(r) \vec{\tau} \gamma_\mu \psi_i(r) \quad (14)$$

$$\rho_v = \sqrt{j_\mu j^\mu} \quad (15)$$

Các tham số còn lại là những tham số làm khớp của phiếm hàm năng lượng DD-ME2⁶.

Bảng 1: Năng lượng liên kết và bán kính điện của một vài hạt nhân.

Hạt nhân	Năng lượng liên kết riêng (MeV)			Bán kính điện tích (fm)		
	Thực nghiệm ⁸	Tính toán	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁵	Tính toán	Sai lệch (%)
O ¹⁶	-7,976206	-8,026164	0,626338	2,73	2,746255	0,595421
Ca ⁴⁰	-8,551303	-8,619781	0,800794	3,49	3,457369	0,934986
Sn ¹³²	-8,354872	-8,393303	0,459983		4,726630	
Pb ²⁰⁸	-7,867453	-7,890893	0,297936	5,5	5,508874	0,161345

KẾT QUẢ

Trong bài báo này, các tính toán nhận được bằng cách dùng chương trình tính toán DIRHBS được viết bằng ngôn ngữ Fortran 77. Chương trình này được xây dựng để tính toán các tính chất ở trạng thái cơ bản của các hạt nhân chẵn-chẵn lớp mở dựa trên các phương trình Hartree-Bogoliubov tương đối tính⁷. Kết quả tính toán cho ta các mức năng lượng đơn hạt cũng như năng lượng liên kết và bán kính điện tích. Bên dưới là kết quả tính toán các mức năng lượng đơn hạt theo đơn vị là MeV (chỉ lấy các mức có năng lượng âm). Dấu “*” biểu thị mức Fermi⁹.

THẢO LUẬN

Từ Bảng 1, ta nhận thấy rằng các kết quả tính toán năng lượng liên kết riêng và bán kính điện tích rất phù hợp với các giá trị thực nghiệm. Sai lệch tương đối của năng lượng liên kết riêng tính toán được và thực nghiệm chỉ nằm trong khoảng từ 0,29% đối với Pb²⁰⁸ tới 0,80% đối với Ca⁴⁰. Sai lệch của bán kính cũng không vượt quá 1% khi độ lệch lớn nhất trong Bảng 1 là 0,93% đối với Ca⁴⁰. Điều này có thể giải thích là do phiếm hàm năng lượng DD-ME2 đã được làm khớp dựa vào khối lượng thực nghiệm của các hạt nhân, nên kết quả tính năng lượng liên kết phù hợp tốt với thực nghiệm.

Các bảng 2-7 so sánh các mức năng lượng đơn hạt của cả proton và neutron của các hạt nhân O¹⁶, Sn¹³², và Pb²⁰⁸. Nhìn chung, các mức năng lượng khá phù hợp về thứ tự trong đa số trường hợp khi so với thực nghiệm; tuy nhiên, giá trị của các mức này phần lớn sai lệch khá lớn so với các giá trị thực nghiệm. Bảng 2 và bảng 3 lần lượt cho ta các mức năng lượng đơn hạt của proton và neutron của O¹⁶. Về thứ tự, các mức này đều hoàn toàn trùng với thứ tự xác định từ thực nghiệm. Về giá trị, sai lệch là dưới 10% cho ba mức đầu của proton nhưng lại tăng nhanh đến 129% tại mức 1d5/2. Sai lệch của neutron là rất nhỏ (bé hơn 2%) cho hai mức 1p3/2 và 1p1/2, nhưng khá lớn (khoảng trên 20%) cho hai mức ngoài cùng. Bảng 4 và bảng 5 cho ta các mức đơn hạt proton và neutron

của hạt nhân Sn¹³². Thứ tự các mức của proton là phù hợp với thực nghiệm, trừ hai mức ngoài cùng là 1h11/2 và 3s1/2. Đối với trường hợp của neutron, thứ tự các mức tính toán được là không phù hợp với thực nghiệm. Về giá trị các mức năng lượng, sai lệch giữa tính toán và thực nghiệm cho cả proton và neutron dao động từ những giá trị rất nhỏ, như 0,841% tại mức 1g9/2 của proton hay 3,60% tại mức 1h11/2 của neutron, tới những giá trị rất lớn, như 28,8% tại mức 1h11/2 của proton hay 71,4% tại mức 1h9/2 của neutron. Bảng 6 và bảng 7 cung cấp dữ liệu cho hạt nhân Pb²⁰⁸. Mặc dù là hạt nhân nặng hơn Sn¹³², thứ tự các mức cho proton của Pb²⁰⁸ lại hoàn toàn trùng khớp với thực nghiệm. Thứ tự mức của neutron cũng khá trùng khớp, trừ sự đối chỗ hai mức 2f5/2 với 3p3/2 và hai mức 2i11/2 với 2g9/2. Về mặt giá trị, các sai lệch có thể rất nhỏ như trường hợp của mức 3s1/2 cho proton là 0,451% hay mức 3p3/2 cho neutron là 3,18%, và dao động trong một khoảng giá trị rất lớn, có thể lên tới 75,7% tại mức 1i13/2 cho proton hay 99,4% tại mức 1j15/2 cho neutron. Nhìn chung, các mức càng gần năng lượng 0 (không liên kết) thì càng sai lệch về giá trị năng lượng, dẫn đến khả năng cao sai lệch về thứ tự so với thực nghiệm. Ngược lại, các mức năng lượng càng thấp thì càng có xu hướng chính xác. Điều này có thể được giải thích là do giá trị về độ sâu của thế tại tâm hạt nhân có liên hệ mật thiết với năng lượng liên kết riêng nên các mức năng lượng thấp sẽ có kết quả tương đối chính xác hơn các mức cao gần vùng không liên kết. Do đó, thứ tự các mức của nucleon trong nhân O¹⁶ hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm, trong khi các nhân nặng hơn sẽ xuất hiện sự sai khác trong thứ tự ở các mức năng lượng cao. Một yếu tố khác cũng ảnh hưởng đến kết quả tính toán là giả thiết của mẫu đơn hạt độc lập, trong đó đã gán đúng hạt chuyển động trong một trường trung bình tạo bởi các hạt còn lại trong hạt nhân. Mô hình này càng chính xác khi số lượng nucleon trong hạt nhân càng lớn, do sự tác động của một nucleon lên hạt đang quan tâm khi này không còn đóng vai trò quá đáng kể. Đó cũng là một lí do giải thích tại sao hạt nhân Pb²⁰⁸ có kết

Bảng 2: Các mức đơn hạt proton của O^{16}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	1s1/2	-37,5343	6,16		1s1/2	-40
	1p3/2	-17,7655	3,45		1p3/2	-18,4
	1p1/2	-11,5484	4,56		1p1/2*	-12,1
	1d5/2	-1,3732	129		1d5/2	-0,6
	-	-	-		2s1/2	-0,1

Bảng 3: Các mức đơn hạt neutron của O^{16}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	1s1/2	-41,7846	-		1s1/2	-
	1p3/2	-21,6732	0,581		1p3/2	-21,8
	1p1/2	-15,4001	1,91		1p1/2*	-15,7
	1d5/2	-4,8922	19,3		1d5/2	-4,1
	2s1/2	-2,2212	32,7		2s1/2	-3,3

Bảng 4: Các mức đơn hạt proton của Sn^{132}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	2p1/2	-17,1453	6,49		2p1/2	-16,1
	1g9/2	-15,6671	0,841		1g9/2*	-15,8
	1g7/2	-9,44	2,68		1g7/2	-9,7
	2d5/2	-7,1717	17,6		2d5/2	-8,7
	2d3/2	-5,1941	27,8		2d3/2	-7,2
	1h11/2	-4,8424	28,8		3s1/2	-
	3s1/2	-4,3029	-		1h11/2	-6,8

Bảng 5: Các mức đơn hạt neutron của Sn^{132}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	1g7/2	-12,9997	32,6		1g7/2	-9,8
	2d5/2	-11,2747	25,3		2d5/2	-9
	2d3/2	-9,2431	24,9		3s1/2	-7,7
	3s1/2	-8,8986	15,6		1h11/2	-7,6
	1h11/2	-7,8736	3,60		2d3/2*	-7,4
	2f7/2	-1,2822	46,6		2f7/2	-2,4
	1h9/2	-0,2578	71,4		3p3/2	-1,6
	-	-	-		1h9/2	-0,9
	-	-	-		3p1/2	-0,8
	-	-	-		2f5/2	-0,4

Bảng 6: Các mức đơn hạt proton của Pb^{208}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	1g9/2	-19,2484	25,0		1g9/2	-15,4
	1g7/2	-15,0083	31,6		1g7/2	-11,4
	2d5/2	-10,7957	11,3		2d5/2	-9,7
	1h11/2	-9,9672	6,03		1h11/2	-9,4
	2d3/2	-9,009	7,25		2d3/2	-8,4
	3s1/2	-7,9639	0,451		3s1/2*	-8
	1h9/2	-4,0634	6,93		1h9/2	-3,8
	2f7/2	-1,0095	65,2		2f7/2	-2,9
	1i13/2	-0,5339	75,7		1i13/2	-2,2
	-	-	-		3p3/2	-1
	-	-	-		2f5/2	-0,5

Bảng 7: Các mức đơn hạt neutron của Pb^{208}

Tính toán	Mức	Năng lượng (MeV)	Sai lệch (%)	Thực nghiệm ⁹	Mức	Năng lượng (MeV)
	1h9/2	-14,1348	29,7		1h9/2	-10,9
	2f7/2	-11,5527	19,1		2f7/2	-9,7
	1i13/2	-9,9663	10,7		1i13/2	-9
	2f5/2	-9,194	14,9		3p3/2	-8,3
	3p3/2	-8,5645	3,18		2f5/2	-8
	3p1/2	-7,6364	3,19		3p1/2*	-7,4
	1i11/2	-2,8396	11,3		2g9/2	-3,9
	2g9/2	-2,2967	41,1		1i11/2	-3,2
	1j15/2	-0,0136	99,4		1j15/2	-2,5
	-	-	-		3d5/2	-2,4
	-	-	-		4s1/2	-1,9
	-	-	-		2g7/2	-1,5
	-	-	-		3d3/2	-1,4

quả tốt hơn so với hạt nhân Sn^{132} . Ngoài ra, việc sai khác trong thứ tự mức được ghi nhận ở trên cho thấy phương pháp Hartree-Bogoliubov tương đối tính vẫn cần được nghiên cứu và cải tiến thêm để có thể giải thích được phổ năng lượng đơn hạt của các hạt nhân.

KẾT LUẬN

Phương pháp Hartree-Bogoliubov tương đối tính đã được tìm hiểu và áp dụng để tính toán năng lượng liên kết riêng, bán kính điện tích, và mức năng lượng đơn

hạt cho cả neutron và proton cho một vài hạt nhân như O^{16} , Ca^{40} , Sn^{132} và Pb^{208} . Kết quả tính toán cho năng lượng liên kết và bán kính hầu như không sai lệch so với thực nghiệm. Tuy nhiên, kết quả tính toán cho các mức năng lượng đơn hạt chỉ phù hợp với thực nghiệm trong một vài trường hợp như neutron và proton của O^{16} hay proton của Pb^{208} , và sai khác so với thực nghiệm trong các trường hợp còn lại. Do đó, phương pháp này vẫn chưa phải là mô hình hoàn thiện nhất để mô tả cấu trúc hạt nhân, đặc biệt là các mức đơn hạt.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2018-06.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

BCS: Lý thuyết được đặt theo tên của ba tác giả: John Bardeen, Leon Neil Cooper và John Robert Schrieffer
DD-ME2 (Density-dependent meson-exchange effective interaction): Tương tác hiệu dụng trao đổi meson phụ thuộc mật độ

DIRHB (Density-dependent interaction relativistic Hartree-Bogoliubov): Hatree-Bogoliubov tương đối tính dùng tương tác phụ thuộc mật độ

TUYÊN BỐ VỀ XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả cam kết rằng không có xung đột lợi ích.

TUYÊN BỐ VỀ ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Nguyễn Điền Quốc Bảo đã lên ý tưởng, thực hiện chạy chương trình tính toán và viết bản thảo bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bohr A, Mottelson BR. Nuclear Structure. In: Single-Particle Motion. vol. 1. World Scientific Publishing; 1998.
2. Ring P, Schuck P. The nuclear many-body problem. Springer-Verlag; 1980.
3. Chau Van Tao. Vật lý hạt nhân đại cương. NXB ĐHQGTPHCM; 2013.
4. Vautherin D, Brink DM. Hartree-Fock calculations with Skyrme interaction. I. Spherical nuclei. Physical Review C. 1972;5(3):626–647. Available from: [10.1103/PhysRevC.5.626](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.5.626).
5. Beiner M, Flocard H, Nguyen VG, Quentin P. Nuclear ground-state properties and self-consistent calculations with the Skyrme interaction. Nuclear Physics A. 1975;238(1):29–69. Available from: [10.1016/0375-9474\(75\)90338-3](https://doi.org/10.1016/0375-9474(75)90338-3).
6. Vretenar D, Afanasjev AV, Lalazisis GA, Ring P. New relativistic mean-field interaction with density-dependent meson-nucleon couplings. Physics Review C. 2005;71(2):024312. Available from: [10.1103/PhysRevC.71.024312](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.71.024312).
7. Niksic T, Paar N, Vretenar D, Ring P. DIRHB-A relativistic self-consistent mean-field framework for atomic nuclei. Computer physics communications. 2014;185(6):1808–21. Available from: [10.1016/j.cpc.2014.02.027](https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.02.027).
8. Brookhaven national laboratory. 03/05/2019. LINK: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.
9. Goriely S, Samyn M, Bender M, Pearson JM. Further explorations of Skyrme-Hartree-Fock-Bogoliubov mass formulas II: Role of the effective mass. Physical Review C. 2003;68(5):054325. Available from: [10.1103/PhysRevC.68.054325](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.68.054325).

Using DIRHB package to calculate the properties of some nuclei

Nguyen Dien Quoc Bao*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

In this work, the relativistic Hartree-Bogoliubov method is studied for calculating of nuclear properties such as binding energy per nucleon, charge radii, and single-particle energies of proton and neutron for some nuclei like O^{16} , Ca^{40} , Sn^{132} and Pb^{208} . This method is the relativistic case of the Hartree-Fock-Bogoliubov method, which is a generalization of the Hartree-Fock method, and the method includes short-range correlations such as pairing force. In addition, the energy functional DD-ME2 is used to describe the effective interactions in equations of the relativistic Hartree-Bogoliubov method. The DIRHB package, which was written in Fortran, is utilized to calculate and get the results. The results are compared with experimental ones, except the single-particle energies of Ca^{40} due to the lack of data. The comparisons show well agreements between the calculation results and the experimental values of binding energy per nucleon as well as charge radii, for parameters of the DD-ME2 which were fitted based on the experimental data of nuclear mass. However, the results of single-particle levels do not agree with experimental ones in some cases. This means the relativistic Hartree-Bogoliubov method should be studied further in the future.

Key words: Hartree-Fock-Bogoliubov, DIRHB, single-particle energy

Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM

Correspondence

Nguyen Dien Quoc Bao, Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM

Email: ndqbao@hcmus.edu.vn

History

- Received: 09-05-2019
- Accepted: 19-7-2019
- Published: 31-12-2019

DOI : 10.32508/stdjns.v3i4.725



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Dien Quoc Bao N. Using DIRHB package to calculate the properties of some nuclei. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 3(4):252-258.