



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С 324.15

P4-84-427

В.Н.Ефимов

4460/84

БЕЗМОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА
ВЕСА $6q$ -ПРИМЕСИ В ДЕЙТОНЕ
НА ОСНОВЕ P-МАТРИЧНОГО АНАЛИЗА
 3S_1 -ФАЗЫ NN-РАССЕЯНИЯ

1984

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. В настоящей заметке рассмотрено определение веса $6q$ -примеси в дейтоне с использованием результатов P -матричного анализа 3S_1 -фазы NN -рассеяния /в центральном приближении/ при энергиях до 800 МэВ /лаб.сист./. Анализ основан на гибридной /кварк-кластерной/ модели NN -взаимодействия и на обычных предположениях P -матричного метода /1-5/:

1/ Существует вполне определенная граница $r = b$ / r - расстояние между центрами масс нуклонов/, выделяющая в NN -канале две области: область неперекрывающихся двух трехкварковых нуклонных кластеров ($r > b$) и область составного $6q$ -кластера ($r < b$).

2/ В области $r > b$ NN -взаимодействие определяется известным нуклон-нуклонным потенциалом $V_{NN}(r)$ /теоретико-полевым или феноменологическим/.

3/ NN -взаимодействие в области $r < b$ определяется динамикой составного $6q$ -кластера, причем учитывается только ее "внешнее" проявление в виде полюсного /по энергии/ граничного условия при $r = b + \epsilon$ ($\epsilon \rightarrow 0$) для нуклон-нуклонной волновой функции.

В соответствии с п.1/ исходных предположений s -волновая функция двух нуклонов N_1, N_2 с кинетической энергией E /в системе центра масс/, являющаяся антисимметричной функцией шести кварков, в области $r > b$ имеет вид

$$\Psi_{\vec{r}}(x_q) = \psi_k(\vec{r}) \chi_{ST} \Psi_{N_1}(x_1) \Psi_{N_2}(x_2), \quad r > b, \quad /1/$$

где $x_j / j = 1, 2/$ - совокупность внутренних координат двух бесцветных нуклонных $3q$ -кластеров, \vec{r} - радиус-вектор между их центрами масс, x_q - совокупность переменных, описывающих полную $6q$ -систему, $\psi_k(\vec{r}) = \psi_k(r) / \sqrt{4\pi}$ - s -компонента волновой функции относительного движения двух нуклонов, $k^2 = ME$, M - масса нуклона, χ_{ST} - антисимметричная спин-изоспиновая функция, $\Psi_{N_j}(x_j)$ - антисимметричные волновые функции двух нуклонных $3q$ -кластеров.

Заметим, что в /1/ не учитывается оператор антисимметризации \hat{A} , так как в силу условий конфайнмента при $r > b$ $\hat{A} \equiv 1$, и что волновые функции $6q$ -системы с различными энергиями E и E' должны быть ортогональны:

$$(\Psi_E, \Psi_{E'}) = C(E) \delta(E - E'), \quad /2/$$

где $C(E)$ - нормировочный множитель. Условие ортогональности /2/ можно записать, учитывая /1/ и вводя обозначение $\Psi_E^{(i)}(x_q)$ для волновой функции $6q$ -кластера, локализованного в области

$r < b$, в виде

$$(\Psi_E^{(i)}, \Psi_{E'}^{(i)}) + \int_b^\infty r^2 dr \psi_k(r) \psi_k'(r) = C(E) \delta(E - E') \quad /3/$$

2. Согласно п.2/ основных предположений волновая функция $\psi_k(r) = \psi_k(r) / \sqrt{4\pi}$ в /1/ определяется решением уравнения Шредингера:

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + k^2 - MV_{NN}(r) \right] \psi_k(r) = 0 \quad /4/$$

и асимптотикой при $r \rightarrow \infty$

$$\psi_k(r) \sim j_0(kr) - \text{tg} \delta \, n_0(kr), \quad /5/$$

где $j_0(x)$, $n_0(x)$ - сферические функции Бесселя и Неймана, δ - s-фаза рассеяния.

Волновая функция $\psi_k(r)$ в соответствии с п.3/ должна удовлетворять граничному условию

$$b \left[\frac{d}{dr} \psi_k(r) \right]_{r=b_+} = P(E) \left[r \psi_k(r) \right]_{r=b_+}, \quad /6/$$

которое следует рассматривать как определение P-матрицы при известном потенциале $V_{NN}(r)$ в /4/. Решение уравнения /4/ будем искать в виде

$$\psi_k(r) = F_k(r) + B(E) H_k(r), \quad /7/$$

где $F_k(r)$, $H_k(r)$ - два линейно-независимых решения, удовлетворяющих интегральным уравнениям

$$\begin{pmatrix} F_k \\ H_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_0 \\ n_0 \end{pmatrix} - G_0(k^2) MV_{NN} \begin{pmatrix} F_k \\ H_k \end{pmatrix}, \quad /8/$$

с функцией Грина $G_0(k^2)$ вида

$$\langle r | G_0(k^2) | r' \rangle = -k j_0(kr_<) n_0(kr_>). \quad /9/$$

Неизвестный коэффициент $B(E)$ в /7/ находился с учетом /8/, /9/ по известной асимптотике $\psi_k(r)$ /5/, что однозначно определяет в области $r > b$ волновую функцию $\psi_k(r)$ и, согласно /6/, значение P-матрицы, соответствующее экспериментальному значению фазы $\delta(E)$.

В соответствии с /1,2/ была использована следующая параметризация P-матрицы:

$$P(E) = P_0 - P_1 E - R_0 / (E_0 - E), \quad /10/$$

где полюс E_0 соответствует ближайшему примитиву /собственному состоянию 6q-кластера/, а вклад остальных /далеких/ примитивов учитывается линейным членом $P_1 E$. Согласно определению P-матрицы /1/, имеют место условия

$$R_0 > 0, \quad P_1 > 0, \quad /11/$$

и, кроме того, должно выполняться условие, связанное с принципом причинности /6/:

$$\partial P / \partial E \leq 0. \quad /12/$$

Параметры в P-матрице /10/ считались свободными и определялись для ряда значений b из условия минимизации χ^2 для s-фаз. Экспериментальные значения s-фаз и их ошибки взяты из результатов фазового анализа при фиксированных энергиях /7,8/ в интервале энергий 25-800 МэВ /лаб.сист./. В связи с последним обстоятельством в расчетах вместо уравнения /4/ использовалось, как и в /5/, уравнение Клейна-Гордона, учитывающее релятивистскую кинематику:

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + k^2 - \sqrt{M^2 + k^2} V_{NN}(r) \right] r \psi_k(r) = 0$$

с той же самой асимптотикой /5/.

Анализ s-фаз / 3S_1 и 1S_0 / NN-рассеяния был проведен для широкой области значений b с использованием в качестве $V_{NN}(r)$ ($r > b$) как теоретико-полевых потенциалов (ОРЕР, потенциал Ломона-Фешбаха /9/ (LF) с $g^2/4\pi = 4,68$, $g^2/4\pi = 0,68$, потенциал Чемтоба-Дурсо-Риски /10/ (CDR)), так и феноменологических потенциалов (Хамады-Джонстана /11/ (HJ), Рида с мягким кором /12/ (RSC)). При анализе s-фаз P-матрица нормировалась так, чтобы воспроизводить экспериментальные значения синглетной длины рассеяния $a_s = -23,719$ фм /13/ и энергии связи дейтона $\epsilon_d = 2,2246$ МэВ /13/, что достигалось путем исключения параметра P_0 в /10/ с помощью значений $P(0)$ /канал 1S_0 / и $P(-\epsilon_d)$ /канал 3S_1 /.

При рассмотрении 3S_1 -канала в центральном приближении необходимо, очевидно, приближенный учет вклада тензорных сил. Для ОРЕ-потенциала было использовано приближение $V(^3S_1) = 1,75V(^1S_0)$, а для остальных потенциалов вводилось некоторое эффективное значение $\langle S_{12} \rangle$ тензорного оператора S_{12} , которое выбиралось так, чтобы для малых b /1,0 ÷ 1,2 фм/ значения параметра P_1 в /10/ для канала 3S_1 были близки к значениям P_1 для канала 1S_0 . Для указанных выше потенциалов были получены таким образом следующие значения $\langle S_{12} \rangle$: 1/ 0,225 (LF), 2/ 0,33 (CDR), 3/ 0,275 (HJ), 4/ 0,41 (RSC).

3. Граничное условие /6/ и асимптотический вид $\psi_k(r)$ /5/ позволяют выразить условие ортогональности /3/ в удобной для дальнейших выводов форме. Действительно, рассматривая уравнение /4/ при двух энергиях E и E' и учитывая /5/ и /6/, легко избавиться от интеграла в /3/:

$$(\Psi_E^{(i)}, \Psi_{E'}^{(i)}) = -\frac{b}{M} \frac{P(E) - P(E')}{E - E'} \psi_k(b) \psi_{k'}(b). \quad /13/$$

Определим, далее, в соответствии с /1/ NN-компоненту $\Psi_{NN}^{(i)}(x_q)$ в полной волновой функции $\Psi_E^{(i)}$ в области $r < b$ как ее проекцию на s-компоненту относительного движения двух бесцветных нуклонных $3q$ -кластеров Ψ_{N_1} и Ψ_{N_2} :

$$\Psi_{NN}^{(i)}(x_q) = \psi_k^{(i)}(r) \chi_{ST} \Psi_{N_1}(x_1) \Psi_{N_2}(x_2), \quad /14/$$

$$\psi_k^{(i)}(r) = (\chi_{ST} \Psi_{N_1} \Psi_{N_2}, \Psi_E^{(i)})_s, \quad r < b, \quad /15/$$

где индекс s означает усреднение по углам радиус-вектора \vec{r} , и запишем $\Psi_E^{(i)}(x_q)$ в виде

$$\Psi_E^{(i)}(x_q) = \Psi_{NN}^{(i)}(x_q) + \Psi_{6q}(x_q). \quad /16/$$

Очевидно, что компонента $\Psi_{6q}(x_q)$ в /16/ будет отлична от нуля только при наличии взаимодействия между кварками, входящими в различные нуклонные $3q$ -кластеры Ψ_{N_1} и Ψ_{N_2} , т.е. эта компонента соответствует примеси $6q$ -состояний в волновой функции $\Psi_E^{(i)}(x_q)$ /16/. Указанные выше определения компонент $\Psi_{NN}^{(i)}$ и Ψ_{6q} обеспечивают их ортогональность при любых энергиях E и E' :

$$(\Psi_{NN}^{(i)}(E), \Psi_{6q}(E')) = 0. \quad /17/$$

С учетом этого обстоятельства и параметризации P-матрицы /10/ соотношение /13/ при $E = E'$ можно записать в виде

$$\int_0^b r^2 dr \psi_k^{(i)2}(r) + (\Psi_{6q}, \Psi_{6q}) = \frac{b}{M} [P_1 + R_0/(E_0 - E)^2] \psi_k^2(b). \quad /18/$$

Второй член в правой части соотношения /18/, связанный с явно учитываемым в /10/ $6q$ -примитивом, отличен от нуля, очевидно, при наличии взаимодействия между всеми кварками, т.е. тогда, когда $(\Psi_{6q}, \Psi_{6q}) \neq 0$. Следовательно, этот член должен определять вес $6q$ -примеси в волновой функции $\Psi_E^{(i)}(x_q)$ в области $r < b$.

Для волновой функции дейтона вместо соотношения ортогональности /3/ при $E = E' = -\epsilon_d$ следует рассматривать условие нормировки:

$$(\Psi_{-\epsilon_d}^{(i)}, \Psi_{-\epsilon_d}^{(i)}) + \psi_d^2(b) J = N^2, \quad /19/$$

где $J = \int_b^\infty r^2 dr \psi_d^2(r) / \psi_d^2(b)$, $\psi_d(r)$ - волновая функция дейтона в области $r > b$, определяемая уравнением /4/ при $k^2 = -M\epsilon_d$, и с асимптотикой при $r \rightarrow \infty$ $r\psi_d(r) \sim \exp(-\sqrt{M\epsilon_d}r)$. Соотношение /19/ с помощью /13/, /16/ и /18/ можно представить в виде

$$N^2 = \psi_d^2(b) \left[J + \frac{bP_1}{M} + \frac{bR_0}{M(E_0 + \epsilon_d)^2} \right], \quad /20/$$

откуда следует, что вес P_{6q} $6q$ -примеси в дейтоне определяется выражением

$$P_{6q} = \frac{bR_0}{M(E_0 + \epsilon_d)^2} \frac{\psi_d^2(b)}{N^2}. \quad /21/$$

В таблице приведены значения P_{6q} в зависимости от b /21/, вычисленные для указанных выше потенциалов с использованием параметров P-матрицы /10/, полученных при анализе 3S_1 -фаз NN-рассеяния в интервале энергий 25-800 МэВ /лаб.сист./ /7-8/. Значения P_{6q} указаны только для таких b , для которых выполняются соотношения /11/ и /12/, причем для всех потенциалов значения b ограничивает условие $P_1 > 0$. Как видно из таблицы, для рассмотренных потенциалов при $b = 1,32 \pm 1,44$ фм значения P_{6q} практически совпадают. Это вполне понятно, так как при таких b существенна только одна и та же дальнедействующая OPE-компонента этих потенциалов.

В заключение заметим, что определение приведенных в таблице значений P_{6q} , согласно выражению /21/ основано только на результатах P-матричного анализа 3S_1 -фаз и не требует никаких предположений о динамике $6q$ -кластера. Определение параметров P-матрицы /10/ по минимуму χ^2 для 3S_1 -фаз позволило для указанных выше потенциалов при всех b , ограниченных условием $P_1 > 0$, хорошо описать экспериментальные значения этих фаз /7-8/ для энергий 25-800 МэВ /лаб.сист./ χ^2 на точку варьируется от 0,8 до 1,4 в зависимости от b и потенциала/. Полученные значения триплетной длины рассеяния $a_t = 5,41$ фм и эффективного радиуса $r_{0t} = 1,73$ фм крайне слабо зависят от b и от потенциала /вариации в третьей не указанной цифре после запятой/ и очень хорошо совпадают с экспериментальными значениями $a_t = 5,414 \pm 0,005$ фм и $r_{0t} = 1,750 \pm 0,005$ фм /13/.

Автор благодарит В.Б.Беляева, В.А.Николаева и А.И.Титова за ряд полезных обсуждений и замечаний.

Таблица

Вес $6q$ -примеси в дейтоне P_{6q} /%/ в зависимости от b /фм/ для различных потенциалов

b	OPEP	LF	CDR	HJ	RSC
0,88					2,10
0,92					2,21
0,96				3,76	2,44
1,00				3,88	2,78
1,04				4,07	3,24
1,08			5,51	4,39	3,82
1,12			5,83	4,85	4,50
1,16		7,64	6,31	5,41	5,30
1,20	8,40	8,03	6,84	6,08	6,14
1,24	8,72	8,54	7,57	6,83	7,03
1,28	9,17	9,14	8,34	7,74	8,01
1,32	9,74	9,83	9,19	8,70	8,98
1,36	10,42	10,61	10,11	9,72	9,96
1,40	11,19	11,46	11,06	10,76	10,96
1,44	12,03	12,35	12,04	11,81	11,97

ЛИТЕРАТУРА

- Jaffe R.L., Low F.E. Phys.Rev., 1979, D19, p.2105.
- Jaffe R.L., Shatz M.P. Preprint CALT-68-775, 1980.
- Simonov Yu.A. Phys.Lett., 1981, 107B, p.1.
- Симонов Ю.А. ЯФ, 1982, 36, с.722.
- Mulders P.J. Phys.Rev., 1982, D26, p.3039.
- Feshbach H., Lomon E.L. Ann.Phys., 1964, 29, p.19.
- Dubois R. et al. Nucl.Phys., 1982, A377, p.554.
- Arndt R.A. et al. Phys.Rev., 1983, D28, p.97.
- Lomon E.L., Feshbach H. Ann.Phys., 1968, 48, p.94.
- Chemtob M., Durso J.W., Riska D.O. Nucl.Phys., 1972, B38, p.141.
- Hamada F., Johnston J.D. Nucl.Phys., 1962, 34, p.382.
- Reid R.V. Ann.Phys., 1968, 50, p.411.
- Lomon E., Wilson R. Phys.Rev., 1974, C9, p.1329.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 июня 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

P4-84-427

Ефимов В.Н.
Безмодельная оценка веса $6q$ -примеси в дейтоне на основе P -матричного анализа 3S_1 -фазы NN -рассеяния

В рамках гибридной /кварк-кластерной/ модели NN -взаимодействия предложен метод определения веса $6q$ -примеси в NN -волновой функции, не требующий никаких предположений о динамике $6q$ -кластера. Метод основан на условии ортогональности волновых функций и использовании параметров P -матрицы, определяемых по экспериментальным фазам NN -рассеяния. Приведены результаты определения $6q$ -примеси в дейтоне для различных потенциалов в зависимости от радиуса $6q$ -кластера.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

P4-84-427

Efimov V.N.
Modelless Estimate of Weight of $6q$ -Admixture in Deuteron on the Basis of P -Matrix Analysis of 3S_1 -Phase of NN -Scattering

A determination of probability of six-quark component of NN -wave functions in the framework of the hybrid (quark-cluster) model of NN -states is considered. The method is based on the condition of orthogonality of wave functions without any assumption of six-quark cluster dynamics and deals with exterior NN -interactions and experimental phase shifts. The weights of six-quark configurations in deuteron for a number of exterior NN -potentials and for series of $6q$ -cluster radius are obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics; JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984