

4 - 382

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

4-93-409

Челидзе
Автандил Джабович

УДК 530.145

**ОПИСАНИЕ ФАЗ NN -РАССВЕЯНИЯ
В ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНО-БОЗОННО-ОБМЕННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УРАВНЕНИЯХ
ЛИППМАНА—ШВИНГЕРА И ЛОУ**

Специальность: 01.04.02. — Теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1993

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий Тбилисского государственного университета (г.Тбилиси) и в Лаборатории теоретической физики им.Н.Н.Боголюбова Объединённого института ядерных исследований (г.Дубна).

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук, профессор Л.А. СЛЕПЧЕНКО

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук А.А. АНДРИАНОВ
(С.-Петербургский университет),

доктор физико-математических наук, профессор Л.Н. САВУШКИН
(Государственный университет телекоммуникации, г. С.-Петербург).

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета (г.Москва)

Защита состоится " _____ " _____ 1993 г. в _____ часов на заседании специализированного Совета К.047.01.01 по адресу: 141980, г. Дубна, ЛТФ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
доктор физ.-мат. наук

А.Е. ДОРОХОВ

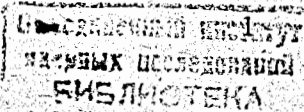
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы диссертации.

Мезонно-теоретические подходы к низкоэнергетической NN физике по-прежнему остаются единственными количественными методами. Несмотря на значительные успехи, работа в этом направлении интенсивно продолжается. Причина такого неспадающего интереса лежит в простоте таких подходов: взаимодействие между нуклонами описывается обменом всего несколькими лёгкими мезонами, а все свободные параметры имеют определённый физический смысл. Далее, хотя существование кварков мало у кого вызывает сомнение, на сегодняшний день на эксперименте наблюдаются только мезоны и барионы; с этой точки зрения механизм мезонно-обменного взаимодействия можно рассматривать как элементарный процесс. И наконец, простая и корректная мезон-нуклонная картина может послужить серьёзной проверкой для истинно элементарной кварк-глюонной динамики общепринятой фундаментальной теории сильных взаимодействий КХД в области низких энергий.

На сегодняшний день существуют несколько подходов, основанных на одно-бозонно-обменном (ОБЕ) механизме взаимодействий, которые успешно описывают экспериментальные данные как по NN -рассеянию, так и по дейтону и ядерной материи. Эти подходы, как правило, основаны на трёхмерных редукциях уравнения Бете-Солпитера и различаются друг от друга зависимостью от энергии, вне-массовым и внеэнергетическим поведением, учётом антинуклонных степеней свободы и т.д. Наиболее яркими представителями этих подходов, как показало время, являются Боннская и Вилльямсбургская (Гросса) модели. Причём существуют энергонезависимые версии Боннской модели, которые предпочтительны для задач связанных состояний и многих тел, тогда, как энергозависимые формулировки удобны для описания взаимодействий вблизи порогов рождения мезонов.

Кроме упомянутых ОБЕ формулировок также существуют т.н. "гибридные" подходы к NN -рассеянию, в которых используются мезон-нуклонные вершинные функции, вычисленные в "КХД-мотивированных" моделях, а полученная в результате ОБЕ амплитуда используется в



качестве потенциального члена в соответствующих уравнениях рассеяния.

Несмотря на несомненные успехи этих моделей, на сегодняшний день и они сталкиваются с проблемами количественного описания некоторых экспериментальных NN наблюдаемых; так что представляют интерес новые или даже альтернативные формулировки задачи, способные преодолеть эти трудности.

Уравнения типа Лоу, впервые предлагаемые для NN -рассеяния, являются трёхмерными с самого начала и позволяют в рамках ОВЕ взаимодействия получить t -матрицу рассеяния. Основная трудность при решении данных уравнений связана с их нелинейностью, и потому задача получения эквивалентных линейных уравнений (линеаризация), способы решений которых хорошо разработаны, представляется весьма актуальной.

Потенциальный член уравнений Лоу, в отличие от квазипотенциального подхода, строится при помощи только таких мезон-нуклонных вершинных функций, в которых две частицы всегда находятся на массовой поверхности. Данное обстоятельство, в частности, может сильно облегчить расчёт этого потенциала в различных "КХД-мотивированных" моделях.

Такой рецепт построения потенциала порождает ряд характерных особенностей описания взаимодействия в рамках ОВЕ модели, которые могут существенно повлиять на конечные результаты по сравнению с другими подходами.

Цели исследования.

целью настоящей работы является описание парциальных фазовых сдвигов NN -рассеяния с помощью трёхмерных уравнений ЛШ и Лоу в приближении ОВЕ взаимодействия.

Научная новизна и практическая ценность

1. Построен ОВЕ потенциал NN -рассеяния с мезон-нуклонными вершинными функциями, рассчитанными в модели конфайнированных кварков.
2. Впервые применены квадратично нелинейные уравнения типа Лоу для процесса NN -рассеяния. Проведена линеаризация

данных уравнений и получено эквивалентное линейное интегральное уравнение типа Липпмана-Швингера. Потенциал этого уравнения линейно зависит от полной энергии системы и однозначно определяется потенциалом уравнений Лоу, построенного в рамках ОВЕ взаимодействий.

3. Показано, что рецепт построения потенциала позволяет для каждой из входящих в вершины частиц отделять немассовые эффекты, которые в разных ОВЕ подходах либо вообще не учитываются, либо учитываются лишь частичным образом.
4. В случае обмена псевдоскалярными частицами выделен вклад псевдовекторной связи во взаимодействие, что позволяет уменьшить число свободных параметров по отношению с Вилльямсбургской модели.
5. Исследован вклад контактного взаимодействия четырёх нуклонов в потенциал уравнения Лоу, который характерен только для данной ОВЕ формулировки NN -взаимодействия.
6. Для построения вершинных функций с одним нуклоном вне массовой поверхности предложен и при практических вычислениях апробирован новый вид феноменологических формфакторов, зависящих от четырёх-импульса немассового нуклона.

Апробация работы

Результаты неоднократно докладывались на семинарах Института Физики Высоких Энергий Тбилисского гос. Университета, а также на теоретических семинарах ЛТФ ОИЯИ, на IX международном семинаре по проблемам физики высоких энергий "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика" (Дубна, 1988), на III международном симпозиуме " πN и NN взаимодействия" (Гатчина, 1989), на совещании по взаимодействию мезонов с лёгкими ядрами при промежуточных энергиях (Дубна, 1990).

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 6 печатных работах.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трёх глав, приложения и заключения общим объемом 81 страниц, включая 13 рисунков, две таблицы и список цитированной литературы из 68 названий.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сделан обзор подходов к описанию нуклон-нуклонного взаимодействия, обозначена актуальность ОВЕ формулировок задачи и дана краткая характеристика таких моделей с указанием соответствующей литературы. Приведено содержание по главам.

В §1 **первой главы** кратко сформулированы основные положения модели конфайнированных кварков. В §2 обсуждается построение кварк-дикварковой аппроксимации трёхкварковой структуры нуклона в случае различного выбора формы трёхкварковых нуклонных токов. В §3 в случае тензорной формы нуклонных токов рассчитаны формфакторы G_{MNN} мезон-нуклонных вершинных функций ($M = \pi, \rho, \omega, \sigma, \eta, \eta', \delta$), входящие в ОВЕ потенциал. С помощью решения интегрального уравнения ЛШ получены парциальные фазы NN-рассеяния, и приведено сравнение с экспериментом и результатами Боннской модели. Существенно, что вид функций конфайнмента и свободные параметры модели, выбирались такими же, как и в случае мезонных взаимодействий. Параметр, характеризующий область конфайнмента дикварка, подбирался из требования наилучшего согласия с экспериментом магнитных моментов μ_N , среднеквадратичных радиусов $\langle r_N^2 \rangle^{E,M}$ нуклона и пион-нуклонной константы взаимодействия $G_{\pi NN}(0)$. И только один свободный параметр, характеризующий угол смешивания странного и нестранного кваркового содержания σ -мезона, определялся из условия наилучшего описания NN-фазовых сдвигов.

Во второй главе рассмотрено получение эквивалентных линейных уравнений ЛШ для теоретико-полевых нелинейных уравнений

типа Лоу.

В §1 этой главы даётся краткий вывод уравнения типа Лоу

$$t = W + tG_0t^+$$

для t -матрицы NN-рассеяния, используя технику, основанную на асимптотическом условии для операторов рождения и уничтожения нуклонов. Полученное трёхмерное уравнение квадратично нелинейно, а его неэрмитовый потенциал состоит из двух частей

$$W = Y + V,$$

где

$$Y = \langle \mathbf{p}' | \{J(0), b^+(0)\} | \mathbf{p} \rangle \quad (1)$$

так называемый чайкообразный член, а $J_{\mathbf{p},s}(x)$ - нуклонный ток. Оператор рождения, определённый как

$$b_{\mathbf{p},s}^+(x^0) = \int d^3x \bar{\Psi}(x) \gamma^0 U_{\mathbf{p},s}(x),$$

слабо сходится к $b_{out}^+(\mathbf{p}, s)$ и $b_m^+(\mathbf{p}, s)$ при $x^0 \rightarrow \pm\infty$.

Второе слагаемое V потенциала W является мезонно-обменной частью:

$$\begin{aligned} & \langle \mathbf{p}'_1 \mathbf{p}'_2 | V | \mathbf{p}_1 \mathbf{p}_2 \rangle = \quad (2) \\ & \sum_{m=\pi, \rho, \dots} \langle \mathbf{p}'_1 | \bar{J}_{\mathbf{p}_1}(0) | m \rangle \frac{\delta^{(3)}(\mathbf{p}'_1 - \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_m)}{E_{p'_1} - E_{p_1} - E_m} \langle m | J_{\mathbf{p}_2}(0) | \mathbf{p}_2 \rangle - \\ & \sum_{m=\pi, \rho, \dots} \langle 0 | J_{\mathbf{p}'_2}(0) | \mathbf{p}_2, m \rangle \frac{\delta^{(3)}(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}'_1 - \mathbf{p}_m)}{E_{p_1} - E_{p'_1} - E_m} \langle m, \mathbf{p}'_1 | \bar{J}_{\mathbf{p}_1}(0) | 0 \rangle \end{aligned}$$

где $E(\mathbf{p}) = \sqrt{M^2 + \mathbf{p}^2}$ - энергия нуклона на массовой поверхности. Показано, что потенциал можно представить в виде $W = A + E'B$, где A и B эрмитовы матрицы.

В §2 показано, что решение уравнения ЛШ с линейно зависящим от энергии эрмитовым потенциалом $U(E) = A + EB$ удовлетворяет

уравнению Лоу с неэрмитовым потенциалом W , причём A и B однозначно определяются потенциалами $Y(1)$ и $V(2)$.

В третьей главе дано построение потенциала уравнения Лоу в ОВЕ приближении на основе простейших феноменологических лагранжианов взаимодействия и приведены численные результаты для фазовых сдвигов и поляризационных характеристик нуклон-нуклонного рассеяния.

В §1 исходя из простейших лагранжианов взаимодействия нуклонов с π , ρ , ω и σ мезонами рассчитан потенциал $Y(1)$. Показано, что его можно представить в виде суммы двух слагаемых: $Y = Y_1 + Y_2$, причём Y_1 соответствует обычно используемому ОВЕ потенциалу, а Y_2 не имеет соответствующего ОВЕ аналога и описывает четырёх нуклонное контактное взаимодействие. В Y_1 члене выделен вклад псевдовекторного взаимодействия, существенного при учёте антинуклонных степеней свободы.

В §2 получен потенциал $V(2)$ на основе тех же лагранжианов взаимодействия, с учётом лишь одномезонно-обменных вкладов. С целью учёта одевания мезон-нуклонных вершин введены новые феноменологические формфакторы, зависящие от четырёх-импульса немассового нуклона.

В §3 кратко изложен метод численного решения уравнения ЛШ. Приведены результаты расчёта фазовых сдвигов NN-рассеяния до $E_{\text{ЛАБ}}=325$ МэВ. Обсуждены относительные вклады от эффектов запаздывания, немассовости нуклона, контактного слагаемого и обмена реальными векторными мезонами.

В §4 рассчитаны поляризационные характеристики при энергиях $E_{\text{ЛАБ}}=25, 50, 150$ и 250 МэВ. Дано сравнение с соответствующими результатами, полученными на основе других фазовых анализов.

В заключении кратко изложены основные выводы и результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Рассчитаны фазы NN-рассеяния с помощью решения релятивистского уравнения ЛШ с ОВЕ потенциалом, при построении которого использовались мезон-нуклонные вершинные функции, полученные в рамках модели конфайнированных кварков.
2. Предложено линейное интегральное уравнение ЛШ, эквивалентное квадратично нелинейному уравнению типа Лоу для процесса NN-рассеяния. Потенциал данного уравнения линейно зависит от полной энергии системы и однозначно определяется потенциалом уравнений Лоу, построенного в рамках ОВЕ взаимодействий.
3. В потенциале уравнения Лоу для каждой из входящих в вершины частиц учтены немассовые эффекты, которые в разных ОВЕ подходах либо вообще не учитываются, либо учитываются лишь частичным образом. В случае обмена псевдоскалярными частицами выделен вклад псевдовекторной связи во взаимодействие, что позволило уменьшить число свободных параметров по сравнению с Вильямсбургской моделью Гросса.
4. Для построения вершинных функций с одним нуклоном немассовой поверхности предложен и при практических вычислениях апробирован новый вид феноменологических обрезающих формфакторов, зависящих от четырёх-импульса немассового нуклона.
5. Показано, что контактное взаимодействие четырёх нуклонов, характерное для данной ОВЕ формулировки, вносит существенный вклад в фазы NN-рассеяния.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Мачавариани А.И., Челидзе А. Дж., *Задача NN-рассеяния в рамках уравнения Лоу Труды Тбилисского Университета*, 275, *Физика*, (Тбилиси,1987), с.99-114
2. Г.В.Ефимов, М.А.Иванов, В.Е.Любовицкий, А.И.Мачавариани, А.Дж.Челидзе, *Микроскопическое описание фаз NN-рассеяния с учётом кварковой структуры адронов*. Д1,2-88-652 *Труды IX международного семинара по проблемам физики высоких энергий "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика"* (Дубна,1988), с.168-178.
3. A.J.Chelidze, G.V.Efimov, M.A.Ivanov, V.E.Lyubovitsky, A.G.Rusetsky, *A role of the quark structure in the discription of the S-wave πN -scattering lengths and NN phase shifts. Proceedings of the third international symposium " πN and NN physics"* (Gatchina, 1989), p.255-262
4. A.I.Machavariani and A.J.Chelidze, *On the field theoretical approach to the nucleon-nucleon scattering problem in the low energy region*. *J.Phys.*, 1993, G9, p.1285-2203;
5. Chelidze A. J., Slepchenko L.A., *Realistic NN potential for the Low approach*. JINR preprint E2-93-357, submitted to *Z.für Phys.*
6. Мачавариани А.И., Челидзе А. Дж., *Об учёте обмена реальными ω и ρ -мезонами в низкоэнергетическом NN рассеянии*. *ЯФ*, 1994, N.2.

Рукопись поступила в издательский отдел

11 ноября 1993 года.