

В-23

2-80-267

ВАШАКИДЗЕ  
Шота Иванович

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БОГОЛЮБОВА  
В ЗАДАЧЕ О ЗАХВАТЕ МАССИВНОЙ ЧАСТИЦЫ  
КВАНТОВЫМ ПОЛЕМ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики

Научные руководители:

доктор физико-математических наук

В. А. Матвеев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
профессор

О. А. Хрусталев

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

М. А. Смондырев

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета, Москва.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " 1980 года.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " 1980 года на заседании специализированного совета К-047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Московская обл., г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

В. И. Журавлев

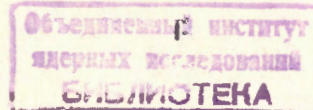
## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Развитие составных моделей элементарных частиц привело к задаче построения квантовой теории протяженных объектов с большими дефектами масс.

В одном из первых вариантов подхода к описанию адронов в терминах тяжелых кварков и антикварков <sup>/1/</sup> предполагалось, что эффективное взаимодействие почти полностью "съедает" массы образующих кварков и приводит к возникновению потенциального барьера, препятствующего вылетанию кварков из адронов. Открытие нового квантового числа-цвета, позволившее решить проблему статистики кварков <sup>/2/</sup>, открыло путь к построению теории кварк-адронных явлений на основе калибровочного принципа и понятия спонтанного нарушения симметрии. Предсказываемое этими теориями частичное или полное заключение кварков внутри адронов в значительной степени связано с разностью эффективных энергий кварков в изолированном и в связанном состояниях <sup>/3/</sup>. Это явление, образно названное в работе <sup>/4/</sup> "архимедовым эффектом", требует для своего описания развития методов теории сильной связи при учете нелинейности взаимодействия, характерной для динамики солитонов.

Последовательная теория сильной связи, строго учитывающая свойства симметрии системы, была развита в работах <sup>/5/</sup>. В основе этих работ лежит каноническое преобразование Н.Н.Боголюбова к коллективным координатам, позволяющее разделить внутренние, трансляционно-инвариантные степени свободы от движения системы как целого <sup>/6/</sup>. Введенное в работах Н.Н.Боголюбова и С.В.Тябликова по квантовой теории полярона <sup>/7/</sup>, это преобразование позволяет снять вырождение относительно группы трансляций и развить теорию возмущений по обратной константе связи. Обобщение канонических преобразований Боголюбова на случай произвольных непрерывных групп симметрии гамильтониана сделало этот метод



плодотворным средством изучения широкого круга задач в теории сильной связи <sup>7/9/</sup>. Применение этих методов к построению моделей протяженных квантовых систем с большими дефектами масс является интересной и важной задачей.

Цель работы состоит в изучении на основе метода коллективных координат Н.Н.Боголюбова особенностей явления захвата массивной частицы квантовым полем, т.е. образования коллективных локализованных состояний частицы и квантованного поля с большим дефектом массы.

#### Научная новизна и практическая ценность

Изученная в диссертации модель массивной частицы, сильно взаимодействующей с квантованным полем при соответствующем выборе параметров задачи, приводит в пределе сильной связи к эффекту компенсации большой массы частицы или, другими словами, к явлению захвата частицы квантовым полем. Этот эффект представляет собой теоретико-полевой аналог явления удержания тяжелых кварков и антикварков глубокой потенциальной ямой нерелятивистской составной кварковой модели элементарных частиц, предложенной в работе <sup>1/1/</sup>.

Как показано в диссертации, при захвате тяжелой частицы с массой  $M \sim g^2$  ( $g$  - большая константа связи) скалярным квантовым полем, возникает квазичастичное образование с локализацией  $\rho \sim 1/g$ , движущееся с малыми средними скоростями  $v \sim 1/g$ . При этом расщепление в спектре возбуждений в окрестности основного состояния системы имеет конечное значение в пределе бесконечно сильной связи.

Предложенная модель позволяет найти полное решение задачи в главном исчезающем приближении модифицированной теории возмущений. В частности, показано, что спектр возбуждений системы (в ограниченном объеме с периодическими граничными условиями) состоит из двух ветвей. Первая из них соответствует свободным стоячим волнам, вторая - связанным состояниям квантов поля, локализованным в области классической поляризации в окрестности частицы.

В диссертации развит новый метод определения эффективной массы системы, применимый при наличии слабых внешних полей, когда полный импульс системы не является интегралом движения.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Сформулирована и изучена модель сильносвязанной системы массивной частицы и квантованного скалярного поля, приводящая в пределе больших констант связи к коллективным локализованным состояниям с большим дефектом массы (явление захвата массивной частицы квантовым полем).

2. На основе метода коллективных координат Н.Н.Боголюбова найдено разложение гамильтониана системы в ряд по обратной константе связи и продемонстрирована его эрмитовость при учете якобиана преобразования от старых координат к новым.

3. В главном приближении по обратной константе связи изучен спектр возбужденных состояний системы частица-поле вблизи основного состояния. Показано наличие двух ветвей в спектре возбуждений системы, соответствующих свободным стоячим волнам, а также локализованным состояниям, отвечающим захвату квантов поля областью поляризации в окрестности частицы. Дан анализ условий полноты и ортонормированности амплитуд состояний.

4. Найден явный вид функций Грина системы на основе анализа уравнений, полученных в первом исчезающем приближении по обратной константе связи. Показано, что для элементов матрицы рассеяния, связанных со свободной частью спектра возбуждений, выполняется условие упругой унитарности.

5. Предложен новый метод определения эффективной массы системы в рамках теории возмущений по обратной константе связи, применимый при наличии слабых внешних полей, когда полный импульс системы не является интегралом движения.

#### Апробация диссертации

Основные материалы диссертации неоднократно докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, Института ядерных исследований АН СССР и Физического факультета Тбилисского государственного университета.

#### Публикации

По результатам диссертации опубликовано пять статей.

## Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Общий объем диссертации – 85 страниц, включая список литературы из 68 названий.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан краткий обзор работ по развитию метода коллективных координат Н.Н.Боголюбова, применяемого к задачам сильной связи в квантовой теории поля.

В первой главе диссертации рассмотрен метод коллективных координат Н.Н.Боголюбова для случая трансляционно инвариантной системы и построена схема теории возмущений по обратной константе связи.

В первом параграфе этой главы определен гамильтониан рассматриваемой нами системы в следующем виде ( $\hbar = c = 1$ ):

$$H = \sqrt{M^2 - \nabla^2} - g \sum e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} (b_s^+ + b_s) A_s + \frac{1}{2} \sum \omega_s (b_s^+ b_s^+ + b_s^- b_s^-)$$

и описаны его свойства симметрии. Здесь  $b_s, b_s^+$  – квантовые амплитуды, удовлетворяющие перестановочным соотношениям для дискретного спектра (предполагается, что система заключена в ограниченном объеме),  $A_s$  – форм-факторы взаимодействия,  $\omega_s$  – частоты свободного поля, а масса частицы  $M$  является величиной порядка квадрата большой константы взаимодействия  $g$ .

Рассмотренная во втором параграфе попытка найти решение нашей задачи на основе метода самосогласованного поля сталкивается с принципиальными трудностями, связанными с трансляционной инвариантностью изучаемого нами гамильтониана. Выкладки, приведенные в этом параграфе, проясняют, однако, некоторые характерные черты изучаемой нами модели и делают более прозрачным переход к описанию в терминах коллективных координат Н.Н.Боголюбова (см. § 3 первой главы).

Метод коллективных координат заключается в преобразовании к новым переменным системы, среди которых вводятся обобщенные, имеющие смысл параметров группы симметрии системы. При этом в силу инвариантности гамильтониана эти координаты оказываются

циклическими, и, следовательно, соответствующие импульсы являются сохраняющимися величинами. Таким образом, использование коллективных координат приводит к явному учету симметрии задачи.

Медицицированная теория возмущений, построенная с помощью этого метода, приводит к следующему условию захвата частицы квантовым полем:

$$M = \frac{g^2}{2} \sum \omega_s |A_s|^2$$

Во второй главе подробно изучается свойство решений нашей задачи в главном приближении медицицированной теории возмущений. Канонические переменные, введенные в первом параграфе этой главы, позволяют на единой основе описать динамику частицы и поля и приводят к существенным упрощениям в последующих выкладках. В частности, с помощью этих координат легко провести диагонализацию гамильтониана методом Боголюбова-Тябликова, которая излагается во втором параграфе. Этот метод позволяет определить спектр возбуждений вблизи основного состояния и изучить свойства амплитуд состояний. Эти вопросы рассмотрены соответственно в третьем и четвертом параграфах второй главы.

Показано, что взаимодействие приводит к частичному снятию вырождения в спектре фононного поля, и помимо свободной её части

$$\Omega_s = \omega_s$$

появляется "возмущенный" спектр  $\Omega_n$ , определяемый правилом сумм

$$\frac{g^2}{3M} \sum \frac{s^2}{\omega_s} \frac{|A_s|^2}{\Omega_n^2 - \omega_s^2} = 1.$$

В третьей главе рассмотрен метод функции Грина. В первом параграфе этой главы изучаются уравнения для функций Грина и, на основе решения этих уравнений находится их явный вид. Асимптотически свободным состояниям можно поставить в соответствие матрицу рассеяния фонона на системе, определив ее с помощью явного вида функции Грина. Во втором параграфе третьей главы найдена матрица рассеяния и показано, что она удовлетворяет условию унитарности.

В четвертой главе рассмотрены высшие поправки теории возмущений. Предложенный в первом параграфе метод определения эффективной массы системы основан на точном учете поправок к энергии системы в порядке  $1/g^2$ . Полученное значение эффективной массы системы

$$\mu_{\psi\psi} = M + \frac{g^2}{3} \sum_s \frac{S^2}{\omega_s^3} |H_s|^2$$

совпадает с результатом, полученным с помощью стандартного метода, предложенного в работе <sup>6/</sup>.

Модельный гамильтониан, построенный во втором параграфе третьей главы, поясняет сущность результатов, полученных в § I этой же главы.

Эффект компенсации большой массы кварков в скалярном поле был образно назван А.Саламом <sup>4/</sup> "архимедовым эффектом". Пользуясь этой аналогией, можно было бы сравнить результирующую инертную массу частицы, захваченной квантовым полем, с "присоединенной" инертной массой тела, движущегося в жидкости.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Преобразование Н.Н.Боголюбова в конфигурационном представлении, которое рассмотрено в Приложении I, позволяет наглядно проследить некоторые характерные черты этого метода. В частности, легко увидеть связь между дополнительным условием Боголюбова и проблемой компенсации нулевых мод в теории нелинейного скалярного поля. В Приложении I рассмотрен также вопрос эрмитовости боголюбовских переменных.

В Приложении II приводится полный вид разложения гамильтониана в ряд теории возмущений.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

Ш.И.Вашакидзе, Матвеев В.А. Приближение сильной связи в задаче о частице, взаимодействующей с квантованным полем. - Тбилиси, 1976 - 12 с. (Труды ТГУ, т. 181).

Вашакидзе Ш.И., Матвеев В.А. Исследование задачи о захвате массивной частицы квантовым полем. I. Метод коллективных координат

нат Боголюбова. - Дубна, 1978 - 17 с. (Препринт ОИЯИ, P2-II637).

Вашакидзе Ш.И., Матвеев В.А. Исследование задачи о захвате массивной частицы квантовым полем. II. Изучение уравнений для функций Грина. - Дубна, 1978 - 13 с. (Сообщение ОИЯИ, P2-II697).

Вашакидзе Ш.И., Матвеев В.А. Исследование задачи о захвате массивной частицы квантовым полем: III. Определение эффективной массы системы. - Дубна, 1979 - 9 с. (Сообщение ОИЯИ, P2-I2470).

Вашакидзе Ш.И. Коллективные координаты Н.Н.Боголюбова в задаче квантования нелинейного скалярного поля. - Дубна, 1980 - 10 с. (Сообщение ОИЯИ, P2-80265).

#### Литература

1. Боголюбов Н.Н., Струмминский Б.В., Тавхелидзе А.Н. К вопросу о составных моделях в теории элементарных частиц. - Дубна, 1965. - 12 с. (Препринт ОИЯИ, Д-1968).  
Боголюбов Н.Н., Матвеев В.А., Нгуен Ван Хьеу, Стоянов Д., Струмминский Б.В., Тавхелидзе А.Н., Шелест В.П. Релятивистски инвариантные уравнения для составных частиц и формфакторов. - В кн.: Труды У Сессии весенней школы теоретической и экспериментальной физики, Ереван 1965, стр. 406.
2. Tavkhelidze A.N., Electromagnetic form factors in composite Models of Elementary Particles (Relativistic Models). - In: Proc. Seminar on High Energy Physics and Elementary Particles, Trieste, 1965, Vienna, IAEA, 1965. p. 763
3. Clodos A., Jaffe R.L., Johnson K. New Extended Model of Hadrons. - Phys. Rev., 1974, v. D9, p. 3471.
4. Salam A. The Unconfined Quarks and Gluons. - In: Proc. XVIII Int. Conf. Tbilisi, 1976, v. 2, 1977 - p. N91 (JINR, D12-10400).
5. Солодовникова Е.П., Тавхелидзе А.Н., Хрусталева О.А. Осцилляторные уровни частицы как следствие сильного взаимодействия с полем. - ТМФ, 1972, т. 10, с. 162
6. Боголюбов Н.Н. Об одной новой форме адиабатической теории возмущений в задаче о взаимодействии частицы с квантовым полем. - В кн.: Боголюбов Н.Н. Избранные труды. "Наукова думка", Киев, 1970, т.2, с. 499.

7. Боголюбов Н.Н., Тябликов С.В. Приближенный метод нахождения низших энергетических уровней электронов в металле. - ЖЭТФ 19, с. 256 (1949).
8. Солодовникова Е.А., Тавхелидзе А.Н., Хрусталева О.А. Преобразование Н.Н.Боголюбова в теории сильной связи. П. - ТМФ, 1972, т. II, с. 317.
9. Кочетов Е.А., Кулешов С.П., Смондырев М.А. Исследование модели полярона методом функционального интегрирования. - ТМФ, 1975, т.25, с. 30.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 апреля 1980 года.