

1084

26.11.61

$\frac{6}{P-61}$



Лаборатория ядерных проблем

Б.М. Головин, Р.Я. Зулькарнеев, В.И. Никаноров, В.И. Сатаров

P-1087

О ВОССТАНОВЛЕНИИ АМПЛИТУДЫ
NN-РАССЕЯНИЯ В СОСТОЯНИЯХ $T=0$

Дубна 1962 год

Б.М.Головин, Р.Я.Зулькарнеев, В.И.Никаноров, В.И.Сатаров

P-1087

О ВОССТАНОВЛЕНИИ АМПЛИТУДЫ
NN-РАССЕЯНИЯ В СОСТОЯНИЯХ $T=0$



Дубна 1962 год

1665/2 ч8.

1. Восстановление амплитуды NN -рассеяния

В нашей предыдущей работе^{/1/} были получены выражения, связывающие спиновые состояния нуклона и дейтрона с коэффициентами амплитуды NN -рассеяния в импульсном приближении. В настоящей заметке рассматривается вопрос об использовании экспериментально определенных данных о поляризациях нуклона и дейтрона при упругом ND -рассеянии для восстановления амплитуды рассеяния нуклонов нуклонами в состояниях с $T=0$.

Как известно, амплитуда упругого рассеяния нуклонов нуклонами (для каждой из групп состояний с $T=0$ и $T=1$) определяется 5 комплексными коэффициентами для каждого угла рассеяния. С учетом неопределенности общей фазы для восстановления такой амплитуды необходимо, в общем случае, проведение 9 независимых опытов. Было, однако, показано^{/2/}, что при проведении совместного анализа данных о pp - и np -рассеяниях общее число необходимых опытов может быть сокращено с 18 до 13. К сожалению, для выполнения этой программы должны быть проведены измерения таких величин, как, например, коэффициенты спиновой корреляции при np -рассеянии. Проведение таких опытов в настоящее время является делом весьма трудно выполнимым, как из-за недостаточной интенсивности нейтронных пучков и их некогерентности, так и из-за низкой эффективности детекторов нейтронов. Поэтому представляется интересным рассмотреть вопрос о замене хотя бы части этих экспериментов с np -рассеянием опытами по определению поляризационных состояний частиц при упругом pD -рассеянии. Несмотря на меньшие величины сечений этого процесса необходимость регистрации лишь заряженных частиц, моноэнергетичность обеих частиц после рассеяния, и возможность использовать весьма интенсивные и монохроматичные протонные пучки делают возможность такой замены довольно привлекательной. Будем считать, что выполнены все необходимые опыты по pp -упругому рассеянию и в нашем распоряжении имеются численные значения всех коэффициентов амплитуды в состоянии с $T=1$. Задача, таким образом, сводится к выбору системы опытов, позволяющих восстановить амплитуду упругого рассеяния нуклонов для состояний с $T=0$, т.е. к определению 10 действительных коэффициентов этой амплитуды.

Для решения поставленной задачи выразим амплитуды ND -рассеяния A, B, C, D, E через амплитуды a, b, c, d, e , примененные в работе^{/2,3/}:

$$A = \frac{1}{3} \{3(a_1 + b_1) + (a_0 + b_0)\}$$

$$B = \frac{1}{3} \{3e_1 + e_0\}$$

$$C = \frac{1}{3} \{3(a_1 - b_1) + (a_0 - b_0)\}$$

(1)

$$D = \frac{1}{3} \{3(c_1 + d_1) + (c_0 + d_0)\}$$

$$E = \frac{1}{3} \{3(c_1 - d_1) + (c_0 - d_0)\}.$$

Здесь нижние индексы означают изотопическое состояние системы двух нуклонов. Применим идею, развитую в ^{12/}, к анализу ND -рассеяния.

Из данных по рассеянию неполяризованных протонов на неполяризованной дейтериевой мишени, найдем ^{х)} хх)

$$I_0 \{ \langle \omega_1 \rangle_0 + \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3}{2}} [\langle \omega_7 \rangle_0 \operatorname{ctg} \theta - 2 \langle \omega_6 \rangle_0] \} = /A/{}^2 + 2/B/{}^2 + /C/{}^2 + \frac{1}{2} (/D/{}^2 + /E/{}^2) = 0_1,$$

$$I_0 \{ \langle \omega_1 \rangle_0 - \frac{5}{3} \sqrt{\frac{3}{2}} [\langle \omega_7 \rangle_0 \operatorname{ctg} \theta - 2 \langle \omega_6 \rangle_0] \} = /A/{}^2 - /C/{}^2 + \frac{3}{2} (/D/{}^2 + /E/{}^2) = 0_2,$$

$$I_0 \frac{2\sqrt{3}}{\sin \theta} \langle \omega_7 \rangle_0 = /D/{}^2 - /E/{}^2 = 0_3, \quad (2)$$

$$I_0 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} \langle \omega_4 \rangle_0 = \operatorname{Re}(A + C) B^* = 0_4,$$

$$I_0 \{ 3 \langle \vec{\sigma} \vec{y} \rangle_0 - \frac{5}{2} \sqrt{\frac{3}{2}} \langle \omega_4 \rangle_0 \} = \operatorname{Re}(A - C) B^* = 0_5.$$

Выразив А, В и т.д. через амплитуды а, б, с, d, е по формулам (1), получим пять соотношений, связывающих амплитуды в состояниях T=0 и T=1.

$$O_1(\theta) = \frac{2}{9} \{ 9(|a_1|^2 + |b_1|^2 + \frac{1}{2}|c_1|^2 + \frac{1}{2}|d_1|^2 + |e_1|^2) + |a_0|^2 + |b_0|^2 + \frac{1}{2}|c_0|^2 + \frac{1}{2}|d_0|^2 + |e_0|^2 +$$

$$+ 6 \operatorname{Re}(a_1 a_0^* + b_1 b_0^* + \frac{1}{2} c_1 c_0^* + \frac{1}{2} d_1 d_0^* + e_1 e_0^*) \}$$

$$O_2(\theta) = \frac{1}{3} [9(|c_1|^2 + |d_1|^2) + (|c_0|^2 + |d_0|^2) + 6 \operatorname{Re}(c_1 c_0^* + d_1 d_0^*) +$$

$$+ \frac{4}{9} [9 \operatorname{Re} a_1 b_1^* + \operatorname{Re} a_0 b_0^* + 3 \operatorname{Re}(a_1 b_0^* + b_1 a_0^*)] \quad (3)$$

$$O_3(\theta) = \frac{4}{9} \{ \operatorname{Re}(9 c_1 d_1^* + c_0 d_0^*) + 3 \operatorname{Re}(c_1 d_0^* + c_0 d_1^*) \}$$

$$O_4(\theta) = \frac{2}{9} \operatorname{Re} [9 a_1 e_1^* + a_0 e_0^* + 3 \operatorname{Re}(a_1 e_0^* + a_0 e_1^*)]$$

$$O_5(\theta) = \frac{2}{9} \operatorname{Re} [9 b_1 e_1^* + b_0 e_0^* + 3(b_1 e_0^* + b_0 e_1^*)]$$

х) Обозначения даны в нашей предыдущей работе ^{11/}.

хх) В настоящей работе, как и в работе ^{11/}, через I_0 обозначено сечение рассеяния неполяризованного пучка, деленное на стикинг-фактор.

Далее, совершим в (3) преобразование $\nu \rightarrow \pi - \nu$ и, воспользовавшись известными свойствами симметрии амплитуд a, b , и т.д., получим в дополнение к имеющимся еще 5 независимых соотношений, выраженных через NN — амплитуды в $T=0$ и $T=1$:

$$O_1(\theta') = \frac{2}{9} \{ 9[|a_1|^2 + \frac{1}{2}|b_1|^2 + |c_1|^2 + \frac{1}{2}|d_1|^2 + |e_1|^2] + [|\alpha_0|^2 + \frac{1}{2}|b_0|^2 + |c_0|^2 + \frac{1}{2}|d_0|^2 + |e_0|^2] - 6\text{Re}[a_1\alpha_0^* + \frac{1}{2}b_1b_0^* + c_1c_0^* + \frac{1}{2}d_1d_0^* + e_1e_0^*] \}$$

$$O_2(\theta') = \frac{1}{3} [9(|b_1|^2 + |d_1|^2) + |b_0|^2 + |d_0|^2 - 6\text{Re}(b_1b_0^* + d_1d_0^*)] + \frac{4}{9} [9\text{Re} a_1c_1^* + \text{Re} \alpha_0c_0^* - 3\text{Re}(a_1c_0^* + c_1\alpha_0^*)]$$

(4)

$$O_3(\theta') = \frac{4}{9} \{ -\text{Re}(9b_1d_1^* + b_0d_0^* + 3\text{Re}(b_1d_0^* + b_0d_1^*)) \}$$

$$O_4(\theta') = \frac{2}{9} \text{Re} [-9a_1e_1^* - \alpha_0e_0^* + 3(a_1e_0^* + \alpha_0e_1^*)]$$

$$O_5(\theta') = \frac{2}{9} \text{Re} [-9c_1e_1^* - c_0e_0^* + 3(c_1e_0^* + c_0e_1^*)],$$

где θ' — угол (с.п.м.) в ND — рассеянии, соответствующий NN — рассеянию на угол $\pi - \nu$ (ν — угол рассеяния в с.п.м. нуклон-нуклон). Связь углов ν и θ' дается формулой:

$$\frac{4}{3} \sin \frac{\theta'}{2} = \cos \frac{\nu}{2} \quad (5)$$

Таким образом мы имеем 10 уравнений для 5 комплексных величин (амплитуд) и неизвестного стикинг-фактора дейтрона. Последний может быть определен из сопоставления данных о поляризации нуклонов в pp —, np — и ND — рассеяниях^{4/} (в этом случае для определения амплитуд остается 9 уравнений) либо из независимых экспериментов, например, по неупругому ND — рассеянию, либо, наконец, может быть использована его расчетная величина при каком-либо разумном предположении о виде волновой функции дейтона. Во всех случаях количество уравнений, в принципе, достаточно для определения амплитуд NN рассеяния в состоянии $T=0$.

Набор опытов для восстановления амплитуды упругого ND — рассеяния

В заключение, ввиду того, что в разделе III работы^{1/} была допущена ошибка, остановимся еще раз на наборе опытов, необходимых для восстановления амплитуды упругого ND — рассеяния. Учитывая замечания, сделанные в настоящей работе выше, стикинг-фактор будем считать известным.

В этих условиях для решения поставленной задачи необходимо из экспериментальных данных найти (при неопределенной общей фазе) 9 действительных величин (5 модулей амплитуд и 4 фазовых угла между ними) для каждого угла рассеяния. Опыты по упругому ND — рассеянию неполяризованного пучка на неполяризованной мишени позволяют найти 5 независимых комбинаций амплитуд (а не 6, как указывалось в^{1/}).

$$I_0 \langle \omega_1 \rangle_0 = |A|^2 + |B|^2 + \frac{2}{3} (|B|^2 + |C|^2 + |D|^2 + |E|^2)$$

$$I_0 \langle \omega_6 \rangle_0 = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} \{ |B|^2 + |C|^2 - |E|^2 - (|D|^2 - |E|^2) \cos^2 \frac{\theta}{2} \}$$

$$I_0 \langle \omega_7 \rangle_0 = \frac{1}{2} \{ |D|^2 - |E|^2 \} \sin \theta$$

(6)

$$I_0 \langle \omega_4 \rangle_0 = 2 \sqrt{\frac{2}{3}} \operatorname{Re} (A + C) B^*$$

$$I_0 \langle \vec{\sigma} \vec{y}' \rangle = 2 \operatorname{Re} (A + \frac{2}{3} C) B^*.$$

Более тяжелый в экспериментальном отношении опыт по измерению коэффициента деполаризации протонов при упругом ND -рассеянии дает еще одно соотношение между амплитудами:

$$\frac{I \vec{P}_y - (I \vec{P}_y)_{in}}{P_y} = |A|^2 + |B|^2 + \frac{2}{3} (|B|^2 + |C|^2 - |D|^2 - |E|^2), \quad (7)$$

Недостающее уравнение для определения модулей амплитуд может быть получено, например, если измерить изменение x (или z) компоненты поляризации нуклонов в упругом ND столкновении.

$$\frac{I \vec{P}_x}{(P_x)_{in}} = |A|^2 + \frac{1}{3} (2|C|^2 - 2|D|^2 + 2|E|^2 + |B|^2) + \frac{4}{3} \sin^2 \theta (|E|^2 - |D|^2) \quad (8)$$

$$\text{при } (P_y)_{in} = (P_z)_{in} = 0.$$

Наконец, для нахождения фазовых углов между D и E с одной стороны и какой-либо из амплитуд A, B, C с другой, нужно провести по крайней мере 2 опыта либо по измерению состояний поляризации дейтрона при рассеянии протонов, поляризованных в плоскости (xz) , на неполяризованных дейтронах, либо по измерению поляризации нуклонов в плоскости (xz) , возникающей при рассеянии дейтронов с заданной поляризацией на неполяризованном водороде. Например,

$$\frac{I \langle \omega_9 \rangle}{(P_x)_{in}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \{ \operatorname{Re} (BD^* \cos^2 \frac{\theta}{2} + BE^* \sin^2 \frac{\theta}{2}) - \frac{1}{2} \operatorname{Im} (CE^* \sin \theta + CD^* \sin \theta) \}$$

при $(P_y)_{in} = (P_z)_{in} = 0$,

$$\frac{I \langle \omega_{10} \rangle}{(P_x)_{in}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \{ \frac{1}{2} \operatorname{Re} (BD^* \sin \theta - BE^* \sin \theta) - \operatorname{Im} (CE^* \sin^2 \frac{\theta}{2} + CD^* \cos^2 \frac{\theta}{2}) \}$$

при $(P_y)_{in} = (P_z)_{in} = 0$.

Приведенный выше в качестве примера набор опытов для восстановления упругой ND -амплитуды позволяет однозначно определить модули коэффициентов A, B, C, D, E . Однако

структура этих уравнений такова, что однозначное определение фазовых углов между амплитудами требует в общем случае проведения ряда дополнительных опытов.

Л и т е р а т у р а

1. Б.М. Головин, Р.Я. Зулькарнеев, В.И. Никаноров, В.И. Сатаров. "Спиновые состояния частиц при упругом нуклон-дейтронном рассеянии", препринт ОИЯИ Р-858, 1961 г.
2. Б.М. Головин, В.П. Желепов, В.С. Надеждин, В.И. Сатаров. ЖЭТФ, 36, вып. 2, 1959 г.
3. Пузиков, Р.М. Рындин, Я.А. Смородинский. ЖЭТФ, 32, 592, 1957.
4. Б.М. Головин, Р.Я. Зулькарнеев, В.И. Никаноров, В.И. Сатаров. "Векторная поляризация дейтона", препринт ОИЯИ, Р-551, 1960 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 сентября 1962 года.