

И-788

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

4 - 9403

ИРГАЗИЕВ
Бахадир Файзуллаевич

МЕТОД ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ГАМИЛЬТониАНОВ
В ТЕОРИИ МАЛОНУКЛОННЫХ СИСТЕМ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

4 - 9403

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук В.Б.Беляев.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Б.Н.Захарьев,
кандидат физико-математических наук Л.Д.Блохинцев.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической физики АН УССР, Киев.

Автореферат разослан " " 1976 г.
Защита диссертации состоится " " 1976 г.
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики, Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р.А.АСАНОВ

ИРГАЗИЕВ

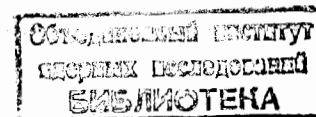
Бахадир Файзуллаевич

МЕТОД ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ГАМИЛЬТониАНОВ
В ТЕОРИИ МАЛОНУКЛОННЫХ СИСТЕМ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Основная трудность задач ядерной физики обусловлена необходимостью учета в многочастичной системе взаимодействия большого числа частиц. Ситуация еще более усложняется, если взаимодействие между частицами имеет вид одного из реалистических потенциалов. В этом случае точная волновая функция системы становится многокомпонентной, с компонентами, соответствующими различным значениям полного орбитального момента, спина и всем возможным неприводимым представлениям группы перестановок. С появлением уравнений Фаддеева^{/1/} начался новый этап в изучении свойств трехтельных систем, были разработаны различные подходы к решению трехтельных уравнений. Это дало возможность по-новому подойти к решению ряда физических задач ядерной физики, учесть большее число степеней свободы системы. Поскольку решаемые уравнения являются в общем случае многомерными, то актуальным представляется разработка методов их решения.

Настоящая диссертация посвящена развитию метода промежуточных гамильтонианов^{/2/}, когда в качестве промежуточных функций для сепарабельного разложения потенциала выбираются плоские волны, а также практическому их применению для исследования физических проблем: задача двух тел /в нерелятивистской и релятивистской формулировках/, движение частицы в аксиально-симметричном потенциале, вычисление вершинных констант связи $C_{T \rightarrow d_n}$ и амплитуд двухнуклонного обмена в 4-нуклонной системе, расчет нижней границы энергии связи основного состояния ^4He и, наконец, исследование некоторых свойств ядерной материи. Данный метод известен также под названием метода Бейтмана^{/3/}.

В первом параграфе главы I обсуждается метод замены точного потенциала приближенным оператором конечного ранга, причем приближенный потенциал имеет сепарабельный вид:

$$V \rightarrow V^N = \sum_{i,j=1}^N V | \chi_i \rangle [d^{-1}]_{ij} \langle \chi_j | V, \quad /1/$$

$$d_{ij} = \langle \chi_i | V | \chi_j \rangle, \quad /2/$$

χ_i - промежуточные функции.

Подбирая различные промежуточные функции χ_i , можно получить большинство известных сепарабельных представлений для двухчастичной t -матрицы. Отметим, что приближенная волновая функция, найденная с потенциалом /1/, будет иметь правильную асимптотику, т.к. свободная функция Грина учитывается точно.

Второй параграф посвящен методу Бейтмана и его использованию в решении одномерных интегральных уравнений движения в импульсном представлении^{/4/}. Фурье-образ потенциала имеет вид:

$$V_\ell(k, k') = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty j_\ell(kr) V(r) j_\ell(k'r) r^2 dr. \quad /3/$$

Если в качестве промежуточных функций выбрать сферические функции Бесселя, то для приближенного потенциала /1/ получим выражение:

$$V_\ell^N(k, k') = \sum_{i,j=1}^N V_\ell(k, s_i) [d_\ell^{-1}]_{ij} V_\ell(s_j, k'), \quad /4/$$

где

$$(d_\ell)_{ij} = V_\ell(s_i, s_j), \quad /5/$$

s_i - бейтмановские разрезы.

Из выражения /4/ видно, что когда один из аргументов k или k' равен s_i , то приближенный потенциал равен точному значению. С учетом свойства сепарабельного разложения потенциала при решении уравнения

Липпмана-Швингера для t -матрицы и уравнений Фаддеева, один из бейтмановских разрезов был заменен значением энергии системы z . Такой подход уменьшает количество параметров, что крайне желательно при решении уравнений Фаддеева со сложными реалистическими потенциалами. Расчеты производились с потенциалами экспоненциальной формы и Даревича-Грина^{/5/} /ДГ/. Потенциал ДГ хорошо описывает S -фазы нуклон-нуклонного рассеяния в широком интервале энергий /0-400 МэВ/. Действительно, результаты показали, что введение одного "плавающего" параметра сепарализации потенциала позволяет уменьшить число членов сепарабельного разложения без потери точности вычисления физических характеристик.

В третьем параграфе иллюстрируется применимость метода Бейтмана для решения квазипотенциального уравнения Кадышевского^{/6/}.

В импульсном представлении вид уравнения Кадышевского аналогичен уравнению Липпмана-Швингера, что позволило с успехом использовать метод Бейтмана для решения релятивистской задачи взаимодействия двух частиц. Как показывают результаты расчетов с короткодействующими квазипотенциалами /в данной работе были рассмотрены релятивистский потенциал Юкавы и их совокупность/ получают вполне приемлемые физические результаты и быстрая сходимость по фазе рассеяния ($\ell=0,1$) и по энергии связи дейтрона с увеличением числа членов сепарабельного разложения /1/. При нахождении волновой функции связанного состояния в координатном представлении численно произведено (с использованием функции Шапиро^{/6/}) преобразование от импульсного представления. Физические следствия, вытекающие отсюда, указывают на важность релятивистских поправок при решении многочастичных задач, а также тогда, когда потенциал взаимодействия содержит отталкивающий кор на малых расстояниях.

В главе II рассматривается обобщение метода Бейтмана для решения многомерных задач^{/7,8/}, таких как: нуклон-нуклонное рассеяние при высоких энергиях, движение бесспиновой частицы в аксиально-симметричном потенциале с произвольным значением деформации.

В первом параграфе на примере нуклон-нуклонного рассеяния при промежуточных и высоких энергиях изучается применимость метода Бейтмана для решения трехмерного уравнения Липпмана-Швингера. В качестве потенциала использовался потенциал Гаусса. Если задачу нуклон-нуклонного рассеяния решать обычной процедурой разложения волновой функции или t -матрицы по парциальным волнам, то ясно, что при высоких энергиях рассеяния необходимо учитывать очень большое число парциальных компонент, поэтому надо решать систему одномерных уравнений большого порядка. Процедура многомерной сепарабелизации потенциала позволяет легко найти решение задачи в квадратурах и пригодна для анализа рассеяния при промежуточных и высоких энергиях. Поскольку с приближенным потенциалом решается точное уравнение, то найденная амплитуда будет обладать унитарностью, содержать полюс, отвечающий связанному состоянию двух нуклонов, в отличие от эйконального приближения, которое также хорошо описывает рассеяние при высоких энергиях и малых углах рассеяния. Анализ результатов указывает на быструю сходимость по амплитуде рассеяния, причем небольшое варьирование бейтмановских разрезов сепарабелизации потенциала \vec{a}_i не сильно меняет величины амплитуды рассеяния.

Исследованию вопроса движения частицы в нецентральном потенциале посвящен второй параграф. Конкретно проведен расчет задачи движения бесспиновой частицы в аксиально-симметричном потенциале гауссовской формы при произвольных значениях деформации. Устанавливается сходимость для приближенной амплитуды рассеяния в широкой области изменения кинематических переменных. Как и следовало ожидать, с появлением деформации вырождение по проекции орбитального момента снимается, и соответствующие уровни энергии расщепляются.

В главе III проведен расчет вершинных констант связи $(T d n)$ и $(T d^* n) / d^*$ - синглетный дейтрон / для локальных потенциалов Бресселя-Кермана-Рубена / БКР /^{9/} / Малфлиета-Тьона / МТ /^{10/} и ДГ /^{5/} на основе аналитичес-

кого продолжения решений уравнений Фаддеева для функций $U(q, Q)$ и $V(q, Q)$ на нефизическую область значений $Q^2 < 0$ /^{11,12/}

Вершинная константа G^2 играет важную роль в теории прямых ядерных реакций, использующих формализм диаграмм Фейнмана, и имеет простую связь с коэффициентом в асимптотике радиальной части волновой функции.

В первом параграфе дается краткий перечень способов извлечения значения вершинной константы $(T d n)$ из экспериментов. Результаты группируются вблизи значения $G_{T d n}^2 = 1,1$ Фм. Далее дается определение константы связи как величины амплитуды виртуального распада / синтеза / ядра $A (A \rightarrow B + a)$, взятой на массовой поверхности для всех трех частиц.

Во втором параграфе показывается, что константа G_λ может быть также найдена из вычисленной функции $U_\lambda(q, Q)$ путем экстраполяции к полюсу при $Q^2 = -\kappa_\lambda^2 / \lambda = t$ соответствует реальному дейтрону, $\lambda = s$ - синглетному дейтрону/. Далее делается вывод конечной формулы для расчета констант, которая получена в полуаналитическом виде.

Анализируется вопрос о способе вычисления t -матрицы на нефизическом листе по энергии, необходимость чего связана с нахождением константы $(T d^* n)$. Показывается, что метод Бейтмана довольно просто позволяет численно продолжить t -матрицу на нефизический лист. Устанавливается, что применение полиномиальной экстраполяции функции $G_T(q, Q)$ к полюсу $Q^2 = -\kappa_t^2$ может приводить к завышенным значениям константы $G_{T d n}^2$. Обнаружена чувствительность констант к форме потенциала. Результаты расчетов указывают на то, что наиболее близкая к экспериментальному значению константа $G_{T d n}^2$ получается с потенциалом БКР / $G_{T d n}^2 = 1,03$ Фм/, а для потенциалов МТ и ДГ она более завышена /соответственно 1,6 Фм, 1,4 Фм/.

Обсуждение механизма двухнуклонного обмена в реакциях нуклона с трехнуклонным ядром проведено в третьем параграфе. Результаты расчета амплитуд указывают на важную роль корневого разреза по энергии по срав-

нению с полюсом в случае синглетной амплитуды пр - рассеяния.

В главе IV рассматривается применение двух- и трехчастичных моделей при изучении основного состояния ядер /13,14/.

Во втором параграфе проведено обобщение метода Поста и Холла /15/ для оценки снизу энергии связи основного состояния многочастичного ядра, задача многих тел сводится при этом к проблеме трех частиц. Надо сказать, что расчет нижней границы энергии связи представляет собой более сложную задачу по сравнению с определением верхней границы /для расчета верхней границы можно использовать хорошо известные вариационные процедуры/. Проведенный расчет нижней границы энергии связи для ${}^4\text{He}$ с потенциалами МТ и ДГ указывает на улучшение согласия с экспериментальным значением $E_{\text{эксп}}({}^4\text{He}) = 28,2 \text{ МэВ}$, а теоретические расчеты дают соответственно для потенциалов МТ и ДГ $E_{\text{теор}}({}^4\text{He}) = 34,3 \text{ МэВ}$ и $39,4 \text{ МэВ}$. Кроме того, прослеживаемая сильная зависимость результатов от формы потенциала указывает на дополнительный критерий при отборе феноменологических потенциалов.

В третьем параграфе изучаются некоторые свойства ядерной материи. На основе уравнения Бете-Голдстоуна /16/ и модели независимых трех нуклонов /17/ решены задачи о связанных состояниях двух и трех нуклонов в ядерной материи, определена также средняя энергия, приходящаяся на нуклон, как функция плотности для потенциалов МТ и ДГ. Следует отметить, что при решении задач методом Бейтмана в импульсном представлении не возникает трудности учета оператора Паули Q. Физические следствия решений следующие: свойства связанной пары и тритона в ядерной материи отличаются от свойств в свободном состоянии, возможно существование дейтрона в синглетном спиновом состоянии, более вероятно существование кластеров на "периферии" ядра. Расчеты энергии на нуклон показывают, что потенциалы МТ и ДГ приводят к насыщению при больших значениях плотности $/k_F \approx 2,0 \text{ Фм}^{-1}/$. Значение E/N получается гораздо большим, чем экспериментальное значение $/E/N \approx$

$\approx 16 \text{ МэВ}/$, т.е. в этом отношении потенциалы не являются достаточно реалистическими.

Результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на семинарах ЛТФ ОИЯИ, ЛЯС НИИЯФ МГУ и на совещании по теории малонуклонных систем /г. Калинин, 1975 г./, а также опубликованы в работах /4,7,8,11-14/.

Литература

1. Л.Д.Фаддеев. ЖЭТФ, 39, 1459 /1960/.
2. N.W.Bazley, D.W.Fox. Phys.Rev., 124, 483 (1961).
3. В.Б.Беляев, Е.Вжеционко. Сообщение ОИЯИ, Р4-4144, Дубна /1968/; Б.Ахмадходжаев, В.Б.Беляев, Е.Вжеционко. ЯФ, 11, 1016 /1970/.
4. В.Б.Беляев, А.Л.Зубарев, Б.Ф.Иргазиев. Сообщение ОИЯИ, Р4-6505, Дубна /1972/.
5. G.Darewych, A.Green. Phys.Rev., 164, 1324 (1967).
6. В.Г.Кадышевский, Р.М.Мир-Касимов, Н.Б.Скачков. ЭЧАЯ, т.2, вып. 3, Атомиздат, М., 1971.
7. В.Б.Беляев, Б.Ф.Иргазиев, Е.Вжеционко. ЯФ, 20, 1267 /1974/; Preprint JINR, E4-7535, Dubna (1973).
8. V.V.Belyaev, B.F.Irgaziev, J.Wrzecionko. Preprint JINR, E4-9270, Dubna (1975).
9. V.V.Belyaev, H.Schultz. Preprint JINR, E4-6353, Dubna, 1972.
10. L.A.Malfliet, I.A.Tjon. Nucl.Phys., A127, 161 (1969).
11. В.Б.Беляев, Б.Ф.Иргазиев, Ю.В.Орлов. Препринт ОИЯИ, Р4-8158, Дубна, 1974; "International Conference on Few Body Problems" in Canada (August, 1974).
12. В.Б.Беляев, Б.Ф.Иргазиев, Ю.В.Орлов. ЯФ, 23, вып. 4 /1976/.
13. В.Б.Беляев, Б.Ф.Иргазиев. Сообщение ОИЯИ, Р4-6999, Дубна, 1973.
14. Е.Б.Бальбуцев, Б.Ф.Иргазиев, Л.Майлинг, И.Н.Михайлов, И.Ржизек. Препринт ОИЯИ, Р4-9237, Дубна, 1975.
13. R.L.Hall, H.R.Post. Proc.Phys.Soc., 90, 381 (1967).
16. H.A.Bethe, V.Goldstone. Proc.Roy.Soc., 238A, 551 (1957).
17. А.Г.Сименко, В.Ф.Харченко. Препринт ИТФ-68-11, Киев, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 декабря 1975 года.