

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM

ĐỖ QUANG TÂM

PHẢN ỨNG HẠT NHÂN TRỰC TIẾP
LÊN CÁC BIA HẠT NHÂN NẶNG

Demo Version - Select.Pdf SDK

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ
THEO ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Thừa Thiên Huế, năm 2020

ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM

ĐỖ QUANG TÂM

PHẢN ỨNG HẠT NHÂN TRỰC TIẾP
LÊN CÁC BIA HẠT NHÂN NẶNG

Chuyên ngành: Vật lý Lý thuyết và Vật lý Toán

Mã số: 8 44 01 03

Demo Version - Select.Pdf SDK

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ
THEO ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. Trần Việt Nhân Hào
2. TS. Nguyễn Như Lê

Thừa Thiên Huế, năm 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, các số liệu và kết quả nghiên cứu nêu trong luận văn là trung thực, được các đồng tác giả cho phép sử dụng và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nghiên cứu nào khác.

Demo Version - Select.Pdf SDK

Tác giả luận văn

Đỗ Quang Tâm

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành Luận văn, tôi đã nhận được sự định hướng, giúp đỡ, các ý kiến đóng góp quý báu và những lời động viên của các nhà khoa học, các thầy cô giáo, đồng nghiệp và gia đình. Trước hết, tôi xin bày tỏ lời cảm ơn tới thầy giáo - TS. Trần Viết Nhân Hào và cô giáo - TS Nguyễn Như Lê đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ tôi trong quá trình nghiên cứu.

Học viên cao học được được hỗ trợ bởi chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup. Tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ thiết thực và quý báu của quý Quỹ đã giúp tôi có cơ hội hoàn thành luận văn này.

Cho phép tôi chân thành cảm ơn các thầy cô giáo Khoa Vật lí - Trường Đại học Sư phạm - Đại học Huế, anh chị em và các bạn lớp Vật lí lí thuyết và Vật lí Toán Khóa 27, các anh chị em đồng nghiệp và nhóm nghiên cứu mạnh Vật lí hạt nhân - Đại học Huế đã có các góp ý quý báu cho tôi trong quá trình thực hiện Luận văn này. Tôi chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, phòng Tổ chức - Hành chính, Ban chủ nhiệm Khoa Cơ bản Trường Đại học Y Dược - Đại học Huế... đã tạo điều kiện thuận lợi để tôi hoàn thành nhiệm vụ nghiên cứu.

Cuối cùng tôi xin bày tỏ lời cảm ơn tới các thầy cô giáo, anh chị em và các bạn đồng nghiệp tại Khoa Cơ bản - Trường Đại học Y Dược - Đại học Huế, gia đình, bạn bè, sinh viên đã luôn động viên, chia sẻ, ủng hộ và giúp đỡ tôi vượt qua khó khăn để đạt được những kết quả nghiên cứu trong Luận văn này.

Học viên cao học

Đỗ Quang Tâm

MỤC LỤC

	Trang
Trang phụ bì	i
Lời cam đoan	i
Lời cảm ơn	ii
Mục lục	1
Danh mục chữ cái viết tắt	3
Danh sách các hình vẽ	5
Danh mục các bảng biểu	6
MỞ ĐẦU	7
NỘI DUNG	10
Chương 1. LÝ THUYẾT HATREE-FOCK BARDEEN - COOPER	
- SCHRIEFFER ĐỐI VỚI TRƯỜNG TRUNG BÌNH TỰ	
HỢP CỨ TÍNH ĐẾN MỌI TƯƠNG QUAN KẾT CẶP .	10
1.1. Tổng quan về Trường trung bình	10
1.2. Tương tác Skyrme	12
1.3. Phương pháp biến phân	14
1.4. Phép gần đúng Hartree-Fock	17
1.4.1. Mở đầu	17
1.4.2. Định thức Slater	17
1.4.3. Phương trình Hartree-Fock	19
1.5. Hiệu ứng cặp trong hạt nhân và phương pháp BCS	21
Chương 2. PHƯƠNG PHÁP XẤP XỈ PHA NGẪU NHIÊN	
CHO GIẢ HẠT (QRPA)	29
2.1. Phương pháp xấp xỉ pha ngẫu nhiên	29
2.1.1. Mô tả các dao động với biên độ nhỏ của bia hạt nhân	29

2.1.2. Phương trình ma trận xấp xỉ pha ngẫu nhiên	30
2.2. Phương trình xấp xỉ pha ngẫu nhiên cho giả hạt (QRPA)	33
2.3. Cường độ và biên độ dịch chuyển	36
2.4. Tương tác hạt-dao động (Particle vibration coupling - PVC) mô tả tương tác của bia hạt nhân và hạt nucleon tới	38
Chương 3. MÔ HÌNH THỂ QUANG HỌC	41
3.1. Thể quang học hiện tượng luận	41
3.2. Thể quang học vi mô	44
3.2.1. Cơ sở lý thuyết	45
3.2.2. Giải phương trình Schrödinger	48
Chương 4. KẾT QUẢ TÍNH SỐ VÀ THẢO LUẬN	51
4.1. Đánh giá độ nhạy của phân bố góc tán xạ phụ thuộc vào lực Skyrme	51
4.2. Phân bố góc và độ phân cực của tán xạ nucleon-nucleon ^{116}Sn . .	55
4.3. Đánh giá sự phụ thuộc của phân bố góc và độ phân cực của tán xạ đàn hồi vào thành phần t_1, t_2 và spin-orbit của lực Skyrme . .	57
KẾT LUẬN	63
TÀI LIỆU THAM KHẢO	64

DANH MỤC CHỮ CÁI VIẾT TẮT

- BCS : Bardeen-Cooper-Schrieffer
- EWSR : Quy tắc lấy tổng trọng số năng lượng
(Energy Weighted Sum Rule)
- HF : Hatree-Fock
- HFB : Hatree-Fock-Bogoliubov
- IPM : Mẫu đơn hạt độc lập (Independent particle model)
- MOP : Thế quang học vi mô (Microscopic optical potential)
- NN : Nucleon-Nucleus
- NA : Nucleon-Atomic
- PVC : Tương tác hạt-dao động (Particle vibration coupling)
- QRPA : Xấp xỉ pha ngẫu nhiên cho giả hạt
Demo Version - Select.Pdf SDK
(Quasi Random Phase Approximation)
- RPA : Xấp xỉ pha ngẫu nhiên (Random Phase Approximation)
- TDHF : Time-Dependent Hartree-Fock
- WS : Wood-Saxon

DANH SÁCH CÁC HÌNH VẼ

1.1	Sơ đồ cặp spin của hai nucleon hóa trị trong một lớp vỏ mở với hai định hướng khác nhau của spin nucleon j . Spin toàn phần J có thể nằm trong khoảng $0 \leq J \leq 2j$. Minh họa từ tài liệu [5].	22
1.2	Sự phụ thuộc của xác suất hai nucleon lấp đầy trạng thái cặp v_k^2 vào năng lượng đơn hạt $\varepsilon_k = \varepsilon_k^0 - \lambda$ trong hai trường hợp nghiệm $\Delta = 0$ và $\Delta \neq 0$ của phương trình (1.42). Minh họa từ tài liệu [5].	26
1.3	Phổ phân rã γ về các trạng thái kích thích của ^{196}Pt đo được sau phản ứng bắt neutron cộng hưởng $n + ^{195}\text{Pt} \rightarrow ^{196}\text{Pt} + \gamma$. Đỉnh phổ tại năng lượng 7923 keV tương ứng với dịch chuyển γ về trạng thái cơ bản, đỉnh tại 6100 keV tương ứng với dịch chuyển về trạng thái kích thích của ^{196}Pt tại năng lượng $E_\gamma = 1823$ keV. Minh họa từ tài liệu [18].	27
2.1	Các giá trị của năng lượng kết cặp Δ trong các đồng vị Sn. Các ô vuông trắng biểu thị các giá trị thực nghiệm, các ô vuông màu đen biểu thị các giá trị lí thuyết: Trong trường hợp này, các giá trị của các năng lượng kết cặp Δ_i của các trạng thái độc lập HF-BCS được tính trung bình dựa trên một khoảng năng lượng tập trung tại năng lượng Fermi cho neutron và có bề rộng cỡ 5 MeV. Minh họa từ tài liệu [5].	34
4.1	Tiết diện tán xạ của neutron ^{16}O của hai lực Sly5 và SkM* khi so sánh với thực nghiệm. Minh họa từ tài liệu [44].	52
4.2	Tiết diện tán xạ của neutron ^{40}Ca của hai lực Sly5 và SkM* khi so sánh với thực nghiệm. Minh họa từ tài liệu [44].	53

4.3	Tiết diện tán xạ của neutron ^{48}Ca của hai lực Sly5 và SkM* khi so sánh với thực nghiệm. Minh họa từ tài liệu [44].	54
4.4	Tiết diện tán xạ của neutron ^{208}Pb của hai lực Sly5 và SkM* khi so sánh với thực nghiệm. Minh họa từ tài liệu [44].	55
4.5	Phân bố góc trong tán xạ neutron trên ^{116}Sn tại các giá trị khác nhau của năng lượng kết cặp. Đường nét thẳng chỉ kết quả của tính toán thể quang học vi mô sử dụng bộ số liệu tương tác SLy5. Số liệu thực nghiệm được lấy từ tài liệu [51].	56
4.6	Tính toán $W(R, s = 0)$ bởi ^{116}Sn tại các giá trị khác nhau của hiệu ứng kết cặp đối với neutron năng lượng tới 14 MeV. Số liệu tương tác SLy5 được sử dụng trong tính toán này. Số liệu được lấy từ tài liệu [51].	57
4.7	Thế hấp thụ $W(R, s = 0)$ cho tán xạ đàn hồi neutron lên ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca và ^{208}Pb ở các năng lượng tới khác nhau. Các đường liền nét (đường gạch) lần lượt mô tả các tính toán có (không có) số hạng t_1, t_2 . Minh họa từ tài liệu [43].	60
4.8	Thế hấp thụ $W(R, s = 0)$ cho tán xạ đàn hồi neutron lên ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca và ^{208}Pb ở các năng lượng tới khác nhau. Các đường liền nét (đường gạch) lần lượt mô tả các tính toán có (không có) số hạng spin-orbit. Minh họa từ tài liệu [43].	61

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

- 1.1 Một số tổ hợp tham số thực nghiệm của tương tác hiệu dụng Skyrme 14

Demo Version - Select.Pdf SDK

MỞ ĐẦU

1. Lí do chọn đề tài

Hầu hết các phòng thí nghiệm Vật lý hạt nhân lớn trên thế giới đang tập trung vào việc nghiên cứu phản ứng hạt nhân trực tiếp lên các bia hạt nhân nặng và biến dạng. Các hiểu biết về các hạt nhân này có vai trò quan trọng đối với an ninh quốc gia (các ứng dụng về vũ khí cũng như nhà máy điện hạt nhân thế hệ mới), thiên văn học hạt nhân, y học hạt nhân. Vì vậy các mã tính toán (code) để mô phỏng và giải thích các số liệu thực nghiệm thu được là chìa khóa cho sự thành công của tất cả các dự án đang được triển khai.

Để nghiên cứu về vật lý hạt nhân, điều quan trọng nhất cần phải làm đầu tiên là đi tìm hiểu về cấu trúc của nó bằng cách cho các hạt nhân nhẹ (nucleon) tương tác trực tiếp lên các hạt nhân cần nghiên cứu và dựa trên sản phẩm mà phản ứng tạo ra (α, β, γ), ta có thể phân tích được cấu trúc của hạt mà ta cần nghiên cứu.

Trong nghiên cứu cấu trúc hạt nhân, các phản ứng hạt nhân trực tiếp được nghiên cứu dựa trên giả thuyết thế quang học. Thế này được xây dựng dựa trên ý tưởng đưa bài toán $a + 1$ neutron tương tác với nhau sang bài toán hai hạt bằng cách đưa ra một trường thế trung bình và chỉ coi các hạt này tương tác với trường thế đó. Gọi là thế quang học vì các hiện tượng xảy ra trong phản ứng giữa một nucleon với bia hạt nhân có các tính chất tương tự như ánh sáng (tán xạ, phản xạ, truyền qua ...).

Hiện nay, các phản ứng hạt nhân trực tiếp chủ yếu sử dụng thế quang học hiện tượng luận để giải thích các số liệu thực nghiệm thu được. Thế quang học này xây dựng dựa trên việc đưa ra một hàm số có nhiều biến (có thể phi vật lý), dựa trên các số liệu thực nghiệm mà các nhà khoa học đã xây dựng (phân bố góc

và độ phân cực) để điều chỉnh các tham số sao cho phù hợp. Từ đó, hàm số này được áp dụng cho các hạt nhân khác mà thực nghiệm chưa nghiên cứu được.

Một cách tiếp cận khác để nghiên cứu về cấu trúc hạt nhân là sử dụng thể quang học vi mô. Thể quang học này tính toán dựa trên các cơ sở về mặt vật lý trong tương tác nucleon-nucleon để đưa ra hàm số vừa phù hợp với thực nghiệm vừa phù hợp với lý thuyết vật lý hiện tại.

Thể quang học hiện tượng luận được sử dụng hầu hết trong các tính toán vật lý hiện tại. Tuy nhiên các thể hiện tượng luận này không có khả năng tiên đoán và có độ tin cậy thấp khi mô tả các hạt nhân nằm xa đường bền. Vì vậy, cho đến nay thể quang học vi mô được cho là phương tiện duy nhất để các nhà Vật lý hạt nhân có thể thực hiện các nghiên cứu trong vùng hạt nhân này.

Việc sử dụng mã chương trình QRPA dựa trên mô hình thể quang học vi mô để nghiên cứu phản ứng hạt nhân đóng vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu phản ứng hạt nhân trong vùng hạt nhân nặng dựa trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu có cơ sở, kinh nghiệm nhằm nghiên cứu sâu hơn các hạt nhân nặng và biến dạng. Vì những lý do đó, chúng tôi chọn đề tài nghiên cứu **"Phản ứng hạt nhân trực tiếp lên các bia hạt nhân nặng"**.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Xây dựng được mã chương trình QRPA cho hạt nhân nặng. Ứng dụng mã chương trình này để nghiên cứu các phản ứng hạt nhân trực tiếp ở năng lượng thấp.

3. Nội dung nghiên cứu

Trong luận văn này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu các nội dung sau:

- Nghiên cứu lý thuyết HF-BCS đối với trường trung bình tự hợp có tính đến

mối tương quan kết cặp.

- Nghiên cứu phương pháp xấp xỉ pha ngẫu nhiên (RPA) và mở rộng phương pháp này cho giả hạt (QRPA).
- Nghiên cứu mô hình thể quang học hiện tượng luận, thể quang học vi mô. Từ đó chỉ ra được thể mạnh của mô hình thể quang học vi mô trong việc nghiên cứu các hạt nhân nằm xa đường bền.
- Sử dụng mã QRPA được xây dựng để nghiên cứu cấu trúc, phân bố góc và độ phân cực của hạt nhân ^{116}Sn trong tán xạ nucleon-nucleon.

4. Phương pháp nghiên cứu

Mã QRPA sẽ được xây dựng trên nền tảng code HF-BCS đã có sẵn.

5. Phạm vi nghiên cứu

Demo Version - Select.Pdf SDK

Chúng tôi tập trung vào nghiên cứu các hạt nhân đất hiếm.

6. Bố cục luận văn

Ngoài các phần mở đầu, kết luận, phụ lục và tài liệu tham khảo, phần nội dung chính của luận văn gồm có hai chương:

- Chương 1 trình bày về phương pháp Hartree-Fock theo lý thuyết Bardeen-Cooper-Schrieffer.
- Chương 2 trình bày về xấp xỉ pha ngẫu nhiên cho giả hạt.
- Chương 3 trình bày về mô hình thể quang học.
- Chương 4 trình bày về kết quả nghiên cứu và thảo luận.