

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

C346
Б-125

В.В. Бабилов

2147

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1965

В.В. Бабиков

2147

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

2718 89.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Ввиду отсутствия вплоть до настоящего времени последовательной динамической теории сильных взаимодействий большую роль в понимании ядерных явлений играют различные феноменологические модели. В задачах нуклон-нуклонного рассеяния и структуры атомного ядра наибольшего развития и успеха достигла потенциальная модель ядерных взаимодействий.

В то же время все попытки обосновать известные феноменологические NN потенциалы в рамках полевой теории взаимодействия π -мезонов с нуклонами оказались безуспешными. Хотя роль пионов в дальнедействующей части ядерных сил была установлена давно, не удавалось достаточно удовлетворительно описать внутреннюю ($r \leq 1,5f$) область ядерного потенциала, характеризующуюся сильным отталкиванием на малых расстояниях и заметной спин-орбитальной связью.

Открытие (начиная с 1961 года) большого числа тяжелых ядерно-активных мезонов (пионных резонансов) позволило по-новому взглянуть на всю проблему ядерных взаимодействий. Стало очевидным, что нельзя надеяться объяснить ядерные силы, не учитывая специфический характер $\pi\pi$ -взаимодействия, приводящего к появлению резонансных состояний в системе двух или более π -мезонов. Естественно думать, что в процессе соударения нуклонов происходит обмен между ними не отдельными пионами, а целыми группами - резонансами. Это находится также в согласии с основанной на успехе моделей высших симметрий (SU_3, SU_6) точкой зрения на тяжелые мезоны, как элементарные частицы, наравне с π -мезоном и нуклоном. Действительно, уже в первых работах^{1,2/}, опирающихся на такие представления, были получены обнадеживающие результаты интерпретации феноменологических NN потенциалов.

Глава 1 диссертации посвящена исследованию мезонной модели нуклон-нуклонного потенциала.

В § 1 потенциал определяется, как фурье-образ нерелятивистского предела амплитуды упругого NN рассеяния, отвечающей обмену одним мезоном. При этом отдача, т.е. все степени отношения массы мезона к массе нуклона μ/m_N , учитывается точно, а релятивистские поправки учитываются в \vec{p}^2/m^2 приближении. Потенциал оказывается тогда локальным, зависящим от скорости и имеющим вполне определенную спиновую структуру. Решение уравнения Шредингера с таким потенциалом дает искомое приближение к точной амплитуде рассеяния. Это означает, что из бесконечной совокупности

всех диаграмм упругого NN рассеяния выделяется бесконечная последовательность диаграмм лестничного типа, обеспечивающая выполнение всех инвариантных свойств амплитуды и условия унитарности.

Анализ запрета по G-четности показывает, что вклад в так определенный потенциал могут давать все известные в настоящее время ^{/3/} нестранные мезоны, кроме псевдотензорного A_1 , псевдоскалярного $\bar{K}K$ и тензорного (при $I^G = 1^+$) B -мезонов.

В § 2 рассматривается обмен скалярным ($J^P = 0^+$), псевдоскалярным ($J^P = 0^-$), векторным ($J^P = 1^-$), псевдовекторным ($J^P = 1^+$), тензорным ($J^P = 2^+$) и псевдотензорным ($J^P = 2^-$) мезонами ^{/4/}. Определенные ограничения на вид связи мезонного и нуклонного полей следуют из требования инвариантности лагранжиана взаимодействия относительно слабого обращения времени. В результате полученные NN потенциалы отвечают для скалярного мезона - скалярной связи, для псевдоскалярного - эквивалентным в полюсном приближении ps и pv связям, для векторного - vt и интерференционной vt связям, для псевдовекторного - либо pv , либо pt связи, для тензорного vg , tg и $vg - tg$ связям, для псевдотензорного - либо pvg , либо ptg связи. Результаты расчета для случаев обмена s , ps и v мезонами находятся в согласии с результатами работы ^{/5/}, где использовалась техника амплитуд Якоба-Вика.

В § 3 потенциальная (ОВЕР) модель сравнивается с другими мезонными моделями NN взаимодействий ^{/6,7/}. Будучи основанными на одинаковых физических предположениях о преобладающей роли полюсных вкладов, эти модели различаются способом унитаризации амплитуды одномезонного обмена. Несмотря на релятивистскую ковариантность выражений в модели ОВЕС (one-boson-exchange contribution) ^{/8/} и релятивистских дисперсионных соотношениях, преимуществом ОВЕР является возможность выхода за массовую поверхность и, следовательно, описания ядерных взаимодействий одновременно в двухнуклонной системе и в ядре. Все эти модели успешно описывают упругое NN рассеяние при соответствующем выборе параметров, которыми являются константы связи мезонов с нуклонами.

Сравнение значений констант связи, полученных в различных моделях, показывает, что в модели ОВЕР константы связи нейтральных векторных мезонов несколько завышены ^{/9,10/}, что можно объяснить неучетом релятивистских поправок.

В § 4 показывается, что простейшая модель ОВЕР, в которой кроме пиона принимаются во внимание гипотетический нейтральный скалярный s -мезон и два векторных ω, ρ -мезона, позволяет получить ^{/2/} хорошее качественное согласие с чисто феноменологическим потенциалом Хамады-Джонстона (Х-Д) ^{/8/}. Получены значения параметров: $\mu_s = 2.5\mu_\pi$, $g_s^2 = 1.2$, $g_\omega^2 = 12$, $f_\omega^2 = f_\rho^2 = 2.2$, $g_\rho^2 = 2.0$ ($g_\omega f_\omega > 0$, $g_\rho f_\rho > 0$).

Более подробный анализ (§ 5) показывает, что учет большего числа мезонов приводит к потенциалу, удовлетворительно описывающему экспериментальные данные по синглетным 1S_0 , 1D_2 , 1P_1 , 1F_3 и несмешивающимся триплетным 3P_0 , 3P_1 , 3D_2 фазам упругого NN рассеяния^{/9/}. Существенным является то, что удается описать потенциалом с мягкой отталкивательной сердцевинной NN рассеяние одновременно в области низких энергий, где применимо приближение эффективного радиуса, и в области высоких энергий. Это находится в согласии с фактом отсутствия твердого ядра, установленным в экспериментах по рассеянию быстрых электронов на нуклонах. Полученные в §§ 4, 5 значения констант связи следует считать предварительными.

Большая вычислительная работа, связанная с расчетами сдвигов фаз, потребовала внимательного отношения к выбору наиболее удобного алгоритма вычислений. Использовался метод фазовых функций (м.ф.ф.), развитый для случая рассеяния на вещественном центральном потенциале^{/11,12/}. Этот метод очень удобен как для точных численных расчетов, так и для получения различных приближений и исследования аналитических свойств амплитуды рассеяния.

Вторая глава посвящена развитию и приложению м.ф.ф. к задачам нуклон-нуклонного и нуклон-ядерного рассеяний^{/13/}.

В § 6 получены уравнения для вычисления при наличии нецентральных тензорных сил фаз рассеяния и параметра смешивания в смешивающихся ($L = J \mp 1$) триплетных состояниях^{/14,15/}. Рассматриваются представления Мак Хейла-Тэлера, Блатта-Биденхарна и Стаппа-Брейта. Решение уравнений в последнем представлении иллюстрируется примером расчета фаз и параметра смешивания при рассеянии в $^3P_2 + ^3F_2$ состоянии с потенциалом X-D^{/8/}.

В § 7 м.ф.ф. прилагается к теории потенциального рассеяния при низких энергиях^{/16,14,17/}. Получены уравнения, позволяющие вычислять основные коэффициенты низкоэнергетического разложения фазы рассеяния, как в случае короткодействующего ядерного потенциала ($p-r$ рассеяние), так и при наличии длиннодействующего кулоновского потенциала ($p-r$ рассеяние). Уравнения регуляризуются, если возможно появление связанного состояния.

Специальный интерес в двухнуклонной задаче представляет рассмотрение низкоэнергетического 1S_0 рассеяния, ибо в терминах длины рассеяния, эффективного радиуса и параметра формы анализируются обычно такие важные характеристики ядерных сил, как зарядовая независимость и жесткость отталкивательной сердцевины. В § 8 получены простые уравнения, позволяющие вычислять эти параметры точным образом, как для $p-r$ так и $r-r$ рассеяния^{/14,17/}. Конкретные расчеты, проведенные для нескольких NN потенциалов с жесткой и мягкой сердцевиной, демонстрируют, с одной

стороны, преимущества данного метода вычислений, а с другой - небольшую зарядовую зависимость для обоих типов потенциала.

В § 9 развивается теория эффективного радиуса^{/14,15/} с точным учетом тензорных сил в 3S_1 рассеяния нейтрона на протоне. Учитывается существование реального связанного состояния (дейтон). Полученная система уравнений позволяет вычислять триплетные длину рассеяния и эффективный радиус. Конкретные расчеты^{/17/} проведены для двух NN потенциалов с твердой отталкивательной сердцевиной.

В § 10 м.ф.ф. обобщается на случай комплексного потенциала^{/18/}. Вычисления с комплексным потенциалом возникают в задачах, когда наряду с каналом упругого рассеяния имеются каналы неупругого рассеяния или поглощения. Это имеет место, например, в оптических моделях рассеяния нуклонов на ядре и нуклон-нуклонного рассеяния при энергиях выше порога мезонообразования. Обсуждаются преимущества нового метода вычисления сечений перед стандартными методами и приводится пример конкретного расчета полного сечения взаимодействия нейтрона определенной энергии со всеми ядрами периодической таблицы.

Третья глава диссертации содержит приложение двухнуклонного потенциала, полученного в первой главе, к исследованию многонуклонной системы.

Расчетам свойств ядерного вещества на основе парного нуклон-нуклонного потенциала посвящено большое число работ, использующих, как правило, метод Бракнера. Использование феноменологических NN потенциалов с твердым ядром очень сильно усложняет математический аппарат теории и не позволяет непосредственным образом использовать приближение Хартри-Фока (Х-Ф) в ядре. С другой стороны, успех модели оболочек показывает, что одночастичный аспект является преобладающим при рассмотрении многих свойств ядра.

Мезонная модель ядерных сил, приводящая естественным образом к мягкой отталкивательной сердцевине и зависимости NN потенциала от импульса, дает возможность получить устойчивое основное состояние ядерной материи в первом приближении метода Х-Ф (§ 11). Это согласуется с выводом, сделанным в работе^{/19/}, об улучшении сходимости ряда теории возмущений в ядре для NN потенциала с мягкой сердцевиной.

В § 12 в предположениях парного взаимодействия и применимости метода Х-Ф получаются некоторые ограничения^{/2/} на параметры ОВЕР, следующие из данных значений энергии связи (18 Мэв/нуклон) и равновесной плотности ($\rho_0 = 1,07 \text{ ф}$) ядерной материи. Эти ограничения имеют вид правил сумм для мезонных констант связи. Ввиду существующей в настоящее время неопределенности в значениях констант эти критерии должны рассматриваться как рецепт при дальнейших уточнениях параметров NN потенциала.

В § 13 дополнительные критерии, также имеющие вид правил сумм для констант связи, получаются из рассмотрения в приближении X-Ф энергии связи конечного ядра. Используются известные значения коэффициентов поверхностной энергии, энергии симметрии и энергии спаривания в полуэмпирической формуле Вайцзеккера. Полученные ограничения являются весьма приближенными ввиду сделанных упрощений. В частности, предполагалось, что ядро имеет резкий край, и расчет велся в квазиклассическом приближении Томаса-Ферми (Т-Ф). Тем не менее полученные оценки могут также оказаться полезными при дальнейших уточнениях параметров^{/2/}.

В последнем разделе (§ 14) путем численного интегрирования исследовалась представляющая методический интерес задача. Решалась система двух связанных нелинейных уравнений типа Томаса-Ферми для мезонных потенциалов в ядре. Было показано, как и ожидалось, что при чисто статических потенциалах эта система не имеет физических решений. Однако такие решения, по-видимому, существуют, если учесть зависимость интенсивности мезонных потенциалов от скорости нуклонов. На это указывают результаты работы^{/20/}, где использовался хотя и нереальный NN потенциал, но имеющий сильную зависимость от импульса нуклонов.

Для удобства изложения часть материала диссертации вынесена в Приложения. Приложение А содержит формулы для центральных, спин-спиновых, тензорных, спин-орбитальных и спин-импульсных членов NN потенциалов, отвечающих обмену мезонами различной симметрии. В приложении Б вынесены уравнения для вычисления фазовых функций и параметра смешивания в представлении Блатта-Биденхарна. Приложение В содержит некоторые следы, используемые при вычислении прямого и обменного самосогласованных потенциалов.

Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на IV Всесоюзной межвузовской конференции по теории элементарных частиц (Ужгород, ноябрь 1962 г.), на XII Международной конференции по физике высоких энергий (Дубна, август 1964 г.), на Международном совещании по математическим методам решения задач ядерной физики (Дубна, ноябрь 1964 г.), на Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии (Минск, январь 1965 г.) и опубликованы в работах^{/2,4,9,13-15, 17,18/}.

Л и т е р а т у р а

1. N.Hoshizaki, S.Otsuki, W.Watari and M.Yonezawa. Prog. Theor. Phys. **27**, 1199 (1962)
2. V.V.Babikov. Prog. Theor. Phys. **29**, 712 (1963).
3. Труды XII Межд. конф. по физике высоких энергий. Дубна, август, 1964 г.
4. В.В.Бабиков. Препринт ОИЯИ Р-2048, Дубна (1965).
5. D.Y.Wong. Nucl. Phys. **55**, 212 (1964).

6. S.Sawada, T.Ueda, W.Watari and M.Yonezawa. *Prog.Theor. Phys.*, 32, 380 (1964).
7. A.Scotti and D.Y.Wong. *Phys.Rev.Lett.*, 10, 142 (1963).
8. T.Namada and I.D.Johnston. *Nucl.Phys.* 34, 382 (1962).
9. В.В.Бабилов, И.Быстрицкий, Ф.Легар, Доклад на XII Межд. конф. по физике высоких энергий. Дубна, август 1964 г.
10. R.A.Bryan and B.L.Scott. *Phys.Rev.* 135, B434 (1964).
11. Г.Ф.Друкарев. *ЖЭТФ*, 19, 247 (1949).
12. F.Calogero. *Nuovo Cimento* 27, 261 (1963).
13. В.В. Бабилов. Материалы совещания по математическим методам решения задач ядерной физики, Дубна, 1964 г.
14. В.В.Бабилов. Препринт ОИЯИ Р-1728, Дубна (1964).
15. В.В.Бабилов. *Ядерная физика*, 1, 360 (1965).
16. B.R.Levy and J.V.Keller, *J.Math. Phys.* 4, 54 (1963).
17. В.В.Бабилов. *Ядерная физика* 1, 793 (1965).
18. В.В.Бабилов. Препринт ОИЯИ Р-1795, Дубна (1964).
19. F.Tabakin. *Ann. of Phys.* 30, 51 (1964).
20. R.G.Seyler and C.H.Blanchard. *Phys.Rev.*, 131, 355 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 апреля 1965 г.