

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2001/2-80

12/5-80

P3-80-34

Ю.А.Александров, Г.Г.Бунатян, В.Г.Николенко,
А.Б.Попов, Г.С.Самосват

ПОИСКИ ЭФФЕКТА ОДНОПИОННОГО ОБМЕНА
ПРИ РАССЕЯНИИ
НЕЙТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ЯДРАМИ

Направлено в ЯФ

1980

Александров Ю.А. и др.

P3-80-34

Поиски эффекта однопионного обмена при рассеянии нейтронов низких энергий ядрами

Проведены измерения угловой зависимости рассеяния килоэлектронвольтных нейтронов на нечетных ядрах In, J, Bi и на соседних, преимущественно четных ядрах Cd, Te, Pb. Обнаружено 20-30% различие p-амплитуд исследованных пар ядер и обсуждается возможность того, что это различие обусловлено однопионным обменом между налетающим нейтроном и нечетным нуклоном ядра.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Aleksandrov Yu.A. et al.

P3-80-34

Search for the Effect of One-Pion Exchange at the Scattering of Low Energy Neutrons

1. В последние годы в связи с интенсивным обсуждением аномальных состояний ядерного вещества / π -конденсация, сверхплотные ядра, нейтронные звезды и др./ усилилась потребность в знании нуклон-нуклонного взаимодействия в ядерной среде, которое может отличаться от достаточно хорошо изученного взаимодействия между нуклонами в вакууме. Как нам представляется, некоторые сведения об однопионном обмене, ответственном за ядерное взаимодействие на больших расстояниях, можно извлечь из опытов по рассеянию медленных нейтронов ядрами, где существенно только s- и p-рассеяния. Можно ожидать, что при энергии нейтронов порядка нескольких десятков кэВ основной вклад в p-рассеяние из-за влияния центробежного барьера, препятствующего сближению нейтрона с ядром, должны вносить силы с большим радиусом действия. В результате именно однопионный обмен, обеспечивающий взаимодействие на больших расстояниях, может оказаться выделенным. С другой стороны, нетрудно убедиться, что вклад однопионного обмена в рассеяние нуклона четно-четным ядром в точности равен нулю, т.к. он определяется шпуром матрицы, содержащей оператор спина. Поэтому на четно-четном ядре p-рассеяние обусловлено другими процессами, отличными от однопионного обмена. Эти соображения дают основания предположить, что изменение амплитуды p-рассеяния при переходе от четно-четного ядра к соседнему нечетному должно в основном обуславливаться однопионным обменом при условии, что вклад других процессов в рассеяние при этом меняется мало.

2. Несколько лет тому назад в работах¹⁻³ исследовалась угловая зависимость рассеяния килоэлектронвольтных нейтронов ядрами. В разложении дифференциального сечения по полиномам Лежандра

$$\sigma(\theta) = \frac{\sigma_s}{4\pi} \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} \omega_k P_k(\cos \theta) \right], \quad /1/$$

где σ_s - интегральное сечение рассеяния, а θ - угол рассеяния, при этих энергиях существенны лишь члены с $k=1$ и 2. Коэффициент ω_1 , примерно равный удвоенному отношению амплитуд p- и s-рассеяния, приближенно выражается через соответствующие фазовые сдвиги потенциального рассеяния как

$$\omega_1 \sim \frac{6 \sin \delta_1}{\sin \delta_0} = \frac{6 \sin \delta_1}{kR'} \quad /2/$$

где k - волновое число нейтрона, а R' - радиус потенциального s -рассеяния. До энергий несколько десятков кэВ ω_1 линейно возрастает с энергией нейтронов E , т.е. величина ω_1/E остается постоянной. Вклад резонансов составного ядра в ω_1 мал и может быть учтен через средние нейтронные параметры $^{1/2}$. В коэффициенте же ω_2 к потенциальной его части $6 \sin^2 \delta_1 / \sin^2 \delta_0$ добавляется существенная резонансная часть, что затрудняет его интерпретацию.

Экспериментальные значения величины ω_1/E в зависимости от массового числа ядра A образуют пик в районе $A=130$ /с минимумами при $A=100$ и 200 /, форма которого в среднем неплохо воспроизводится оптической моделью ядра $^{1/2,3}$. На основании высказанных выше соображений можно ожидать, что при переходе от четно-четного ядра к соседнему нечетному значение ω_1/E совершит некоторый скачок из-за подключения к p -рассеянию механизма обмена одним π -мезоном с нечетным нуклоном ядра-мишени.

К подобному заключению можно прийти и другим путем. Для рассматриваемой пары средних или тяжелых ядер все предсказания обычной оптической модели будут весьма близкими, так как потенциалы этих ядер за счет различия в A на единицу имеют радиусы $R=r_0 A^{1/3}$, отличающиеся на $0,01-0,02$ фм. Но на нечетном нуклоне включается однопионное взаимодействие с радиусом $\sim 1,4$ фм, который по крайней мере вдвое превышает радиусы всех других взаимодействий, и это может оказаться эквивалентным увеличению радиуса потенциала нечетного ядра на некую величину, значительно большую, чем $0,01-0,02$ фм. Таким образом, добавление нуклона к четно-четному ядру может эффективно передвинуть его на шкале A в сторону больших значений более чем на единицу.

Существующие данные о силовых функциях и радиусах потенциального рассеяния не могут пока подтвердить или отвергнуть наличие такого эффекта, поскольку они не полны и имеют низкую точность. Резкая же зависимость от A и возможность измерения с лучшей точностью делают величину ω_1/E удобным средством для исследования однопионного обмена в ядерной среде.

3. С помощью аппаратуры, кратко описанной в 14 , на пучке импульсного реактора ОИЯИ ИБР-30 мы измерили коэффициенты ω_1 и ω_2 разложения $^{1/1}$ для трех пар соседних элементов: Gd-In, Te-J и Pb-Bi. Таким образом, нечетно-четные ядра $^{113,115}\text{In}$, ^{127}J и ^{209}Bi сравниваются со смесями близких четно-четных с небольшой /не более 25%/ добавкой четно-нечетных, так что средние массовые числа сравниваемых образцов отличаются максимум на 2,35. Измерения проводились при лабораторных углах

Таблица

Элемент	Область линейности, кэВ	ω_1/E МэВ	$\frac{\omega_1^H}{\omega_1^C}$	$\langle \frac{\omega_1^H}{\omega_1^C} \rangle$	$\frac{R'_H}{R'_C}$	$\frac{\omega_1^H}{\omega_1^C} \cdot \frac{R'_H}{R'_C}$	$\langle \frac{\omega_1^H}{\omega_1^C} \rangle \cdot \frac{R'_H}{R'_C}$
In	20	9,55±0,42	1,33±0,10	1,23±0,01	0,99±0,04	1,32±0,11	1,22±0,05
Cd	20	7,16±0,41					
J	40	9,56±0,28					
Te	40	7,81±0,27	1,22±0,06	1,20±0,06	1,00±0,08	1,22±0,11	1,20±0,11
Bi	160	1,77±0,12					
Pb	160	2,08±0,13	0,85±0,08	0,81±0,03	0,90±0,03	0,77±0,08	0,73±0,04

45°, 90° и 135°; на *рис. 1* и *2* приведены экспериментальные значения ω_1 в системе центра масс, полученные при разных энергетических разрешениях установки, а результаты обработки ω_1 собраны в *таблице*.

Для тех областей энергии, где ω_1 пропорциональны E /см. второй столбец таблицы/, методом наименьших квадратов определены величины ω_1/E ; для Cd, J, Te и Pb они совпадают в пределах ошибок с прежними измерениями $^{1-3}$. Эффект различия ω_1 для нечетных и четно-четных рассеивателей демонстрируется в четвертом столбце отношениями соответствующих чисел третьего столбца, а в пятом столбце даны средние взвешенные отношения по всем исследованным энергиям. Чтобы отделить p -рассеяние от s -рассеяния и получить отношение p -амплитуд в соответствии с выражением $^{2/}$, нужно умножить отношение ω_1 на отношение s -амплитуд, т.е. значений R' . Последние отношения приведены в шестом столбце. Для In и Cd они получены из данных $^{5/}$ по R' , а для остальных элементов - как квадратные корни из отношений сечений потенциального рассеяния, принятых на основании кривых $^{6/}$ равными 4,5δ для J и Te; 9,0δ для Bi и 11,2δ для Pb с ошибками 0,5δ. Окончательно величину различия p -амплитуд рассеяния можно видеть в двух последних столбцах таблицы.

4. Итак, как показывают результаты проведенных измерений, однопионный обмен между нечетным нуклоном и рассеиваемым нейтроном не дает определяющего вклада в p -рассеяние нейтронов на исследованных ядрах. Заметим, однако, что этот вывод ошибочен, если нечетные изотопы Cd, Te и Pb имеют значения ω_1 в несколько раз больше, чем соседние ^{115}In , ^{127}J и ^{209}Bi . Но это допущение представляется весьма маловероятным.

И все же разумно предположить, что обнаруженные различия /на 20-30%/ p -амплитуд исследованных пар ядер /т.е. "негладность" кривой зависимости ω_1/E от A /обусловлены однопионным обменом. Конечно, следует иметь в виду, что подобного рода эффекты могут быть вызваны и другими причинами, связанными с раз-

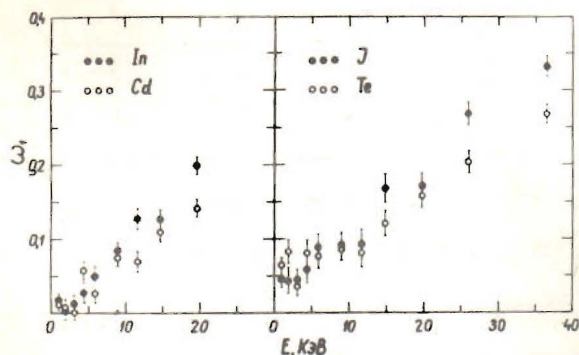


Рис. 1. Значения коэффициента ω_1 при разных энергиях нейтронов E , измеренные при энергетическом разрешении $\Delta E = 0,27 E^{3/2}$ кэВ.

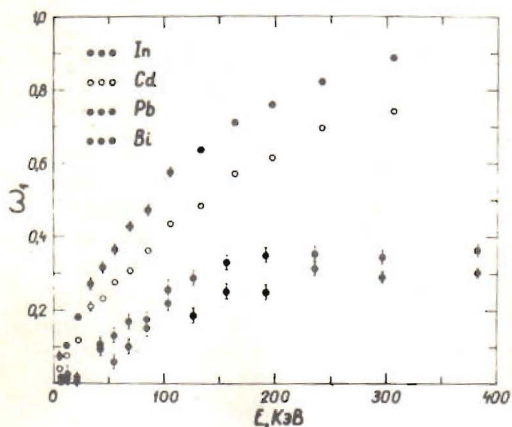


Рис. 2. Значения коэффициента ω_1 при разных энергиях нейтронов E , измеренные при энергетическом разрешении $\Delta E \approx 0,017 E^{3/2}$ кэВ.

личием структуры ядер /в частности, различием спинов, изотоп-спинов, деформаций, колебательных возбуждений/. Для окончательного решения этого вопроса требуются дальнейшие исследования в этой области - как экспериментальные, так и теоретические.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ю.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1966, 4, с.196.
2. Александров Ю.А., Самосват Г.С. ОИЯИ, Р3-4354, Дубна, 1969.
3. Самосват Г.С. ЯФ, 1970, 11, с.1152.
4. Николенко В.Г., Самосват Г.С. ЯФ, 1976, 23, с.1159.
5. Mughabghab S.F., Garber D.I. BNL-325, 3d Ed., 1973, v.1.
6. Garber D.I., Kinsey R.R. BNL-325, 3d Ed., 1976, v.2.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 января 1980 года.