

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В КВАЗИУПРУГИХ ПРОЦЕССАХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

*В.Н.Брагин, Ф.А.Гареев, С.А.Гончаров, А.С.Демьянова,
С.Н.Ершов, П.П.Коровин, А.Л.Лебедев, А.А.Оглоблин*

С целью выяснения роли эффектов преломления ядерной среды измерены и проанализированы дифференциальные сечения упругого рассеяния ${}^6\text{Li}$ на ${}^{14}\text{C}$ и реакции перезарядки ${}^{14}\text{C}({}^6\text{Li}, {}^6\text{He}){}^{14}\text{N}$ с возбуждением основного и $1^+(3,95 \text{ МэВ})$ состояний в области углов до $\theta_{\text{цм}} \approx 130^\circ$. При энергии $E_{{}^6\text{Li}} = 93 \text{ МэВ}$.

В упругом рассеянии легких ядер при достаточно высоких энергиях столкновения ($E/A \gtrsim 15 \text{ МэВ/нуклон}$) наблюдается эффект ядерной радуги ¹. Соответствующая радужному рассеянию классическая функция отклонения имеет отрицательный предельный угол θ_R ,

определяющий границу классически доступной области рассеяния. При этом дифференциальное сечение имеет дифракционную структуру в области малых углов и монотонный экспоненциальный спад в классически недоступной области ($\theta > \theta_R$), обусловленный преломляющими свойствами ядерного поля. Важная особенность радужного рассеяния — чувствительность к вкладу в сечение от парциальных волн с малыми орбитальными моментами и к поведению взаимодействия на малых расстояниях между сталкивающимися ядрами.

Естественно поставить вопрос о проявлении аналогичных эффектов в квазиупругих процессах в условиях кинематической близости входного и выходного каналов, когда траектории относительного движения участвующих в реакции ядер близки к траекториям упругого рассеяния. Можно надеяться, что экспериментальное наблюдение эффектов, обусловленных преломляющими свойствами ядерного поля, позволит получить важную информацию о деталях механизма квазиупругих процессов и о пространственной локализации соответствующих форм-факторов.

Руководствуясь этими соображениями мы провели исследование реакции перезарядки $^{14}\text{C}(^6\text{Li}, ^6\text{He})^{14}\text{N}$ с возбуждением основного и 1^+ (3,95 МэВ) состояний ядра ^{14}N при энергии налетающих ионов $E = 93$ МэВ. Измерения были выполнены в широком угловом диапазоне (до $\theta_{\text{цм}} \cong 130^\circ$) на изохронном циклотроне ИАЭ им. И.В.Курчатова. Выбор данной реакции обусловлен высокой степенью ее квазиупругости. Основным ее механизмом является 2 процесс одноступенчатой перезарядки. Входной и выходной каналы кинематически близки (малые Q -реакции по сравнению с энергией столкновения, практически совпадающие массы и мало отличающиеся заряды ядер во входном и выходном каналах). Одновременно измерялось и сечение упругого рассеяния. Эффекты преломления в случае упругого рассеяния ^6Li на соседнем ядре ^{12}C изучались в предыдущей работе 3 при том же значении энергии столкновения. Для проведения эксперимента были изготовлены толстые самоподдерживающиеся пленки ($1,0 - 1,4$ мг/см 2) из изотопа ^{14}C с 85% обогащением, что позволило увеличить интенсивность счета под большими углами. Ядра ^6Li и ^6He регистрировались телескопом из кремниевых полупроводниковых детекторов $\Delta E(70 - 100\mu) - E(\sim 3$ мм), соединенных через спектрометрический тракт с вычислительной машиной.

Полученные экспериментальные данные по упругому рассеянию $^6\text{Li} + ^{14}\text{C}$ были проанализированы в рамках стандартной оптической модели с потенциалом Вудса — Саксона. Были найдены параметры потенциала, удовлетворительно описывающие результаты эксперимента во всей области измеренных углов. Анализ данных по реакции перезарядки проводился в предположении об одноступенчатом механизме возбуждения в рамках метода искаженных волн. Формализм расчета форм-факторов и сечений подробно описан в работе 2 . Результаты расчетов представлены на рис. 1 и рис. 2 в сравнении с экспериментальными данными. Дополнительно был проведен анализ в рамках коллективной вибрационной модели для реакции неупругого рассеяния $^{12}\text{C}(^6\text{Li}, ^6\text{Li})^{12}\text{C}^*$ с возбуждением 2^+ (4,44 МэВ) и 3^- (9,64 МэВ) состояний ядра-мишени.

Экспериментальные данные показывают, а расчеты подтверждают, что существует качественная аналогия в форме угловых распределений упругого и неупругого рассеяния и реакции перезарядки — дифракционная структура в области малых углов и монотонный спад сечений в сторону больших углов. Для более детального исследования квазиупругих процессов мы применили, по аналогии с упругим рассеянием 4 , метод разложения амплитуды реакции на ближнюю $f_B(\theta)$ и дальнюю $f_D(\theta)$ составляющие для неупругого рассеяния и перезарядки. Для выделения ближней и дальней составляющих во всех случаях были использованы точные квантовомеханические выражения. Соответствующие им сечения также приведены на рис. 1 и рис. 2. Видно, что дифракционная структура угловых распределений возникает в результате интерференции двух составляющих в области малых углов. Амплитуда осциллирующей максимальна вблизи угла $\bar{\theta}$, отвечающего пересечению $|f_B(\bar{\theta})| = |f_D(\bar{\theta})|$. В случае упругого и неупругого рассеяния $\bar{\theta} > 0^\circ$, что обусловлено ролью дальнедействующего кулоновс-

кого взаимодействия. В случае реакции перезарядки пересечение происходит при нулевом угле. На больших углах доминирующий вклад в сечение происходит от дальней составляющей $f_D(\theta)$, отвечающей рассеянию на большие отрицательные углы, что является прямым следствием преломляющих свойств ядерного поля.

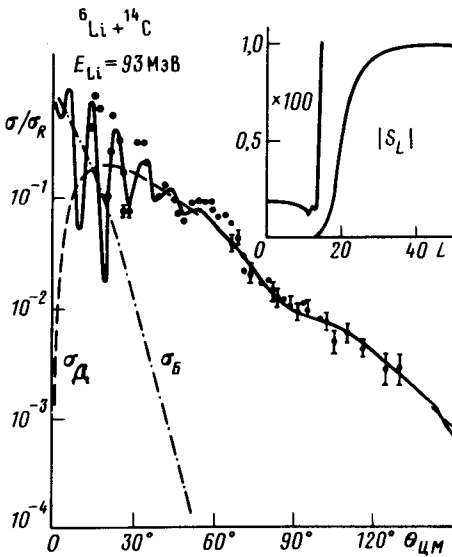


Рис. 1. Дифференциальное сечение упругого рассеяния в отношении к резерфордовскому сечению для ${}^6\text{Li} + {}^{14}\text{C}$ при $E = 93$ МэВ: (•) — экспериментальные значения; (—) — теоретическое описание на основе полученного потенциала $V = -254$ МэВ, $r_V = 0,58$ Ф, $a_V = 0,787$ Ф, $W = -67$ МэВ, $r_W = 0,666$ Ф, $a_W = 1,043$ Ф, где $R_{V,W} = r_{V,W} (A_p^{1/3} + A_T^{1/3})$. Расчет сечений, соответствующий дальней $f_D(\theta)$ (---) и ближней $f_B(\theta)$ (- · - ·) — компонентам. На вставке показана зависимость модуля элементов матрицы рассеяния от L

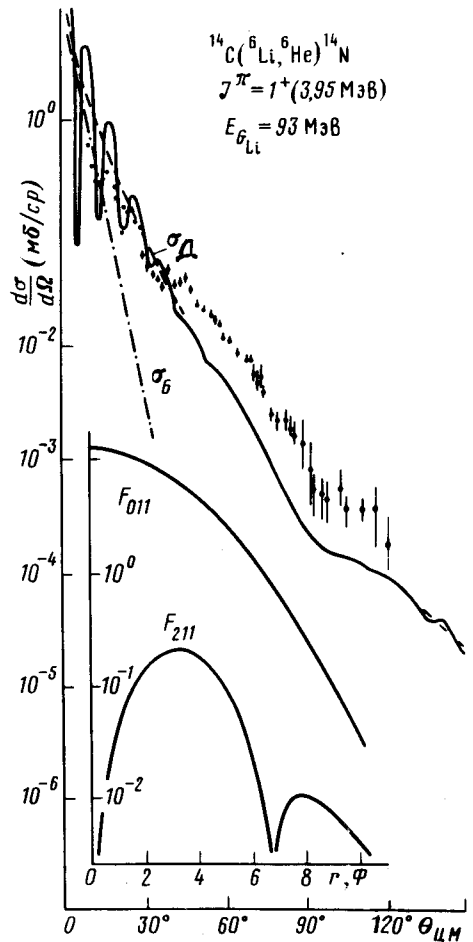


Рис. 2. Дифференциальные сечения реакции перезарядки ${}^{14}\text{C}({}^6\text{Li}, {}^6\text{He}){}^{14}\text{N}$ при $E = 93$ МэВ: (•) — экспериментальные значения; (—) — теоретический расчет в рамках МИВ в предположении одноступенчатого механизма возбуждения с потенциалом (рис. 1) во входном и выходном каналах; расчет сечений, соответствующий дальней $f_D(\theta)$ (---) и ближней $f_B(\theta)$ (- · - ·) — компонентам. На вставке показаны формфакторы

Как показал проведенный нами анализ, область чувствительности упругого рассеяния к поведению оптического потенциала заключена в интервале расстояний $r \approx 2,5 - 6,4$ Ф. Расчеты с обрезанием по угловому моменту позволили установить существенность вклада малых парциальных волн в рассеяние на большие углы. Для иллюстрации на рис. 1 показана зависимость коэффициентов отражения от углового орбитального момента. Аналогичные расчеты (с обрезанием форм-факторов на малых расстояниях и с отбрасыванием вклада малых l) указывают на то, что реакция перезарядки протекает на более далеких расстояниях по сравнению с реакциями упругого и неупругого рассеяния с возбуждением коллективных уровней ядрами.

В заключение сформулируем основные результаты данной работы:

1. Впервые проведено измерение сечений упругого рассеяния ${}^6\text{Li} + {}^{14}\text{C}$ и реакции перезарядки ${}^{14}\text{C}({}^6\text{Li}, {}^6\text{He}){}^{14}\text{N}$ в широком угловом диапазоне.

2. Установлена качественная аналогия в поведении угловых распределений упругого, неупругого рассеяния и реакции перезарядки — дифракционная структура на малых углах и преобладание вклада дальней составляющей амплитуды на больших углах, свидетельствующее о существенной роли эффектов, обусловленных преломляющими свойствами ядерного поля.

3. Продемонстрировано, что исследование квазиупругих процессов с ускоренными ионами ${}^6\text{Li}$ в широкой области углов позволяет изучать поведение оптического потенциала и форм-факторов реакций на расстояниях, меньших радиуса сильного поглощения ($R_{\text{с.п.}} \cong \cong 6,4 \Phi$).

Литература

1. *Goldberg D.A., Smith S.M., Burdzik G.F.* Phys. Rev. C, 1974, 10, 1362.
2. *Aleksandrov D.V. et al.* Nucl. Phys., 1985, A436, 338.
3. *Глухов Ю.А. и др.* ЯФ, 1981, 34, 312.
4. *Fuller R.C.* Phys. Rev. C, 1975, 12, 1561.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
21 апреля 1986 г.