

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ավագյան Ավետիս Կարենի

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԱՖԻՆ ԽՍԲԻ ՀԱՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՆԵՑՈՂ
ՃՇՁՐԻՏ ԻՆՏԵՐՎՈՂ ՀԱՔԱՐԴԻ և t-J ՍՈՂԵԼՆԵՐԻ
ԸՆԴԱՅՆՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆՏԱՆԻՔ

U.04.02 - «տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2000

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Авакян Аветис Каренович

СЕМЕЙСТВО ИНТЕГРИРУЕМЫХ РАСШИРЕНИЙ
ГАМИЛЬТОНИАНОВ ХАББАРДА И t-J, ИНВАРИАНТНЫХ
ОТНОСИТЕЛЬНО АФФИННОЙ КВАНТОВОЙ ГРУППЫ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико - математических наук по специальности
01.04.02 - теоретическая физика

ЕРЕВАН 2000

Ատենախոսության բեման հաստատվել է Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր,
Ա. Գ. Սեդրակյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ Ֆիզմաթ. գիտությունների բեկնատու՝
Դ. Կարախանյան (ԵրՖԻ, Երևան),
Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր՝
Ա. Բելավին (ՏՖԻ, Մոսկվա);

Առաջատար կազմակերպություն Սաթեմատիկայի ինստիտուտ, Թբիլիսի

Պաշտպանությունը կայանալու է 2000թ. դեկտեմբերի "26"-ին ժամը 16:30-ին
Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ԲՈՅ-ի 024 մասնագիտական խորհրդում
(Երևան, Ալիխանյան եղբայրների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է "26" նոյեմբերի 2000թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտքարտուղար *Սիմ* Ա. Թ. Մարգարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель Доктор физ.-мат. наук,
А. Г. Седракия

Официальные оппоненты Канд.-т. физ.-мат. наук,
Д. Караханян (ЕрФИ, Ереван),
Доктор физ.-мат. наук,
А. Белавин (ИТФ, Москва).

Ведущая организация Институт Математики, Тбилиси.

Защита состоится "26" декабря 2000 г. в 16:30 часов на заседании
специализированного совета 024 Ереванского физического института
(Ереван, ул. Братьев Аликханян 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.

Автореферат разослан "26" ноября 2000 г.

Ученый секретарь спец. совета *Սիմ* А. Т. Маргарян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Со времен открытия высокотемпературной сверхпроводимости одномерная физика сильно связанных электронов находится в центре внимания многих публикаций [1]. Интерес к одномерным моделям значительно возрос после утверждения Андерсона о том, что двумерные системы должны иметь многие общие с одномерными системами свойства. С другой стороны, весьма важным фактом является также то, что многие одномерные модели могут быть точно решены. Одними из наиболее известных подобных моделей являются фермионные модели Хаббарда и t-J. Модель Хаббарда описывает цепочку с электронами которые могут перескакивать на соседние узлы и которые подвержены Кулоновскому взаимодействию. Согласно принципу Паули в каждом узле могут быть 4 состояния и следовательно размерность модели 4^L . t-J модель была предложена Джанг и Райсом и описывает сильно связанные электроны с антиферромагнитным взаимодействием.

Существует много исторических путей приводящих к понятию точно решаемых моделей. Среди них работы о спиновых цепочках начаты Бете, работы Онсагера, Либа, Сазерленда, Бакстера посвященные классическим статистическим моделям, работы Янгов, Замолодчиковых и других в теории рассеяния. Обычно модель может быть названа точно решаемой (или интегрируемой) если получено удобное выражение для свободной энергии или если эта задача сведена к проблеме классического математического анализа. Наиболее известной моделью классической статистической физики является модель Изинга, которая определяется как d-мерная решетка, чьи вершины обладают одним из двух возможных значений переменной $\sigma = 1, -1$ а статистическая сумма записывается как

$$Z_N = \sum_{\sigma} \exp \left\{ K \sum_{\langle i, j \rangle} \sigma_i \sigma_j + h \sum_i \sigma_i \right\}$$

Модель была предложена Изингом и решена в одномерном случае. Двумерная модель была решена Ларсом Онсагером, однако трехмерная модель не решена и по сей день. Со времен решения Онсагером этой модели статистическая физика двумерных моделей обогатилась такими новыми точно решаемыми моделями как сферическая модель, модели типа льда, восьмивершинная модель, модель жесткого гексагона и другие. Точное решение этих моделей стало важным источником информации о свойствах фазовых переходов. Некоторые глобальные предположения, такие как гипотеза подобия и принцип универсальности получили их подтверждения и уточнения.

К сожалению, мы должны признать, что эти модели решены только в одномерных и двумерных случаях. Тем не менее некоторые кристаллы имеют сильные горизонтальные и слабые вертикальные взаимодействия и следовательно вышеописанные модели могут их хорошо описывать.

Следующим классом точно решаемых моделей являются так называемые квантовые решеточные модели. Основу решениям этих моделей положил Бете создав свой знаменитый Бете анзац (подстановку) и решив им изотропную модель Гейзенберга. Частично анизотропная модель Гейзенберга была решена Янгами [2] - [4], а полностью анизотропная Р. Бакстером с помощью весьма нетривиального обобщения анзаца Бете [5] - [8]. Гамильтониан анизотропной модели Гейзенберга имеет следующий вид:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (J_x \sigma_n^x \sigma_{n+1}^x + J_y \sigma_n^y \sigma_{n+1}^y + J_z \sigma_n^z \sigma_{n+1}^z)$$

В этих же работах Бакстер нашел связь между вершинными моделями классической статистической физики и квантовыми решеточными моделями. С другой стороны, квантовые решеточные модели могут быть связаны с помощью преобразования Йордана-Вигнера с так называемыми фермионными моделями. Фактически решение новой модели в принципе влечет за собой решение соответствующих задач в смежных областях.

Модели Хаббарда и t-J являются наиболее известными фермионными моделями которые могут быть точно решены с

помощью Бете анзаца. Различные расширения, обобщения и частные случаи этих моделей рассматриваются во многих современных статьях, однако считанное их число получило точное решение. В основном результаты опираются на численные методы и очень важно нахождение новых, более приближенных к реальной жизни моделей. Решение новых моделей, кроме частного интереса, позволяет также уточнять и дополнять некоторые глобальные предположения, такие как, например, гипотеза подобия или скейлинг.

Для подавляющего большинства точно решенных моделей анзац Бете представляет собой основу для успешного решения и в процессе развития теории создавались различные модификации этого анзаца: вложенный, функциональный, аналитический, алгебраический и другие. Среди них выделяется алгебраический Бете анзац, основанный на квантовом методе обратной задачи рассеяния и развитый Ленинградской группой Тахтаджян и др. [9] - [12]. Алгебраический Бете анзац позволяет придать сумме Бете операторную форму, несомненно наиболее компактную и полезную. Работы в этом направлении также способствовали появлению понятия квантовых групп.

Теория квантовых групп, развиваемая с середины 80-ых, играет сейчас фундаментальную роль в теории интегрируемых моделей и конформной теории поля. Существует два эквивалентных определения квантовых групп. Первое использует q-деформированные генераторы Шевалье. Второе возникло в квантовой задаче обратного рассеяния. Важное свойство квантовых групп состоит в том что они имеют два ко-умножения, каждое из которых может быть получено из другого с помощью так называемой универсальной R-матрицы, которая сплетает эти два ко-умножения.

Некоторые интегрируемые Гамильтонианы обладают симметрией квантовой группы. Например, конечная частично изотропная модель Гейзенберга (XXZ) обладает симметрией $U_q sl_2$. Важным приложением квантовых групп является возможность создания нового подхода, постановки и точного решения новых моделей обладающих симметрией квантовой группы.

Электронные состояния в случайных системах становятся темой активных исследований в связи с общностью феномена

локализации в одно- и двумерных пространствах. Хотя довольно хорошо установлено, что беспорядок приводит к экспоненциальной локализации всех состояний в одномерных и двумерных системах вне зависимости от энергии состояния, существуют некоторые исключения. Корреляции в беспорядке могут вызвать появление делокализованных состояний и, например, объяснить аномально большую проводимость некоторых веществ, которые ею обладать не должны были.

Таким образом, настоящее состояние таково, что несмотря на отмеченные успехи, количество и общность интегрируемых моделей весьма ограничено и крайне желательно нахождение новых, более общих точно решаемых моделей а также создание новых технологий для этих решений.

Целью диссертационной работы является

Создание новой технологии нахождения интегрируемых моделей основанной на квантовой аффинной симметрии; с помощью этой технологии построение новых, по возможности более общих, точно решаемых квантовых моделей; нахождение корреляций беспорядка приводящих к появлению делокализованных состояний в одномерных моделях.

Научная новизна

1. Развѣт метод построения спиновых моделей, которые основываются на известные интегрируемые модели и имеют симметрию квантовой аффинной группы.
2. Разработана техника фермионизации интегрируемых моделей, которая является альтернативой известному преобразованию Йордана-Вигнера. Разработанная техника применена к моделям с квантовой аффинной симметрией.
3. Получены новые модели и их фермионные представления, такие как:
 - a. Расширенная модель Хаббарда с допингом, хоппингом пар и взаимодействием дырочных плотностей

- b. Расширенная модель Хаббарда с граничным зарядом, взаимодействием плотностей и бозонов
- c. Многокомпонентная t - J модель с обнуляющейся константой спин-спин взаимодействия
- d. Многокомпонентное расширение t - J модели
4. Для расширенной модели Хаббарда с граничным зарядом, взаимодействием плотностей и бозонов представлено основное состояние, которое обнаруживает светпроводимость посредством механизма η -спаривания.
5. Расчитан и проанализирован термодинамический предел уравнений Бете для t - J модели с квантовой аффинной симметрией.
6. Представлена одномерная модель для смеси полупроводников в которой, с помощью соответствующего выбора корреляции беспорядка, появляются делокализованные состояния.

Практическая ценность работы

Несмотря на существование определенного числа развитых методов решений спиновых, решеточных и фермионных моделей, считанное их число получило точное решение. В основном результаты опираются на численные методы, поэтому очень важно нахождение новых, более приближенных к реальной жизни моделей и еще более важно нахождение новых методов необходимых для этого. Метод построения новых спиновых моделей развитый в диссертации и основанный на известных интегрируемых моделях с новой аффинной квантовогрупповой симметрией является очередным успешным этапом развития теории. Развитый метод, вне всякого сомнения, может быть применен аналогичным образом и к другим классам моделей.

Разработанная техника фермионизации интегрируемых моделей может быть естественным образом применена для фермионизации любой другой спиновой модели.

Представленная модель для смеси полупроводников служит хорошим примером одномерной модели с беспорядком, где с

помощью соответствующего выбора корреляции беспорядка, появляются делокализованные состояния.

Научные положения выносимые на защиту

1. Развитый метод построения спиновых моделей обладающих квантовой афинногрупповой симметрией
2. Развитый метод фермионизации интегрируемых моделей, являющийся альтернативой преобразованию Йордана-Вигнера
3. Новая интегрируемая модель Хаббарда с допингом, хоппингом пар и взаимодействием дырочных плотностей
4. Новая интегрируемая модель Хаббарда с граничным зарядом, взаимодействием плотностей и бозонов
5. Новая интегрируемая многокомпонентная t-J модель с обнуляющейся константой спин-спин взаимодействия
6. Новая интегрируемое многокомпонентное расширение t-J модели
7. Новая одномерная модель для смеси полупроводников в которой, с помощью соответствующего выбора корреляции беспорядка, появляются делокализованные состояния

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной конференции "Duality and Non-Perturbative aspects of QCD", Кембридж 1997 и на научных семинарах Института Нильса Бора, Копенгаген 1998-2000; Сакле, Париж 1997; Боннского Университета, 1999.

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 5 научных работ, список которых приводится в конце автореферата.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения (глава 1), пяти глав, заключения и списка литературы из 131 наименований. Общий объем работы составляет 102 страницы печатного текста.

Содержание Работы

Во введении (глава 1) обоснована актуальность темы и сделан краткий обзор по проблемам затронутым в диссертации. Изложены практическая ценность и краткое содержание работы.

Во второй главе диссертации дается определение группы Кац-Муди, Алгебры Хопфа, представлена q-деформация Гауса, q-деформированные соотношения Сиерре, коумножение и универсальная R-матрица.

В третьей главе представлена конструкция семейства Гамильтонианов спиновых цепочек которые обладают афинной квантовогрупповой симметрией $U_q \hat{g}$ с помощью сплетающих операторов группы [13]. Эти сплетающие операторы коммутируют с $U_q \hat{g}$ по определению, в то время как Гамильтониан коммутирует по построению. Пространство состояний этих спиновых решеток формируется тензорным произведением полностью приводимых представлений. Афинная квантовогрупповая симметрия приводит к бесконечному вырождению уровней энергии. Уровни энергии этих спиновых цепочек формируются на состояниях, сконструированных на старших векторах представлений квантовой группы. В частных случаях ограничения рассматриваемых спиновых цепочек на эти состояния порождают спиновые цепочки Гейзенберга, t-J или Халдейна-Шастри. Следовательно, мы имеем обобщения этих Гамильтонианов, которые обладают афинной квантовогрупповой симметрией.

Четвертая глава посвящена построению и фермионизации моделей с помощью результатов полученных в предыдущей главе. В частности, когда возможны четыре состояния в узлах и нет зависимости от параметра деформации квантовой группы, мы находим некоторые интегрируемые расширения модели Хаббарда. В случае, когда пространство состояний каждого узла есть прямая сумма представлений со спином 1 и тривиальных мультиплетов, мы находим модель Хаббарда с допингом, хоппингом пар и дырочным взаимодействием ближайших соседей [14]. В случае, когда пространство состояний каждого узла есть прямая сумма двух двумерных представлений, мы находим модель Хаббарда с взаимодействием граничных зарядов, плотностей а также с бозон-бозон взаимодействием соседних дырок и пар. Найдено, что основные состояния в секторе фиксированного числа частиц и фаз, модель проявляет сверхпроводящие свойства посредством η -спаривания [13] - [14]. Аналогичным образом рассмотрены также случаи приводящие к многочастичным расширениям t-J модели [15].

Пятая глава посвящена точному решению одной из развитых в предыдущих параграфах моделей, а точнее к расширению t-J модели [16]. Для исследования модели используется координатный Бете анзац. Рассмотрен термодинамический предел модели и явно выписаны уравнения для различных функций плотностей. Эти уравнения демонстрируют то, что дополнительные цветовые степени свободы ведут себя как в калибровочных теориях, а точнее произвольное распространение цветовых индексов над частицами оставляет инвариантной энергию основного состояния и возбуждений. Показано, что S-матрица модели является произведением S-матрицы обычной t-J модели и единичной матрицы в цветовом пространстве.

Пятая глава с помощью одномерной бинарной случайной системы представляет модель составной смеси полупроводников. Введением корреляции в беспорядок достигается появление делокализованных состояний, что проверенно аналитически и с помощью числовых расчетов [17].

В заключении представлены основные результаты работы:

1. Развита метод построения спиновых моделей основанных на известных интегрируемых моделях и имеющих симметрию квантовой аффинной группы. Имеется сильное вырождение состояний в соответствии с числом степеней свободы состояний в узлах решетки
2. Разработана техника фермионизации интегрируемых моделей, которая является альтернативой известному преобразованию Йордана-Вигнера. Разработанная техника применена к моделям с квантовой аффинной симметрией.
3. Найдено фермионное представление модели с квантовой аффинной $U_q \hat{sl}_2$ симметрией для частного представления $V = V_0 \oplus V_{1/2}$, которое является расширением модели Хаббарда с допингом, хоппингом пар и взаимодействием дырочных плотностей
4. Найдено фермионное представление модели с квантовой аффинной $U_q \hat{sl}_2$ симметрией для частного представления $V = V_{1/2} \oplus V_{1/2}$, которое является расширением модели Хаббарда с граничным зарядом, взаимодействием плотностей и бозонов. Представлено основное состояние модели, которое обнаруживает сверхпроводимость посредством механизма η -спаривания.
5. Найдено фермионное представление модели с квантовой аффинной $U_q \hat{sl}_2$ симметрией для частного представления $V = V_0 \oplus V_j$, которое является многокомпонентной t-J моделью с обнуляющейся константой спин-спин взаимодействия
6. Найдено фермионное представление модели с квантовой аффинной $U_q \hat{sl}_2$ симметрией для частного представления $V = V_0 \oplus V_i \oplus V_j$, которое является многокомпонентным расширением t-J модели

7. Координатный Бете анзац применен к афинной t - J модели для анализа соответствующих уравнений Бете на возбуждения. Термодинамический предел для этих уравнений установлен и проанализирован
8. Представлена одномерная модель для смеси полупроводников в которой, с помощью соответствующего выбора корреляции беспорядка, появляются делокализованные состояния.

Литература

1. Korepin V., Eßler F. H. L., *Exactly Solvable Models of Strongly Correlated Electrons*, World Scientific (1994)
2. Yang C. N, Yang C. P., *One-dimensional chain of anisotropic spin-spin interactions I, Proof of Bethe's hypothesis for ground state in a finite system*, Phys. Rev., 150, 321-327 (1966)
3. Yang C. N, Yang C. P., *One-dimensional chain of anisotropic spin-spin interactions II, Properties of the ground state energy per lattice site for an infinite system*, Phys. Rev., 150, 327-339 (1966)
4. Yang C. N, Yang C. P., *One-dimensional chain of anisotropic spin-spin interactions III, Applications*, Phys. Rev., 151, 258-264 (1966)
5. Baxter R. J., *Partition function of the eight-vertex lattice model*, Ann. Physics. (N. Y.), 70, 193-228 (1972)
6. Baxter R. J., *One-dimensional anisotropic Heisenberg chain*, Ann. Physics. (N. Y.), 70, 323-337 (1972)
7. Baxter R. J., *Eight-vertex model in lattice statistics*, Phys. Rev. Letters, 26, 832-833 (1971)
8. Baxter R. J., *One-dimensional anisotropic Heisenberg chain*, Phys. Rev. Letters, 26, 834-835 (1971)

9. Takhtajan L. A., *Integration of the continuous Heisenberg spin chain through the inverse scattering method*, Phys. Lett. A, 64A,2N, 235-237 (1977)
10. Тахтаджян Л. А., Фаддеев Л. Д., *Квантовый Метод Обратной Задачи Рассеяния и XYZ модель Гейзенберга*, Успехи Математических Наук, 34, 5Н, 160-174 (1974)
11. Тахтаджян Л. А., *Квантовый Метод Обратной Задачи Рассеяния и алгебраизированный Бете анзац*, Записки Научных Семинаров, ЛОМИ, 101:158 (1981)
12. Faddeev L. D., *Algebraic aspects of the Bethe ansatz*, International Journal of Modern Physics A, 10, 13, 1845-1878 (1995)
13. Avagyan A., Hakobyan T., Sedrakyan A., *A family of affine quantum group invariant integrable extensions of the Hubbard Hamiltonian*, Nuclear Physics B, 490[FS], 633-652 (1997)
14. Avagyan A., Hakobyan T., Sedrakyan A., *Integrable extensions of Hubbard hamiltonian*, International Journal of Modern Physics B, 11, 26 & 27, 3207-3222 (1997)
15. Ambjorn J., Sedrakyan A., Avagyan A., Hakobyan T., *A new family of integrable extended multi-band Hubbard Hamiltonians*, Modern Physics Letters A, 13, 7, 495-503 (1998)
16. Ambjorn J., Sedrakyan A., Avagyan A., Hakobyan T., *Bethe ansatz and thermodynamic limit of affine quantum group invariant extensions of the t - J model*, Journal of Mathematical Physics, 40, 11 (1999)
17. Dominguez-Adame F., Gomez I., Avakyan A., Sedrakyan D., and Sedrakyan A., *Electron states in a one-dimentional random binary alloy*, Physica Status Solidi, 221, 633 (2000)

Ամփոփագիր

Ատենախոսությունը նվիրված է ճշգրիտ ինտեգրվող քվանտային աֆին խմբի տրամաչափությանը օշտված մոդելներին, մասնավորապես Չաբբարդի և t-J մոդելների նոր ընդլայնումներին: Ձարգացված է այդպիսի մոդելների կառուցման և հետագա ֆերմիոնիզացիայի եղանակներ: Ներկայացված է միաչափ երկկոմպոնենտ կիսահաղորդիչների համաձուլվացքի մոդել, որում խառնաշփոթի կորրեկցիայի մասնավոր ընտրանքով կարելի է ստանալ դելոկալիզացված վիճակներ:

Աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքները հետևյալն են.

1. Ստեղծված է ինտեգրվող մոդելների վրա հիմնված և աֆին քվանտային խմբի համաչափություն ունեցող սպինային մոդելների կառուցման եղանակ: Տեղի ունի վիճակների խիստ այլասեռում համապատասխանող ցանցի հանգույցներում վիճակների ազատության աստիճանի թվին:
2. Ձարգացված է ինտեգրվող մոդելների ֆերմիոնիզացման եղանակ, որը հանդիսանում է երկընտրանքային հայտնի Յորդան-Վիգների ձևափոխությանը: Եղանակը կիրառված է հայտնաբերված նոր մոդելներին:
3. Գտնված է ֆերմիոնային ներկայացում $V = V_0 \oplus V_{1/2}$ մասնավոր

ներկայացման, քվանտային աֆին $U_q \hat{sl}_2$ խմբի համաչափություն ունեցող մոդելի, որը հանդիսանում է Չաբբարդի մոդելի ընդլայնում դոպինգով, զույգերի հոպինգով և այցկային խտության փոխազդեցությամբ:

4. Գտնված է ֆերմիոնային ներկայացում $V = V_{1/2} \oplus V_{1/2}$ մասնավոր

ներկայացման, քվանտային աֆին $U_q \hat{sl}_2$ խմբի համաչափություն ունեցող մոդելի, որը հանդիսանում է Չաբբարդի մոդելի ընդլայնում սահմանային լիցքի փոխազդեցությամբ, այցկային և բոզոնային խտության փոխազդեցություններով: Ներկայացված է մոդելի հիմնական վիճակը, որը ցուցաբերում է գերհաղորդականություն դեֆեյնիտի միջոցով:

5. Գտնված է ֆերմիոնային ներկայացում $V = V_0 \oplus V_j$

մասնավոր ներկայացման, քվանտային աֆին $U_q \hat{sl}_2$ խմբի համաչափություն ունեցող մոդելի, որը հանդիսանում է բազմակոմպոնենտ t-J մոդել, զրոյացող սպին-սպին փոխազդեցության հաստատունով:

6. Գտնված է ֆերմիոնային ներկայացում $V = V_0 \oplus V_i \oplus V_j$ մասնավոր

ներկայացման, քվանտային աֆին $U_q \hat{sl}_2$ խմբի համաչափություն ունեցող մոդելի, որը հանդիսանում է բազմակոմպոնենտ t-J մոդելի ընդլայնում:

7. Գրգռումների հետազոտման նպատակով, աֆին t-J մոդելին կիրառված է Բեթե անգացը: Հայտնաբերված և հետազոտված է մոդելի թերմոդինամիկ սահմանը:
8. Միաչափ երկկոմպոնենտ կիսահաղորդիչների համաձուլվացքի համար ներկայացված է մոդել, որում խառնաշփոթի կորրեկցիայի մասնավոր ընտրանքով կարելի է ստանալ դելոկալիզացված վիճակներ: