

УДК 531.1

PACS 25.40-Ep

**РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ НА ЯДРАХ С ВЫБИВАНИЕМ
НУКЛОННЫХ АССОЦИАЦИЙ****С.Г.АБДУЛВАГАБОВА, Н.Ш.БАРХАЛОВА, Т.О.БАЙРАМОВА***Бакинский Государственный Университет**sajida.gafar@gmail.com*

Исследуются процессы с выбиванием нуклонных ассоциаций. Показано, что при высоких энергиях и больших передаваемых импульсах можно получить в импульсном представлении квадрат волновой функции взаимного движения ассоциации и остаточного ядра. Было сделано предположение, что матрица рассеяния не зависит от импульса отдачи и от спиновых переменных. Полученная формула для сечения процесса с достаточной точности отражает механизм выбивания нуклонных ассоциаций, которые образуются на поверхности ядра. Исследование проводилось в импульсном приближении с плоскими волнами. Характерной особенностью используемого приближения является разделение его методического основания на две главные части: первая часть относится к теории ядерных реакций, вторая часть - к теории ядерной структуры, содержащей информацию о спектре конечного ядра.

Ключевые слова: рассеяние, импульсное приближение, нуклонная ассоциация, высокая энергия

Во время рассеяния на ядрах протона с высокой энергией наиболее вероятны каскадные процессы [1], связанные с вылетом из ядра нуклонных ассоциаций: нуклонов, дейтронов, тритонов и т.д. Простота механизма таких процессов позволяет получить факторы, зависящие от структуры ядра. Такие квазиупругие выбивания обычно дают сравнительно небольшой вклад в полную вероятность взаимодействия, но отличаются исключительно простотой механизма взаимодействия. Обычно эти однократные столкновения, которые четко выделяются на фоне столкновений всех других типов. Если ядро - мишень не является малонуклонным, то вследствие большого числа степеней свободы системы ядро+нуклон, при реальном решении задачи возникает необходимость привлечения ядерно-структурных моделей для описания состояний начального и конечного ядра [2]. Кроме того, возникает проблема с моделированием механизма протекания самой реакции.

В данной работе получено выражение для сечения выбивания нуклонных ассоциаций в импульсном приближении.

Сечение рассеяния частицы с выбиванием ассоциации при импульсном приближении

Пусть протон с импульсом p_0 падает на ядро с массовым числом A и происходит реакция $A(p, pX)A-X$, в результате импульс протона становится равным p_k . Ассоциация, выбитая из ядра приобретает импульс p_X .

Волновая функция начального состояния имеет вид

$$\Psi_i = e^{k_0 r_0} \psi(J_i M_{J_i} T_i M_{T_i}), \quad (1)$$

где $k_0 = p_0 / \hbar$ - волновое число протона, а $\psi(J_i M_{J_i} T_i M_{T_i})$ - внутренняя волновая функция ядра-мишени со спином J_i и изоспином T_i .

Для волновой функции конечного состояния имеем

$$\Psi_f = e^{ik_k r_k} e^{ik_X r_X} e^{iq r_{A-X}} \phi(J_X M_{J_X} T_X M_{T_X}) \phi(J_f M_{J_f} T_f M_{T_f}). \quad (2)$$

Здесь $\phi(J_X M_{J_X} T_X M_{T_X})$ внутренняя волновая функция ассоциации X , $\phi(J_f M_{J_f} T_f M_{T_f})$ волновая функция конечного ядра $A-X$, r_X и r_{A-X} - координаты центров масс этих ядер, q импульс относительного движения ассоциации X и конечного ядра.

В приближении плоских волн [3] матричный элемент сечения реакции имеет следующий вид

$$F_{if} = (\Psi_f, T_{pX} \Psi_i), \quad (3)$$

$$T_{pX} = V_{pX} + V_{pX} \frac{1}{E_i - E_{\text{э.и.}} - U + i\eta} T_{pX}, \quad (4)$$

где V_{pX} потенциал взаимодействия протона со всеми нуклонами ассоциации X ; U - потенциал, определяющий взаимодействие нуклонов X с другими нуклонами ядра; $E_i = p_i^2 / 2m_p - \varepsilon_{\bar{n}a}$ ($\varepsilon_{\bar{n}a}$ - энергия связи ассоциации X в начальном ядре A); T полная кинетическая энергия протона и частиц ассоциации.

Наибольший интерес представляет полюсной механизм, так как дифференциальное сечение в этом случае прямо пропорционально произведению квадратов модулей волновой функции (1) в импульсном представлении и амплитуды рассеяния наполовину вне энергетической поверхности. В рамках полюсного механизма используется импульсное приближение, т.е. амплитуда взаимодействия в верхней вершине берется на энергетической поверхности. Смысл импульсного приближения состоит в том, что если энергия сталкивающихся частиц велика по сравнению с энергией связи ассоциации X в начальном ядре и с ядерным взаимодействием U , то можно заменить оператора T_{pX} оператором t_{pX} ,

удовлетворяющим интегральному уравнению Шредингера для рассеяния свободных частиц p и X :

$$t_{pX} = V_{pX} + V_{pX} \frac{1}{E'_i - U + i\eta} t_{pX}, \quad (5)$$

где E'_i - энергия движения свободных частиц p и X . Такая замена справедлива лишь в том случае, если энергия сталкивающихся частиц велика по сравнению с энергией ассоциации X в начальном ядре.

В импульсном приближении матричный элемент с волновыми функциями (1) и (2) имеет вид:

$$F_{if} = F^0 \begin{pmatrix} A \\ X \end{pmatrix}^{1/2} (2\pi\hbar)^{1/2} \langle A-X, J_f M_{J_f} T_{T_f}, X J_X M_X T_X | e^{iq(r_{A-X} - r_X)}; A J_i M_i T_i \rangle, \quad (6)$$

где F^0 - амплитуда свободного рассеяния частиц p и X в системе центра масс ядра A

$$F^0 = \langle e^{iKr} \varphi_A \varphi_X | t_{pX} | e^{iKr} \varphi'_A \varphi'_X \rangle, \quad (7)$$

множитель $\begin{pmatrix} A \\ X \end{pmatrix}$ учитывает тождественность нуклонов, из которых образуется ассоциация. Квадрат (6) представляет вероятность разделения начального ядра на конечное ядро и ассоциацию X в соответствующих состояниях.

Интеграл (6) отличен от нуля только в том случае, когда выполняется закон сохранения момента количества, а именно, векторная сумма трех моментов J_f, J_X и Λ должна быть равна J_i , где Λ - момент количества движения, уносимый ассоциацией. Для того чтобы обеспечить выполнение этого закона сохранения можно вести промежуточный момент Λ' , который определяется равенствами $\Lambda + J_X \rightarrow J_f + \Lambda'$. При введении Λ' появятся коэффициенты Клебша-Гордана.

После небольших преобразований матричный элемент F_{if} принимает вид:

$$F_{if} = F^0 \begin{pmatrix} A \\ X \end{pmatrix}^{1/2} \sqrt{\frac{2\Lambda+1}{4\pi}} R(q) \langle J_f M_{J_f} \Lambda' M_{\Lambda'} | J_i M_i \rangle \langle \Lambda 0 J_X M_X | \Lambda' M_X \rangle \times \\ \times \langle A-X, J_f M_{J_f} T_{T_f}, X J_X M_X T_X | e^{iq(r_{A-X} - r_X)}; A J_i M_i T_i \rangle. \quad (8)$$

Амплитуда F^0 в (8) зависит от спина протона и ассоциации. Если в первом приближении не рассматривать этой зависимости, то можно легко вычислить квадрат матричного элемента (8). После усреднения по ориентациям спинов начальных частиц и суммирования по спинам конечных состояний квадрат матричного элемента (8) дает сечение реакции $A(p, pX)A-X$ в импульсном приближении с плоскими волнами:

$$\frac{d\sigma}{dp_p dp_X dp_q} = \left(\frac{A}{X} \right) \frac{2\pi}{\hbar} \frac{1}{(2\pi\hbar)^6} \frac{m_p}{p_0} \frac{R(q)^2}{4\pi} \overline{|M^0|^2} \delta(p_0 - p_p - p_X - p_q) \delta(E_i - E_f) \sum_{\Lambda'} \beta_{if\Lambda\Lambda'}^2, \quad (9)$$

где

$$\beta_{if\Lambda\Lambda'} = \left\langle A - X, J_f M_{J_f} T_{T_f}, X J_X M_{X T_X} \left| e^{iq(r_{A-X} - r_X)} \right. ; A J_i M_i T_i \right\rangle, \quad (10)$$

представляет собой множитель, определяющийся структурой ядра.

$R(q)$ в (9) – функция, характеризует импульсное распределение ассоциации в начальном ядре. Это есть по существу фурье - компонента функции относительного движения ассоциаций в начальном ядре, т.е. формфактор $F(q)$ ассоциации X в данном ядре относительно некоторого уровня $|f\rangle$ конечного ядра $A-X$. Если волновая функция взаимного движения ассоциаций имеет правильную асимптотику, то формфактор имеет

полюс по q^2 при $q^2 = -\frac{2m_X \varepsilon_{X, X-A}^A}{1 + m_X / m_{A-X}}$, $\varepsilon_{X, A-X}^A = m_X + m_{A-X} - m_A$ - энергия

связи ассоциации X в начальном ядре.

Формула (8) определяет общую схему расчета дифференциального сечения рассматриваемого процесса. Характерной особенностью используемого приближения является разделение его методического основания на две главные части. Первая часть относится к теории ядерных реакций, поскольку она заключается в выборе аппроксимации для (4) определяющего механизм протекания реакции. Вторая часть относится к теории ядерной структуры, содержащей информацию о спектре конечного ядра.

Заключение

Формула (8) для сечения реакции $A(p, pX)A-X$ получена в импульсном приближении без учета искажений плоских волн частиц. Кроме того, было сделано предположение о том, что матрица рассеяния не зависит от импульса отдачи q и от спиновых переменных. Но исследование показало, что искажения не изменяют форму импульсных распределений и уменьшают абсолютные значения эффективных чисел ассоциаций. Зависимость сечения рассеяния протона и X от спиновых переменных, т.е. от проекций спинов протона и X , тоже перенормирует парциальные эффективные числа ассоциаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неудачин В.Г., Стружко Б.Г., Лебедев В.М.. ЭЧАЯ, 2005, т.36, в. 4, с. 889.
2. Кадменский С.Г., Кургалин С.Д., Чувильский Ю.М. ЭЧАЯ 2007, т.38, в.6, с. 1333.
2. Абдулвагабова С.К., Расулов Э.А. Известия высших учебных заведений, Физика, 2003, № 7, с. 91.

PROTONLARIN NÜVƏLƏRDƏN SƏPİLMƏSİ NƏTİCƏSİNDƏ NUKLON ASSOSİASİYALARININ VURULUB ÇIXARILMASI

S.Q.ƏBDÜLVAHABOVA, N.Ş. BARXALOVA, T.O.BAYRAMOVA

XÜLASƏ

Nuklon assosiasiyalarının nüvələrdən vurulub çıxarılması tədqiq edilir. Yüksək enerjilərdə və ötürülən impulsun böyük qiymətlərində impuls təsvirində nuklon assosiasiyası ilə qalıq nüvənin qarşılıqlı hərəkətinin dalğa funksiyasının kvadratı üçün ifadənin alınma bilməsi göstərilmişdir. Fərz edilmişdir ki, səpilmənin matrisası ötürülən impulsun qiymətindən və spin dəyişənlərindən asılı deyildir. Prosesin effektiv kəsiyi nüvənin səthində yaranan nuklon assosiasiyalarının vurulub çıxarılmasını kafi dərəcədə dəqiq təsvir edir. Tədqiqat impuls yaxınlaşmasında müstəvi dalğalardan istifadə edilərək aparılmışdır. İstifadə edilən yaxınlaşmanın əsas xüsusiyyəti onun metodik əsasının iki hissədən ibarət olmasıdır: birinci hissə nüvə reaksiyalarının nəzəriyyəsini, ikinci hissə isə son nüvənin spektri haqda məlumat verən nüvə quruluşu nəzəriyyəsini ifadə edir.

Açar sözlər: səpilmə, impuls yaxınlaşması, nuklon assosiasiyası, yüksək enerji.

SCATTERING OF PROTONS BY NUCLEI WITH KNOCKING NUCLEON ASSOCIATIONS

S.G.ABDULVAHABOVA, N.Sh.BARKHALOVA, T.O.BAYRAMOVA

SUMMARY

The process of knocking out of nucleon associations is investigated. It is shown that at high energies and large momentum transfer can get a square of the wave function of the relative motion of the association and the final nucleus. It has been suggested that the scattering matrix does not depend on the recoil momentum and the spin variables. The resulting formula for the cross section with sufficient accuracy reflects the mechanism of nucleon knock-out associations that are formed on the surface of the nucleus. The study was conducted in the impulse approximation with plane waves. A characteristic feature of the used approximation is the division of its methodological grounds into two major parts: the first refers to the theory of nuclear reactions, the second - to the theory of nuclear structure containing information about the spectrum of the final nucleus.

Key words: scattering, impulse approximation, nucleon association, high energy.

Поступила в редакцию: 20.04.2011 г.

Принято к печати: 17.06.2011 г.