

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ БЕЗМОДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha')^{12}\text{C}_{4,43}$ С ПОМОЩЬЮ УГЛОВЫХ α - γ -КОРРЕЛЯЦИЙ

И.Б.Теплов, Г.С.Гуревич, В.М.Лебедев, Н.В.Орлова,
А.В.Спасский, Л.Н.Фатеева, Г.В.Шахворостова

Впервые выполнено экспериментальное исследование угловых корреляций, позволившее определить полный набор независимых спин-тензоров матрицы плотности конечного состояния. Для реакции $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha' \gamma_{4,43})^{12}\text{C}$ в интервале углов θ_α (ЦМ) = 26 – 168,5° при $E_\alpha = 25$ МэВ определены угловые зависимости 9 спин-тензоров матрицы плотности состояния 2^+ ядра ^{12}C , а также заселенностей подсостояний этого уровня.

В работах ¹ показано, что измерения угловой корреляции частиц, образующихся в ядерных реакциях, с γ -квантами испускаемыми конечными четно-четными возбужденными ядрами, в нескольких плоскостях вылета γ -квантов позволяют определить все возможные безмодельные характеристики реакций (неприводимые спин-тензоры матрицы плотности). Для перехода $2^+ \rightarrow 0^+$ с испусканием E_2 γ -кванта число компонент неприводимых спин-тензоров равно 9. Все они могут быть определены из эксперимента, если измерения функции угловой корреляции выполнены не менее, чем в трех плоскостях вылета γ -кванта.

Для реакции $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha' \gamma_{4,43})^{12}\text{C}$ функция угловой корреляции $W(\theta_\alpha; \theta_\gamma, \phi_\gamma)$ выражается через компоненты неприводимых спин-тензоров $A_{kk}(\theta_\alpha)$ следующим образом ¹:

$$W(\theta_\alpha; \theta_\gamma, \phi_\gamma) = \frac{1}{4\pi} \sum_{\substack{k=0, 2, 4 \\ -k \leq \kappa \leq k}} A_{k\kappa}(\theta_\alpha) \sqrt{\frac{2}{2k+1}} \bar{P}_k^\kappa(\cos \theta_\gamma) \cos \kappa \phi_\gamma, \quad (1)$$

где $\bar{P}_k^\kappa(\cos \theta_\gamma)$ – нормированные присоединенные полиномы Лежандра, а $A_{00}(\theta_\alpha) \equiv \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta_\alpha)$.

Выражение (1) записано в системе координат, ось z которой совпадает с направлением пучка бомбардирующих частиц, а плоскость реакции – с плоскостью (x, z) . Полярный угол θ_γ и азимутальный угол ϕ_γ определяют направление вылета γ -кванта, а угол θ_α – направление вылета рассеянной α -частицы. В этой системе координат все величины $A_{k\kappa}(\theta_\alpha)$ действительны и $A_{k\kappa}(\theta_\alpha) = (-1)^\kappa A_{k, -\kappa}(\theta_\alpha)$.

Исследование угловых корреляций в реакции $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha' \gamma_{4,43})^{12}\text{C}$ выполнены в ряде работ ^{2,3} и ссылки в ²). Однако, в большинстве этих работ измерения проведены только в плоскости реакции. Лишь в работе ³ измерения выполнены в плоскости реакции и перпендикулярной ей плоскости при $E_\alpha = 32$ МэВ. При дополнительных ограничениях на свойства амплитуды реакции, авторы восстановили тензор поляризации конечного состояния ^{12}C . В работе ⁴ из измерений угловых корреляций ядер отдачи ^{12}C и α -частиц из реакции определена заселенность одного из подсостояний состояния 2^+ ядра ^{12}C при $E_\alpha = 24$ МэВ.

В настоящей работе исследовалось неупругое рассеяние $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha' \gamma_{4,43})^{12}\text{C}$ при $E_\alpha = 24,8$ МэВ. Эксперимент выполнен на 120-см циклотроне. Кремниевые детекторы, регистрирующие α -частицы, располагались на специальной дуге внутри камеры рассеяния под четырьмя различными углами θ_α . Дуга могла поворачиваться вокруг оси пучка в интервале углов от 0 до 90° относительно горизонтальной плоскости. При этом изменялся угол ϕ_γ , а углы θ_α и θ_γ оставались постоянными. Сцинтилляционный детектор с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})$ размером 60 × 60 мм² для регистрации γ -квантов размещался вне камеры рассеяния и мог поворачиваться в горизонтальной плоскости.

Зависимость двойных дифференциальных сечений от угла θ_γ была измерена в интервале от 27 до 149° в трех плоскостях ϕ_γ относительно плоскости реакции – 0,45 и

90°¹⁾ — для 43 значений углов θ_α . Оказалось, что экспериментальные функции угловой корреляции для различных ϕ_γ имеют существенно разный вид. Значения компонентов спин-тензоров $A_{kk}(\theta_\alpha)$ находились из решения системы уравнений (1) методом наименьших квадратов с учетом поправок на конечные размеры γ -детектора.

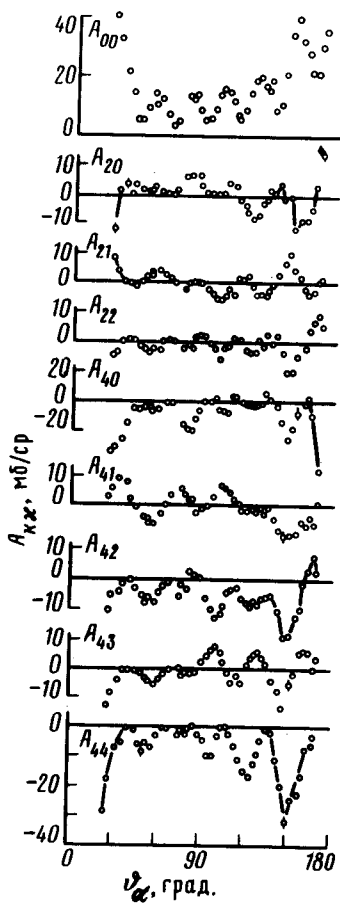


Рис. 1. Угловая зависимость $A_{kk}(\theta_\alpha)$

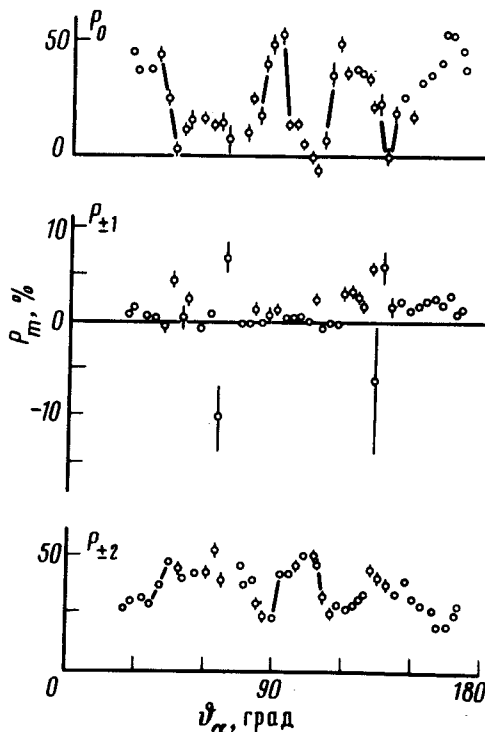


Рис. 2. Угловая зависимость различных компонентов заселенности $P_m^{J=2}$

Значения $A_{kk}(\theta_\alpha)$, полученные из экспериментальных данных, приведены на рис. 1 в единицах мб/ср. Зависимость $A_{00}(\theta_\alpha)$ с точностью до статистических ошибок совпадает с угловым распределением дифференциального сечения неупругого рассеяния, как это и должно быть в соответствии с работами¹. Из рисунка видно, что угловые зависимости всех $A_{kk}(\theta_\alpha)$, а не только $A_{00}(\theta_\alpha)$, имеют осциллирующий характер, однако эти зависимости не повторяют угловую зависимость дифференциального сечения. A_{kk} сильно зависят от угла θ_α , причем в большинстве случаев меняется не только их величина, но и знак. Видно также, что все компоненты спин-тензоров отличны от нуля и имеют сравнимую величину.

Полученный набор $A_{kk}(\theta_\alpha)$ является полным набором безмодельных величин, с помощью которых можно получить все характеристики этой реакции. С их помощью можно, например, вычислить заселенности $P_m^{J=2}$ подсосостояний конечного состояния ядра $J=2^+$ с различными проекциями спина m^1 . Результаты таких расчетов для $P_m^{J=2}(\theta_\alpha)$ приведены на рис. 2. Значения $P_{\pm 2}^{J=2}$, полученные в настоящей работе, близки к тем, которые приведены в работе⁴ для $\theta_\alpha \geq 120^\circ$.

¹⁾ В системе координат, которая использована в работах¹, эти углы соответствуют $\phi_\gamma = 180, 225$ и 270° .

Экспериментальные угловые зависимости всех 9 величин $A_{kk}(\theta_\alpha)$ содержат существенно больше информации, чем угловые распределения, т.е. $A_{00}(\theta_\alpha)$. Количественный анализ полученных результатов является сложным и пока он не выполнен ни для одного механизма реакции. Однако, некоторые заключения о механизме реакции можно сделать на основе относительно простого качественного анализа A_{kk} . В работах ¹ показано, что если амплитуда реакции является эрмитовой, т.е. вклад в механизм реакции процессов с запаздыванием во взаимодействии, например, двухступенчатого процесса ⁵, мал, то должны выполняться следующие соотношения:

$$\begin{aligned} R_1 &= A_{00} + A_{20} - \sqrt{6} A_{22} + A_{40} + \sqrt{2,5} A_{42} = 0, \\ R_2 &= -4A_{00} + 8A_{20} + A_{40} - \sqrt{70} A_{44} = 0, \\ R_3 &= 4\sqrt{6} A_{00} + \sqrt{5} A_{41} + \sqrt{35} A_{43} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Расчет R_i для всех углов θ_α , при которых выполнены измерения, показывает, что значения R_i близки к нулю (с учетом статистических ошибок). Небольшое отличие R_i от нуля может быть связано либо с незначительными неучтенными систематическими ошибками, либо с небольшим вкладом многоступенчатых механизмов реакции. Если выполняются условия (3), то компонент $P_{\pm 1}^{J=2}$ должен быть равен нулю. Как следует из рис. 2, величина $P_{\pm 1}^{J=2}$, действительно, мала и не превышает 5%.

Таким образом, с помощью измерения α - γ -угловых корреляций в различных плоскостях вылета γ -квантов относительно плоскости реакции впервые реализована возможность получения полного набора безмодельных характеристик реакции. Для реакции $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha\gamma_{4,43})^{12}\text{C}$ определены все 9 компонентов спин-тензоров матрицы плотности состояния 2^+ ядра ^{12}C . Качественный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что основной вклад в механизм реакции вносят одноступенчатые процессы.

Литература

1. Зеленская Н.С., Теплов И.Б. Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, 44, 960; Nucl. Phys., 1983, A406, 306.
2. Бурыймов Е.М. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1981, 45, 746.
3. Burdzik G.F., Heymann G. Nucl. Phys., 1972, A185, 509.
4. Феофилов Г.А. и др. Тез. докл. XXIX Совещ. по яд. спектроскопии и стр. атомного ядра, Рига, 1979, 338.
5. Зеленская Н.С. ЯФ, 1977, 25, 514.

Московский

государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
4 ноября 1983 г.