Nghiên cứu tán xạ đàn hồi proton-hạt nhân sử dụng tương tác G-matrix

Bùi Minh Lộc[1,2], Đào Tiến Khoa[1], Doãn Thị Loan[1]

[1] *Viện Khoa học & Kỹ thuật hạt nhân, VINATOM*
179 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội
[2] *Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh*

Tóm tắt nội dung

Thế quang học nucelon-hạt nhân được xây dựng dựa trên mẫu folding sử dụng tương tác nucleon-nucleon hiệu dụng G-matrix. Thế foding được đưa vào nghiên cứu tán xạ đàn hồi proton lên các bia khác nhau tại năng lượng 65 MeV. Kết quả của tiết diện tán xạ đàn hồi theo phân bố góc và độ phân cực sử dụng tương tác G-matrix được so sánh với các kết quả sử dụng tương tác JLM.

Từ khóa: Tương tác NN hiệu dụng, G-matrix, mẫu folding.

1 Mở đầu

Trong những nghiên cứu phản ứng hạt nhân, tiết diện thực nghiệm của phản ứng tán xạ nucleon-hạt nhân cho ta những thông tin quan trọng về cấu trúc hạt nhân cũng như về tương tác nucleon-hạt nhân. Trong những năm vừa qua, mẫu folding đã được sử dụng để tính thế tương tác nucleon-hạt nhân trong các kênh tán xạ đàn hồi và phi đàn hồi [1, 2, 3, 4]. Thông số cơ bản cho tính toán folding là mật độ của hạt nhân bia và tương tác NN hiệu dụng. Từ những nghiên cứu cấu trúc và phản ứng hạt nhân, có nhiều phiên bản tương tác NN hiệu dụng khác nhau được xây dựng dựa trên những phương pháp hiện tượng luận hoặc từ tương tác NN tự do. Trong khi bài toán tán xạ NN tự do được mô tả bởi phương trình Lippmann-Schwinger với nghiệm là T-matrix thì tương tác NN trong môi trường hạt nhân được thay thế bởi phương trình Breuckener-Bethe-Goldstone (BBG) và nghiệm là G-matrix. Nghiệm

của phương trình BBG có thể được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau cho hạt nhân hữu hạn [5] cũng như trong mội tường chất hạt nhân vô hạn [6, 7]. Trong đề tài này chúng tôi thực hiện các tính toán tính thế quang học nucleon-hạt nhân theo mẫu folding sử dụng tương tác G-matrix [7]. Trong đó, tương tác G-matrix được xây dựng từ giải phương trình BBG cho chất hạt nhân, sự phụ thuộc mật độ và bán kính được biểu diễn dưới dạng tổng các hàm Yukawa với khoảng cách và cường độ tương tác được xác định từ phương pháp *mapping* [8]. Bên cạnh đó, tương tác JLM [6] cũng được xây dựng từ chất hạt nhân nhưng được tham số hóa dưới dạng hàm phụ thuộc mật độ và khoảng cách, sau đó được đưa vào các tính toán folding sử dụng gần đúng mật độ định xứ (LDA -local density approximation). Theo phép gần đúng này tương tác NN trong môi tường chất hạt nhân đồng nhất có mật ρ bằng tương tác NN trong hạt nhân hữu hạn tại điểm r có mật độ $\rho(r)$. Trong đề tài nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hai phiên bản tương tác G-matrix và JLM để tính thế vi mô nucleon hạt nhân và tiết diện tán xạ đàn hồi proton lên các bia khác nhau tại năng lượng 65 MeV.

2 Tương tác NN hiệu dụng G-matrix

Một trong những công cụ quan trọng trong các nghiên cứu cấu trúc và phản ứng hạt nhân là tương tác NN thực được xây dựng trên cơ sở tương tác NN tự do. Nhóm tương tác xuất phát từ tương tác NN tự do được xây dựng dựa trên G-matrix là nghiệm của phương trình BBG cho cặp nucleon tương tác trong môi trường hạt nhân:

$$G = V + V\frac{Q}{E - K - U + i\varepsilon}G \tag{1}$$

Trong đó V V là tương tác NN tự do, Paris hay Av18 [10]. Q là toán tử *Pauli blocking* ngăn không cho nucleon tán xạ lên các trạng thái chiếm đầy bởi các nucleon khác. U là thế trường trung bình đặc trưng cho sự ảnh hưởng của môi trường hạt nhân lên cặp nucleon tương tác, được thể hiện thông qua sự phụ thuộc mật độ của tương tác G-matrix. Phương trình (1) là một phương trình tích phân theo hàm Green [7] và có những phương pháp giải cụ thể mà chúng tôi không trình bày trong báo cáo này. Tương tác G-matrix được xây dựng từ chất hạt nhân được giải đơn hơn so với môi trường hạt nhân hữu hạn vì hàm sóng của nucleon trong phương trình BBG (1) khi đó có dạng sóng phẳng [6, 7]. G-matrix được giải ở các mật độ khác nhau của chất hạt nhân, và ứng với mỗi mật độ đó tương tác được đưa vào các tính toán folding thế quang học nucleon-hạt nhân.

3 Mẫu folding tính thế quang học proton-hạt nhân sử dụng tương tác G-matrix

Trong mẫu folding, thế tương tác proton-hạt nhân được xác định dưới dạng thế Hartree-Fock, bằng tổng các tương tác NN hiệu dụng giữa proton tới p với từng nucleon j trong hạt nhân A:

$$U = \sum_{j \in A} [\langle pj|v_D|pj\rangle + \langle pj|v_{EX}|jp\rangle] \tag{2}$$

trong đó v_D và v_{EX} là các thành phần trực tiếp và trao đổi của tương tác NN hiệu dụng. Trong trường hợp chung, tương tác NN hiệu dụng không những phụ thuộc vào mật độ nucleon trong hạt nhân bia và khoảng cách tương tác giữa hai nucleon mà còn phụ thuộc vào năng lượng hạt bắn tới:

$$v_{D(EX)} \to v_{D(EX)}(E, \rho, s) \tag{3}$$

Do đó thế, folding cũng bao gồm thành phần trực tiếp và trao đổi như sau:

$$U_\tau(E, R) = U_\tau^D(E, R) + U_\tau^{EX}(E, R) \tag{4}$$

trong đó:

$$U_\tau^D(E, R) = \sum_{\tau'=p,n} \int \rho_{\tau'}(r) v_{\tau\tau'}^D(E, \rho, s) d^3r \tag{5}$$

$$U_\tau^{EX}(E, R) = \sum_{\tau'=p,n} \int \rho_{\tau'}(R, r) v_{\tau\tau'}^{EX}(E, \rho, s) j_0(Ks) d^3r \tag{6}$$

với $s = |\boldsymbol{R} - \boldsymbol{r}|$, $\tau = p$ đối với tán xạ proton-hạt nhân. $\rho(r)$ và $\rho(R, r)$ lần lượt là mật độ định xứ và phi định xứ, $K(E, R)$ là mmomen chuyển động tương đối:

$$K(E, R) = \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2}[E_{c.m} - U(E, R) - U_C(E, R)]} \tag{7}$$

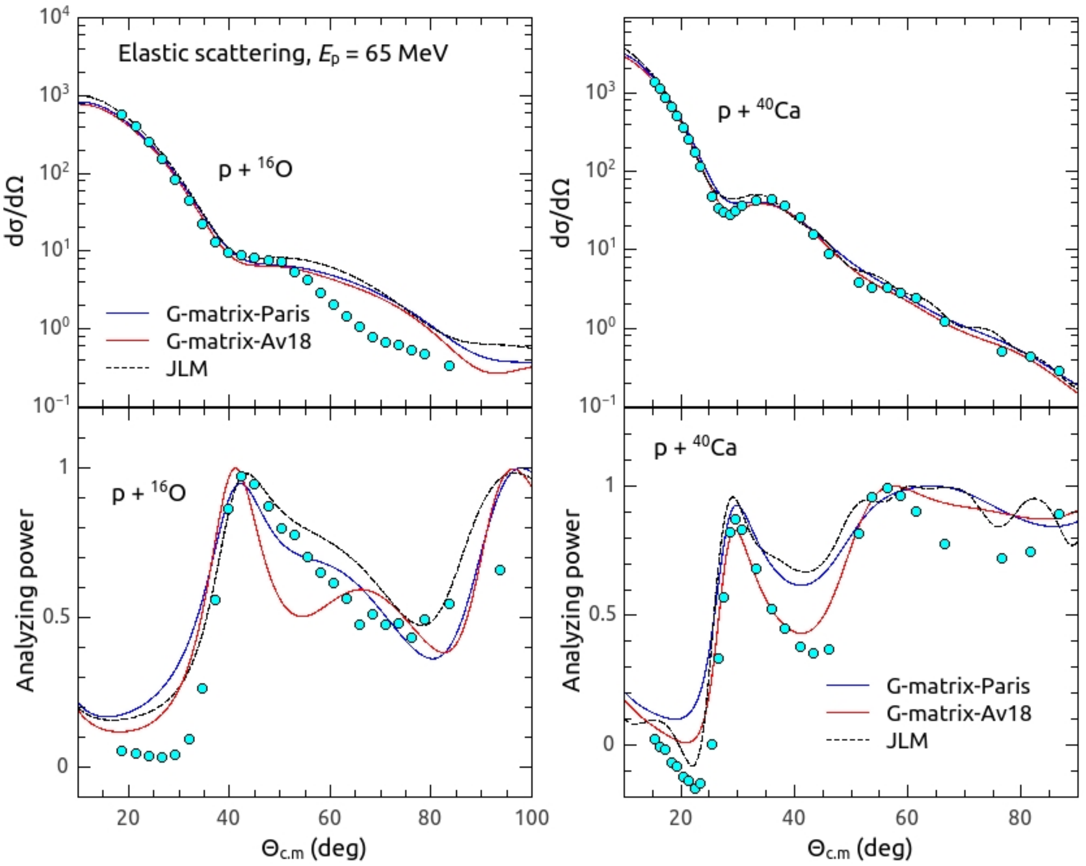
Trong trường hợp tương tác NN hiệu dụng là tương tác G-matrix:

$$v_{\tau\tau'}^{D(EX)}(E, \rho, s) = g_{\tau\tau'}^{D(EX)}(E, \rho, s) \tag{8}$$

$g_{\tau\tau'}^{D(EX)}$ có thể được biểu diễn qua các yếu tố $g_{\tau\tau'}^{ST}$, với S và T tương ứng là spin và isospin của cặp nucleon tương tác:

$$\begin{aligned}
g_{pp}^D &= \frac{1}{4}[g_{pp}^{01} + 3g_{pp}^{11}] \\
g_{pn}^D &= \frac{1}{8}[g_{pn}^{01} + 3g_{pn}^{10} + g_{pn}^{00} + 3g_{pn}^{11}] \\
g_{pp}^{EX} &= \frac{1}{4}[g_{pp}^{01} - 3g_{pp}^{11}] \\
g_{pn}^{EX} &= \frac{1}{8}[g_{pn}^{01} + 3g_{pn}^{10} - g_{pn}^{00} - 3g_{pn}^{11}] \qquad (9)
\end{aligned}$$

$$\tag{10}$$



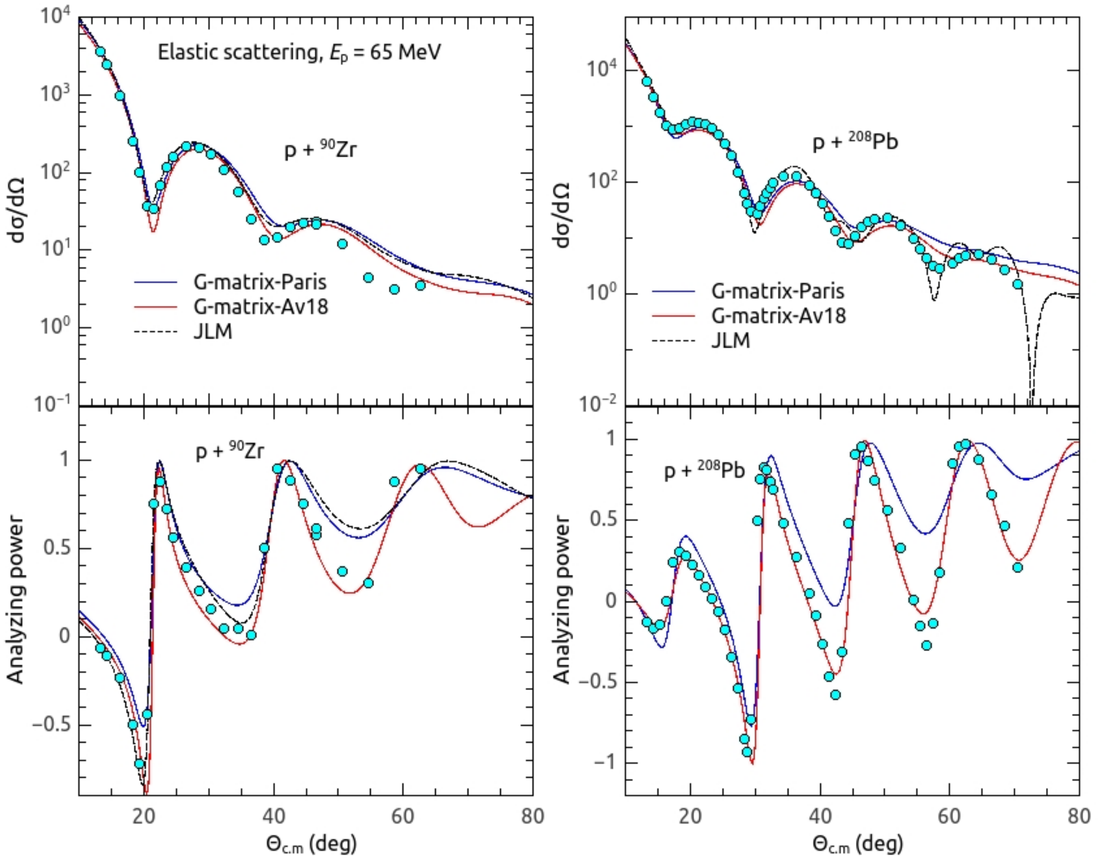
Hình 1: Tiết diện và độ phân cực của tán xạ proton lên ^{16}O và ^{40}Ca tại 65 MeV thu được từ tính toán folding sử dụng tương tác G-matrix và JLM, so sánh với số liệu thực nghiệm [16].

Trong đó $g^{ST}_{\tau\tau'}$ được biểu diễn dưới dạng tổng của các hàm Yukawa [9]:

$$g^{ST}_{\tau\tau'} = \sum_{i=1}^{4} S_{\tau\tau'}(E, \rho, \mu_i) \frac{e^{\mu_i s}}{s} \tag{11}$$

trong đo μ_i và $S_{\tau\tau'}$ tương ứng là khoảng cách và cường độ của tương tác G-matrix, được xác định tử code *mapping* [8].

Mật độ hạt nhân là một trong hai đại lượng quan trọng cần được đưa vào trong các tính toán folding. Trong phép tính folding chỉ đề cập đến mật độ hạt nhân tổng quát nên tất cả các mẫu mật độ hạt nhân đều có thể được sử dụng. Tính chất này là sự thuận lợi của mẫu folding, nó cho phép chúng ta có thể sử dụng các mật độ hạt nhân được từ các mẫu tính toán khác nhau.



Hình 2: Tiết diện và độ phân cực của tán xạ proton lên ^{90}Zr và ^{208}Pb tại 65 MeV thu được từ tính toán folding sử dụng tương tác G-matrix và JLM, so sánh với số liệu thực nghiệm [16].

4 Kết quả và thảo luận

Thế quang học proton-hạt nhân được xây dựng theo mẫu folding sử dụng tương tác G-matrix đã được dùng để tính tiết diện tán xạ đàn hồi proton lên các bia ^{16}O, ^{40}, ^{90}Zr và ^{208}Pb tại năng lượng 65 MeV. Trong báo cáo này chúng tôi sử dụng hạt phiên bản tương tác G-matrix xuất phát từ hai tương tác NN tự do khác nhau là Paris và Av18. Mật độ của các hạt nhân bia được xác định tính toán cấu trúc Hartree-Fock-Bogoliubov sử dụng tương tác Gogny-D1S [11, 12]. Thế folding được đưa vào code ECIS06 của Raynal [13] để giải phương trình tán xạ thu được thông tin về tiết diện phân bố góc và độ phân cực. Kết quả được thể hiện trên hình 1 và hình 2.

Kết quả tiết diện tán xạ ứng với hai phiên bản của tương tác G-matrix và JLM khá gần nhau và đều mô tả khá tốt các số liệu thực nghiệm [16]. Trong đó, hệ số tái chuẩn phần thực và ảo thế quang học JLM được chỉnh sao cho thu được số liệu

thực nghiệm của tán xạ nucleon-hạt nhân với nhiều hạt nhân bia $40 \leq A \leq 209$ và năng lượng từ 1 đến 200 MeV [14, 15]. Trong khi đó tương tác G-matrix được giải trong môi trường chất hạt nhân xuất phát từ tương tác NN tự do được đưa vào trong tính tán xạ nucleon-hạt nhân dùng phép gần đúng mật độ định xứ (LDA) mà không đưa thêm hệ số tái chuẩn nào. Mặt khác phiên bản tương tác G-matrix dùng tương tác NN tự do Av18 mô tả số liệu phân cực tốt hơn hẳn đối với tương tác G-matrix dùng tương tác NN tự do Paris và tương tác JLM, mà độ phân cực trong tán xạ hạt nhân có liên quan trực tiếp tới thành phần spin-quỹ đạo của thế tán xạ.

Như vậy, việc phân tích tán xạ đàn hồi proton-hạt nhân sử dụng các phiên bản tương tác NN hiệu dụng khác nhau đã đưa đến một kết luận quan trọng rằng tương tác NN hiệu dụng G-matrix được xây dựng từ tương tác NN trong môi trường chất hạt nhân có thể được dùng trong nghiên cứu tán xạ hạt nhân. Trong những nghiên cứu tiếp theo chúng tôi sẽ sử dụng tương tác NN hiệu dụng này trong nghiên cứu các phản ứng hạt nhân với nhiều hạt nhân và tại các năng lượng khác nhau.

Tài liệu

[1] D. T. Khoa, E. Khan, G. Colò, and N. V. Giai, Nucl. Phys. A 706, 61 (2002).

[2] D. T. Khoa, H. S. Than, and D. C. Cuong, Phys. Rev. C 76, 014603 (2007).

[3] N. D. Chien and D. T. Khoa, Phys. Rev. C 79, 034314 (2009).

[4] D. T. Khoa, B. M. Loc, and D. N. Thang, Eur. Phys. J. A 50, 34 (2014).

[5] N. Anantaraman, H. Toki, G.F. Bertsch, Nucl. Phys. A 398, 269 (1983).

[6] J. P. Jeukenne, A. Lejeune, and C. Mahaux, Phys. Rev. C 16, 80 (1977).

[7] L. Rikus, K. Nakano,H. V. Von Geramb, Nucl.Phys. A 414, 413-455 (1984).

[8] K. Amos, P. J. Dortmans, H. V. von Geramb, S. Karataglidis, J. Raynnal, pages 276–536 in J. W. Negele, Erich Vogt *Advances in Nuclear Physics* vol. 25, Springer US, Boston, MA, 2002.

[9] G. Bertsch, J. Borysowicz, H. Mcmanus, W. G. Love, Nucl. Phys. A 284, 399-419 (1977).

[10] J. R. Comfort, G. L. Moake, C. C. Foster, P. Schwandt and W. G. Love, Phys. Rev. C 26, 1800 (1982);
J. R. Comfort, G. L. Moake, C. C. Foster, P. Schwandt, C. D. Goodman, J.

Rapaport and W. G. Love, Phys. Rev. C 24, 1834, 1844 (1981);
J. R. Comfort, R. E. Segel, G. L. Moake, D. W. Miller and W. G. Love, Phys. Rev. C 23 1858 (1981);

[11] J. Decharge and D. Gogny, Phys. Rev. C21, 1568 (1980).

[12] S. Hilaire and M. Girod, Eur. Phys. J. A33, 237 (2007).

[13] J. Raynal, *Computing as a Languge of Physics* (IAEA), Vienna (1972), p. 75: coupled-channel code ECIS06 (unpublished).

[14] E. Bauge, J. P. Delaroche, and M. Girod, Phys. Rev. C 63, 024607 (2001).

[15] E. Bauge, J. P. Delaroche, and M. Girod, Phys. Rev. C 58, 2 (2001).

[16] H. Sakaguchi, M. Nakamura, K. Hatanaka, A. Goto, T. Noro, F. Ohtani, H. Sakamoto, H. Ogawa, and S. Kobayashi, Phys. Rev. C 26, 3 (1982).