

Онтологии и физические аналоги двухчастичных внутрисистемных взаимодействий по моделям дублетов

Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин✉

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ bfomin@mail.ru

Аннотация. Открытые системы (природные, общественные, антропогенные, кибер-физические, технические) исходно заданы в актуальных состояниях эмпирическими описаниями, полученными из больших массивов ретроспективных полимодальных гетерогенных эмпирических данных. На уровне факта эмпирические описания содержат сотни и тысячи показателей и представляют системы в естественных масштабах и реальной сложности. На уровне смысла представлено знание об онтологии систем, полнота и завершенность которого исследованы и доказаны. На уровне онтологического знания получены реконструкции системы «в частях» (в собственных качествах). Для построения реконструкции состояний системы в целом требуется дополнить реконструкции системы «в частях» моделями двух-, трех- и много-частичных взаимодействий между собственными качествами системы. В статье получены и исследованы онтологии всех видов дублетов – моделей двухчастичных взаимодействий SIM, SWI, MIX, SEP, ABS, DIV. Каждый вид модели имеет установленные типы и формы, для которых выявлены состояния с согласованными значениями атрибутов «ориентации», «напряженности» и уровня «заряда». Атрибутированным состояниям дублетов отвечают их аналоги, в качестве которых выступают состояния объектов физической науки, проявляющие действие деформационных, электрических и магнитных полей, вызывающих многовидовую изменчивость открытых систем.

Ключевые слова: физика открытых систем, познание онтологии систем, собственные качества систем, реконструкции актуальных состояний систем, внутрисистемные взаимодействия

Для цитирования: Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Онтологии и физические аналоги двухчастичных внутрисистемных взаимодействий по моделям дублетов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 2. С. 54–75. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-2-54-75.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

Ontologies and Physical Analogues of Two-Particle Intrasytem Interactions Based on Doublets Models

T. L. Kachanova, B. F. Fomin✉

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ bfomin@mail.ru

Abstract. Open systems (natural, social, anthropogenic, cyber-physic, and technical ones) are initially given in actual states by their empirical descriptions, obtained from huge amount of retrospective multimodal heterogeneous empirical data. At the level of fact, the empirical descriptions contain hundreds and thousands of indicators and represent such systems at their natural scales and real complexity. Furthermore, knowledge about systems' ontology is represented at the level of sense, knowledge whose fullness and completeness are investigated and proven. At the level of ontological knowledge, the system's reconstructions are obtained «in parts» (in eigen qualities). And, to build reconstruction of system's states as a whole, such system reconstructions «in

parts» need to be complemented by models of two-particle, three-particle, and multi-particle interactions between eigen system qualities. Ontologies of all kinds of doublets (models of two-particle interactions named SIM, SWI, MIX, SEP, ABS, DIV) are obtained and investigated in this paper. Each such kind of model possesses discovered types and forms. And, for them, such states are revealed whose attributes of orientation, tension, and “charge” level are agreed upon values. These doublets states attributed in such a way possess analogues represented by states of physical science objects exhibiting effects of deformation field as well as electric and magnetic fields that cause «multispecies» variability of open systems.

Keywords: physics of open systems, cognition of systems ontology, eigen qualities of system, reconstructions of systems' actual states, intrasystem interactions

For citation: Kachanova T. L., Fomin B. F. Ontologies and Physical Analogues of Two-Particle Intrasystem Interactions Based on Doublets Models // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 54–75. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-2-54-75.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение. В середине 1990-х гг. возникла область физики открытых систем (далее – ФОС), в рамках которой идет становление науки о системах (природных, антропогенных, общественных, кибер-физических, сложных технических), исходно заданных в актуальных состояниях эмпирическими описаниями с сотнями и тысячами показателей [1], [2]. На базе исходного эмпирического описания ФОС решает проблемы познания, научного понимания и рационального объяснения всего качественного разнообразия открытых систем, проявленного во множественных внешних формах наблюдаемого мира, порожденных универсальными механизмами системогенеза [3]–[8]. ФОС создает науку о состояниях и свойствах открытых систем, основанную на знании их онтологии, и на этой базе строит многомерную знаниецентрическую системную аналитику [9]–[17].

Главная проблема ФОС – анализ закономерностей изменчивости открытых систем. ФОС исследует множественные внутрисистемные взаимодействия и раскрывает механизмы изменчивости состояний систем [18]–[22]. На уровне онтологического знания ФОС рассматривает множественные внутрисистемные взаимодействия как двух-, трех- и многочастичные.

Первый шаг ФОС в этом направлении – познание и научное понимание онтологии двухчастичных внутрисистемных взаимодействий [18], [20], [22]. На уровне онтологии система воспринимается ФОС как «полиморфное твердое тело» и интерпретируется как «конденсированное состояние». Двухчастичные взаимодействия раскрывают онтологию «кристаллических» и «аморфных» фаз состояний системы.

В качестве ключевых понятий теории двухчастичных взаимодействий ФОС использует поня-

тия: «Синглет», «Локальность», «Псевдосинглет», «Дублет», «Псеводублет» [3], [16], [12].

«Синглет» – фундаментальное понятие ФОС (элементарная частица системы), трехвершинная полностью связная структура с осевой симметрией, проходящей через одну вершину (*особую вершину*) и противоположное ей ребро (*базу*).

«Локальность» – часть системы, представляющая систему как целое в ее уникальном *собственном качестве*. Системообразующую роль играет *ядро* локальности, состоящее из синглетов с общей особой вершиной и разными базами. Локальность имеет *двухфакторную структуру*. Каждый *фактор* состоит из множества вершин, объединенных смыслом конкретного системного механизма. Факторы взаимодействуют (*двухфакторное взаимодействие*), формируя локальность как целое. Фактор включает вершины баз и дополнительные вершины. Дополнительные вершины не входят в синглеты ядра локальности, но формируют его *окружение*. Локальность представляется *приведенным треугольником* – интегральным концентрированным образом собственного качества системы, выраженным в этой локальности. Приведенный треугольник – *интегральный синглет*, особая вершина которого совпадает с особой вершиной локальности, а каждая вершина базы представляет все вершины соответствующего фактора локальности. Каждая локальность порождает *эталонные состояния собственного качества* системы. Эталонные состояния являются *предельными* формами выражения собственных качеств системы. Помимо эталонных форм состояния каждая локальность имеет *неэталонные* формы. Их наличие обусловлено множественными внутрисистемными взаимодействиями. Каждая особая вершина есть

центр порядка своей локальности, а также она – центр порядка системы в целом.

Псевдосинглет – трехвершинная структура с главной осевой симметрией (подобно синглету), в которой выделяются *псевдоособая вершина* и *псевдобаза*. Псевдоособая вершина – не центр порядка и не формирует локальность системы. Синглеты в локальности проявляют ближний и дальний порядки, псевдосинглеты – только ближний порядок.

«Дублет» – модель двухчастичного взаимодействия, в котором участвуют два синглета с разными центрами порядка.

«Псевдодублет» – модель двухчастичного взаимодействия, участниками которого выступают два псевдосинглета. Упорядоченность в псевдодублетах устанавливается центром порядка локальности, выступающей третьим участником двухчастичного взаимодействия.

В этой статье рассматриваются взаимодействия по моделям дублетов, раскрывающих изменчивость открытых систем, связанную с возникновением «кристаллических фаз» состояний систем. Взаимодействия по моделям псевдодублетов, описывающих возникновение «аморфных фаз» состояний систем здесь не рассматриваются.

Постановка задачи. ФОС создала метод представления системы в состояниях на уровне онтологического знания и на его основе получила *реконструкции в частях* всех актуальных состояний системы, заданных ее исходным эмпирическим описанием. Реконструкция в частях – «сборка» эталонов состояний собственных качеств (локальностей) системы. Каждая локальность уникальна, имеет четыре эталона состояния, представлена в реконструкции любого конкретного актуального состояния системы каким-то одним своим определенным эталоном состояния. Этот эталон локальности выступает конституентой реконструкции данного актуального состояния системы и представляет в ней свою локальность как часть всей системы и, одновременно с этим, как всю систему в целом в условиях этой части.

Реконструкцию системы в частях нужно преобразовать в *полную реконструкцию организованного системного целого*. Для этого реконструкцию в частях необходимо дополнить *моделями двух-, трех- и многочастичных взаимодействий* всех собственных качеств (локальностей) системы. В статье решена задача познания онтологии всех типов и форм двухчастичных взаимодействий по моделям дублетов. Решение такой зада-

чи – важный этап познания *смыслов* множественных механизмов образования «кристаллической фазы» состояний «полиморфного тела» системы. Смыслы имеют свое отражение в мире факта. В статье применительно к физике электромагнитноупругости для всех раскрытых смыслов двухчастичных взаимодействий по моделям дублетов установлены физические аналоги механизмов, вызывающих многовидовую изменчивость состояний системы.

Метод. Каждая *локальность* представлена *приведенным треугольником* (интегральным синглетом) с особой вершиной (центром порядка локальности) и базой. Вершины базы имеют своими прообразами соответствующие факторы локальности. Модели дублетов, описывающие двухчастичные взаимодействия, имеют дублетную структуру, отражающую (через интегральные синглеты) способы «соприкосновения» двух взаимодействующих локальностей.

Всего установлено шесть видов моделей двухчастичного взаимодействия, в числе которых выделяются *два базовых вида* (SIM и SWI). В них синглеты ядер взаимодействующих локальностей имеют *одно общее ребро*. Четыре другие модели (MIX, SEP, ABS, DIV) – *небазовые*, они порождаются на основе базовых моделей. Каждая небазовая модель представляет характерную дублетную структуру. Базовые и небазовые *виды* дублетов вместе выступают платформой для построения всех возможных *типов* каждого вида дублетов и всех возможных *форм* каждого типа дублетов. При построении структурных типов и форм моделей двухчастичных взаимодействий учитываются: *дополнительные ребра* в базовых моделях; *различия факторов локальностей*; *свойство двойственности*.

В базовой модели SIM синглеты ядер взаимодействующих локальностей имеют *общую базу*. В базовой модели SWI синглеты ядер «соприкасающихся» локальностей имеют *одно общее боковое ребро*, связывающее особые вершины локальностей. В модели ABS особая вершина синглета принадлежит ядру одного фактора локальности, вершины базы синглета лежат в другом факторе локальности. В модели SEP особая вершина синглета не принадлежит ядру локальности, лежит в одном факторе локальности, а база синглета – в другом ее факторе. В модели DIV синглет как целое включен в один фактор локальности, особая вершина синглета, как правило, не

принадлежит ядру локальности. В модели MIX особая вершина синглета, как правило, находится в ядре локальности, а вершины базы лежат в разных факторах этой локальности. Модели вида SEP и DIV – двойственные модели.

Вершины синглета (особая вершина, вершины баз) имеют атрибут «Ориентация» с двумя значениями («↑» или «↓»). Атрибуты ориентации вершин базы противоположно направлены («↓↑») и находятся в боковом контакте. Их суммарное значение – нулевое. База синглета сама по себе нейтральна.

Синглет как целое тоже имеет атрибут «Ориентация», принимающий значение («↔» (Right, R) или «↔» (Left, L)). Каждому значению атрибута отвечает определенный стереотип поведения синглета. Поскольку база синглета нейтральна, значение атрибута ориентации синглета как целого совпадает со значением атрибута ориентации его особой вершины. Особая вершина синглета находится в осевом контакте с вершинами его базы. Если атрибут общей ориентации имеет значение «↔», то особая вершина синглета и вершина базы его правого фактора параллельны и имеют значение «↑». Если атрибут общей ориентации имеет значение «↔», то особая вершина синглета и вершина базы его левого фактора имеют значение «↓». Синглет в целом активен.

Вершины синглета и синглет в целом имеют еще один атрибут – «Уровень величины». Он несет смысл «заряда» и принимает значение High (H) или Low (L). Значения уровней величин синглета в целом и его особой вершины совпадают.

Парная связь между вершинами синглета имеет атрибут «Смена знака». Исходно система представлена как «система в отношениях». Каждому отношению (парной связи между вершинами) в таком представлении системы соотносится положительный или отрицательный знак [2]. В моделях взаимодействия смена знака означает изменение знака парной связи, вызванное «упругой деформацией». Атрибут «Смена знака» проявляет взаимосвязанность «электрических, магнитных и деформационных полей» в «теле системы».

Внутрисистемные взаимодействия строятся с учетом связанности «деформационных», «электрических» и «магнитных» полей. Каждое поле проявляется через соответствующий атрибут синглета: «электрическое» поле – через уровень величины («заряд»); «магнитное» поле – через ориентацию, «деформационное» поле – через смену знака.

В основу метода исследования двухчастичных внутрисистемных взаимодействий положен поиск симметрий (осей симметрии, плоскостей симметрии, центров симметрии). Каждый синглет имеет одну ось симметрии. Осевые симметрии синглетов ядра локальности образуют – главную осевую симметрию локальности. Атрибуты ориентации элементов локальности коллинеарны ее главной осевой симметрии. Локальность имеет базисную плоскость, в ней лежат базы синглетов ядра. Оси симметрии синглетов локальности могут не совпадать с ее главной осевой симметрией.

Локальность может включать в себя элементы диссимметрии (противоречивые связи, не отвечающие эталонным состояниям локальности). Диссимметрии в локальности разрешаются моделями взаимодействия. В локальности проявляются элементы симметрии, свойственные моделям взаимодействия.

Каждая локальность в виде приведенного треугольника (интегрального синглета) порождает четыре эталонных состояния. Эти состояния представлены через состояния, связанные зарядовой и пространственной симметриями. Между эталонными состояниями локальности существует связь, выражающая внутрисистемные закономерности, проявляющиеся через атрибуты уровня величины, ориентации и смены знака.

Каждый синглет и его элементы (вершины) имеют атрибуты ориентации, направленной вдоль осевой симметрии синглета. Для каждого эталона состояния собственного качества системы атрибуты ориентации в синглете зафиксированы. Для каждого варианта модели взаимодействия устанавливается особая конфигурация ориентационных атрибутов. Модель взаимодействия привязана к конкретной локальности. Атрибут ориентации центра порядка этой локальности задан эталоном ее состояния и коллинеарен ее главной ориентационной оси. Согласно принципу суперпозиции в модели устанавливается новая ориентация элементов, и в ней возникает определенная конфигурация ориентационных моментов. Ориентационное состояние системы может быть изменено внешним воздействием.

Каждое эталонное состояние приведенного треугольника (интегрального синглета) есть интегральное состояние какого-то одного конкретного собственного качества системы. Эталонные состояния этого собственного качества различаются значениями атрибутов ориентации и уровня величины особой вершины синглета как центра поряд-

ка локальности. При исследовании изменчивости состояний синглета рассматриваются симметрии:

- *пространственная четность* – P : изменение значений атрибутов ориентации при постоянном значении атрибута «Уровень величины»;
- *комбинированная пространственно-зарядовая четность* – CP : изменение значений атрибутов ориентации при изменении значений атрибута «Уровень величины».

Значения атрибута «заряд» на уровнях «Н» или «L» позиционируются в соответствующих областях шкалы, имеющих общую границу в точке «М» – центре инверсии, расположенном посередине шкалы (для ее симметрии). Уровень величины в этой точке имеет наименьшую определенность и проявляет наиболее энергичное (неравновесное) состояние синглета.

Все эталонные состояния каждого собственного качества системы проявляются на всем множестве ее состояний. В каждом конкретном состоянии системы каждое собственное качество системы проявлено каким-то одним его определенным эталоном состояния. Внутрисистемные взаимодействия формируют закономерности проявления эталонов собственных качеств в различных состояниях системы. «Заряды» особых вершин, обусловленные этими закономерностями, изменяются с высокого уровня на низкий и обратно, совершая сложно устроенный колебательный процесс.

Результаты.

1. Модель вида SIM проявляет сходство и различие между двумя локальностями системы [18], [19]. Синглеты ядер взаимодействующих локальностей в модели вида SIM имеют общую базу.

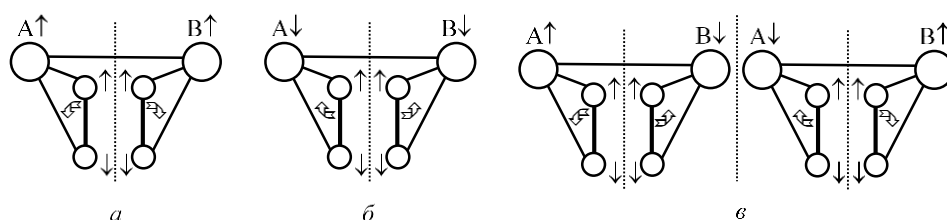


Рис. 1. Основные типы модели вида SIM (кооперативный способ упорядочения)
Fig. 1. Basic types of SIM-model (cooperative way of ordering)

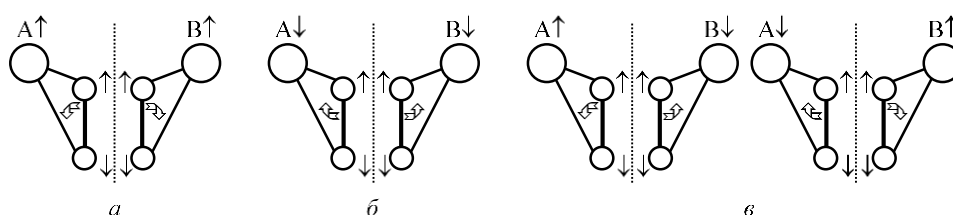


Рис. 2. Неосновные типы модели вида SIM (некооперативный способ упорядочения)
Fig. 2. Non-basic types of SIM-model (non-cooperative way of ordering)

В этой модели выделяются два способа упорядочения: *кооперативный* и *некооперативный*. При кооперативном способе определяющую роль играет взаимодействие между центрами порядков двух локальностей. Этот способ характерен для *основных типов* модели (наличие связи А-В между особыми вершинами). При некооперативном способе центры порядков локальностей ведут себя независимо друг от друга, их взаимосвязь устанавливают внешние по отношению к локальностям внутрисистемные взаимодействия. Такой способ характерен для *неосновных типов* модели (отсутствие связи А-В).

В двух основных типах модели, представленных на рис. 1, *а* и *б*, синглеты-участники являются двойниками отражения (*зеркальная симметрия*). На рис. 1, *в* даны два разных симметричных представления одного и того же типа модели. Синглеты-участники модели этого типа являются двойниками вращения (*вращательная симметрия*).

Характерным свойством модели SIM является наличие *плоскости симметрии, параллельной обеим базам*. По отношению к этой плоскости синглеты находятся в зеркальном положении. Такая симметрия отсутствует в синглетах и возникает в дублете. Типы модели, представленные на рис. 1, *а* и *б*, – *эталонные*.

В неосновных типах модели отсутствует связь между центрами порядка взаимодействующих локальностей, рис. 2. Отсутствие связи А-В отрицает способность центров порядка сформировать единую ориентационную ось и допускает *смену атрибутов ориентации*. В дублетах неосновного типа доминируют внешние факторы, подавляющие эффект взаимодействия синглетов по подо-

бию. Они устанавливают порядок, который определяет уровни величин особых вершин для синглетов модели независимо.

Из-за отсутствия связи А-В дублет SIM является локально несвязанным соединением двух синглетов. В таком соединении все симметрии сохраняются: зеркальная (рис. 2, а и б); вращательная (рис. 2, в).

2. Модель вида SWI состоит из двух синглетов с разными особыми вершинами и одним общим боковым ребром [20], [21]. Особые вершины модели входят в ядра взаимодействующих локальностей. Атрибуты общей ориентации синглетов противоположно направлены.

Основной тип модели имеет дополнительное ребро (b-a), рис. 3. В локальностях А и В вершины b и a принадлежат одному фактору локальности. Далее рассматривается вариант модели, в котором вершины А и В принадлежат *первому фактору* локальностей.

Две локальности участвуют во взаимодействии и образуют новое единство – *полную* модель двухчастичного взаимодействия вида SWI, рис. 4 (дополнительное ребро здесь и далее не отображается). Ключевое значение в полной модели имеют две *области выбора* 1-1 и 2-2 [22]. Модель вида SWI имеет *центр инверсии* (рис. 3, точка О), в нем реализуется механизм нарушения инверсии. Он вызван сменой знака на ребре, связывающем вершины из области выбора с какой-то одной из двух особых вершин дублета. Смена знака на этом ребре (рис. 5, штрихпунктирная линия) означает возникновение в пространстве двухчастичного взаимодействия *выделенного* направления ориентационного перехода с изменением заряда с минимальной затратой внутренней энергии. Вершины из области выбора при этом ориентируются вдоль выделенного направления. Оно совпадает с главной ориентационной осью локальности с выбранным центром порядка (А или В), рис. 5.

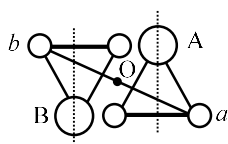


Рис. 3. Основной тип модели вида SWI
Fig. 3. Basic type of SWI-model

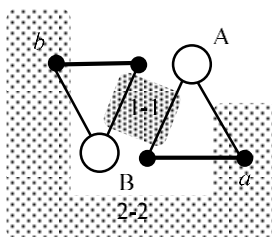


Рис. 4. Полная модель вида SWI
Fig. 4. Full SWI-model

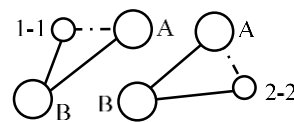


Рис. 5. Выбранный центр порядка – особая вершина А
Fig. 5. Special vertex «A» is chosen as the center of order

Модель вида SWI проявляет фазовые переходы *первого и второго* рода между эталонными состояниями собственных качеств системы (понятия фазовых переходов заимствованы из физики [23]).

Фазовый переход *первого рода* при взаимодействии по модели вида SWI характеризуют:

- сосуществование эталонов состояния собственных качеств взаимодействующих локальностей;
- более равновесная (гармонизированная, стабильная) структура одного эталона состояния по сравнению с другим (метастабильным) эталоном состояния;
- скачкообразное изменение структуры модели;
- изменение ориентационных моментов особых вершин модели;
- скачкообразное изменение уровня величины («заряда») одной из особых вершин (в эталоне со стабильной структурой), обусловленное резким изменением энергии;
- возможность системно обусловленного гистерезиса.

Движущей силой такого фазового перехода служит стремление системы перейти в состояние с *минимальной энергией*. Выбор области 1-1 или 2-2 конкретизирует эталоны состояния со стабильной и метастабильной структурами.

Фазовый переход *второго рода* при взаимодействии по модели вида SWI характеризуют:

- актуализация эталона состояния качества одной локальности и блокировка эталона состояния собственного качества другой локальности (сосуществование двух эталонов-участников невозможно);
- изменение (повышение порядка) симметрии модели;
- сохранение уровней величин («зарядов»), отсутствие выделения (поглощения) энергии;
- согласование атрибутов ориентации элементов модели (однаправленность).

Эталонные состояния локальности – разные «магнитные» и «зарядовые» состояния [3]–[5].

Для фазовых переходов первого рода характерны гистерезисные явления, сосуществование двух фаз, скачкообразное изменение величин, рис. 6. Реализация фазового перехода – изменение значения атрибута ориентации выбранной особой вершины А на противоположный с изменением значения атрибута уровня величины. Атрибут ориентации особой вершины В меняется с сохранением значения атрибута уровня величины. Выбор вершины А обеспечивают вершины из области выбора (1-1), которые подчиняются стереотипу локальности с центром порядка А (смена знака связи вершин из области выбора с вершиной А на противоположный).

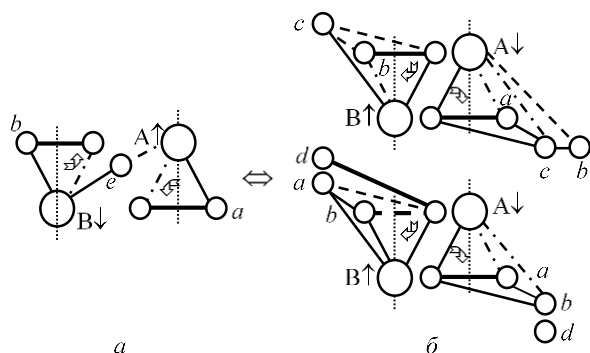


Рис. 6. Структурный фазовый переход 1-го рода
Fig. 6. Structural first-order phase transition

На рис. 6, а и б показаны структуры модели до и после фазового перехода первого рода. Используются символические обозначения:

- вершина *e* лежит в факторе 1 локальностей А и В (принадлежит области выбора 1-1);
- вершины *a* и *b* лежат в факторе 2 локальностей А и В (принадлежат области выбора 2-2);
- вершина *c* является вершиной базы синглета локальности В (не принадлежит ядру локальности А);
- вершина *d* вершина базы синглета локальности В (может не входить в локальность А);
- сплошная линия представляет ребро, знак которого не меняется в модели и отвечает эталону;
- штрихпунктирная линия представляет ребро, знак которого изменен в соответствии с эталоном;
- полужирная линия представляет базу синглета;
- штриховая линия указывает на ребро, знак которого не отвечает эталону.

Эталоны каждого участника взаимодействия по модели вида SWI обладают характерными симметриями, рис. 7.

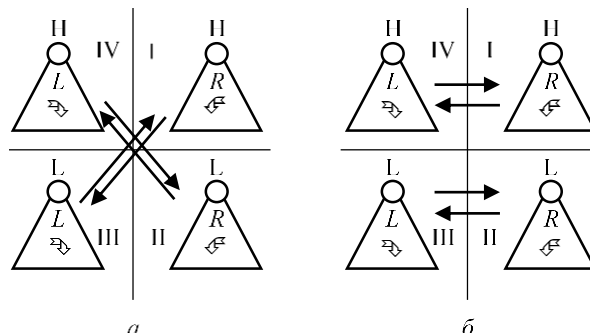


Рис. 7. Характерные симметрии участников взаимодействия по модели SWI
Fig. 7. Characteristic symmetries of interaction participants in accordance with SWI-model

Эталоны состояния (I, IV и II, III), расположенные по горизонтали, имеют одинаковый уровень и разную ориентацию. Эталоны состояния одного и того же стереотипа (I, II – R) и (IV, III – L), расположенные по вертикали, отличаются уровнем, но имеют одинаковую ориентацию. Эталоны состояния (I, III и IV, II), расположенные по диагоналям, зеркально симметричны. Они различаются по уровню и по ориентации. Модель вида SWI воплощает согласованную смену эталонов состояния двух собственных качеств системы.

При фазовом переходе первого рода резкое изменение состояния (скачок уровня значения) одного из участников подчиняется пространственно-зарядовой симметрии (переход по диагонали на рис. 7). При этом состояния до и после скачка уровня величины («заряда») различаются только уровнем значения особой вершины. Все остальные вершины сохраняют уровни своих значений («заряд»), вследствие чего изменяется стереотип. Другой участник взаимодействия при таком фазовом переходе подчиняется пространственной симметрии (переход по горизонтали на рис. 7). При этом состояния до и после фазового перехода различаются стереотипом при неизменном уровне значения особой вершины.

В полной модели вида SWI фазовый переход 1-го рода может быть «размыт» вследствие локальных флуктуаций (блокировка базы синглета). Переход осуществляется как переход 1-го рода, близкий фазовому переходу 2-го рода, рис. 8.

В модели осуществляется выбор одной из двух локальностей (А или В в области выбора 1-1 или 2-2). Вершины из области выбора указывают на центр порядка, который устанавливает знак на ребре А-В в соответствии со своим стереотипом. На рис. 8, а и в область выбора является домен 1-1, область выбора на рис. 8, б и г – домен 2-2. При выборе центра порядка В в области 1-1 знак

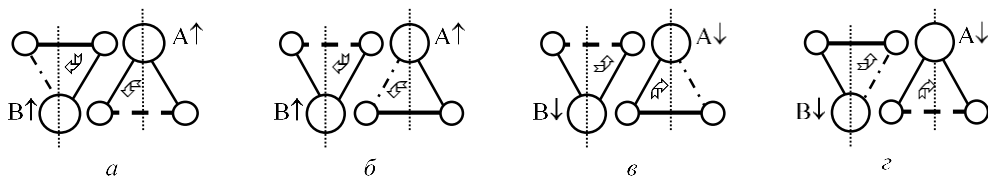


Рис. 8. Фазовый переход 1-го рода в полной модели вида SWI с блокировкой базы синглета
 Fig. 8. First-order phase transition in full SWI-model where singleton base is blocked

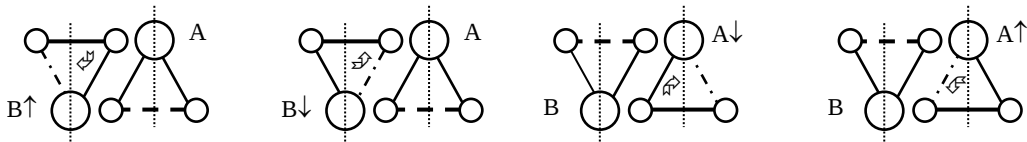


Рис. 9. Фазовый переход 2-го рода в модели вида SWI при изменении «магнитоструктурной» симметрии
 Fig. 9. Second-order phase transition in SWI-model where «magnetostructural» symmetry is changed

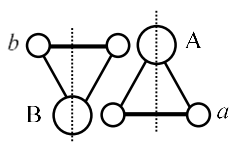


Рис. 10. Неосновной тип модели вида SWI
 Fig. 10. Non-basic type of SWI-model

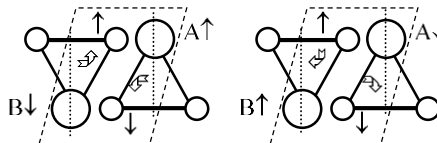


Рис. 11. Два направления ориентации в неосновных типах модели вида SWI
 Fig. 11. Two direction of orientation in non-basic types of SWI-model

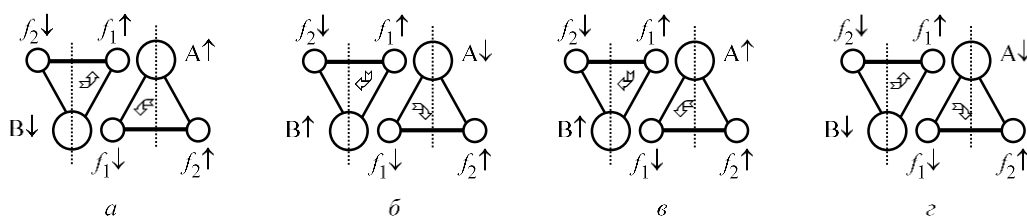


Рис. 12. Основное состояние и три возбужденных состояния модели вида SWI
 Fig. 12. Base state and three excited states of SWI-model

связи на ребре А-В сохраняется (соответствует эталону локальности В). При выборе центра порядка А знак связи на ребре А-В соответствует эталону локальности А. При выборе центра порядка А (В) в области 2-2 знак связи на ребре А-В меняется на противоположный в соответствии с эталоном локальности А (В).

Фазовый переход второго рода связан с изменением «магнитоструктурной» симметрии, рис. 9.

В модели осуществляется выбор одного центра порядка (А или В), локальность которого *актуализируется*, тогда как локальность другого центра порядка *полностью блокируется*. Элементы модели имеют атрибуты ориентации выбранной локальности. При фазовых переходах второго рода невозможно сосуществование двух фаз. Атрибуты общей ориентации изменяют непараллельное направление на параллельное.

Неосновные типы модели характеризуются отсутствием дополнительного ребра (b-a), рис. 10.

Вершины b и a разные и, как правило, принадлежат каждая только одной своей локальности. В этом типе модели синглеты слабо связаны.

Локальности «соприкасаются» по общему боковому ребру. Симметрия синглета допускает два направления ориентации, рис. 11.

В основном состоянии базы синглетов сохраняют знак связи, происходит смена знака на общем боковом ребре, стереотипы синглетов согласованы и существуют вместе, рис. 12, а. В основном состоянии имеет место упорядоченное состояние модели.

В возбужденных состояниях (их три) наблюдается место отклонение какого-то элемента модели от упорядоченного состояния. Для первого возбужденного состояния знак на общем боковом ребре сохраняется, но требуется смена знака на другом ребре, что недопустимо для согласованной эталонной разметки и обуславливает диссимметрии в модели, рис. 12, б. Во втором и третьем возбужденных состояниях требуются одновременно смена и сохранение знака на общем боковом ребре, что невозможно и приводит к актуализации эталона состояния качества только одной локальности, рис. 12, в и г.

3. Модель вида MIX не двойственная. Особая вершина синглета принадлежит какому-то фактору локальности. Вершины базы синглета лежат в разных факторах локальности.

Далее рассматривается вариант модели, построенный для первого фактора. При этом база синглета – *противоречивое ребро* в локальности А, ее знак изменен и противоположен знаку базы (п/ж штриховая линия) в локальности В. Рассмотрение второго варианта аналогично первому.

Особые вершины А и В занимают разные положения в окружении других вершин полной модели взаимодействия. Вершина А находится в *тетраэдрическом* окружении, вершина В – в *октаэдрическом* окружении, рис. 13.

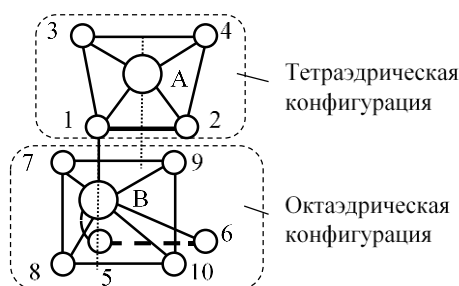


Рис. 13. Конфигурации положений особых вершин в полной модели вида MIX
Fig. 13. Configuration of special vertices's positions in full MIX-model

В окружение вершины А входят четыре вершины (вершины 1 и 2, представляющие ядро локальности, и 3 и 4 из разных факторов, представляющих окружение ядра локальности). Окружение вершины В включает шесть вершин (5 и 6 – базы синглета, и 7–10 – из четырех доменов полной модели (включая области попарного пересечения факторов локальностей А и В)). Вершины А и В являются центрами притяжения для вершин своего окружения – *лигандов* (термин заимствован из физики [24]).

Как правило, особая вершина синглета В входит в ядро локальности А, рис. 14, а. В этом слу-

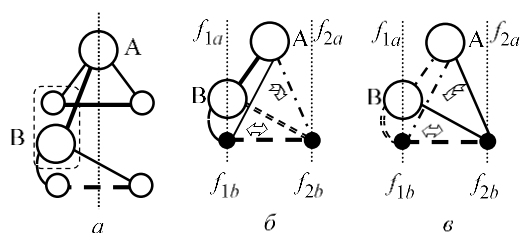


Рис. 14. Сильно выраженная локальность А эталонной формы в модели вида MIX
Fig. 14. Strongly expressed locality «A» of ideal form in MIX-model

чае наблюдается упорядоченное распределение особых вершин в октаэдрической конфигурации. Эталонная форма модели проявляет системный механизм *блокировки синглета В*. В локальности А синглет с особой вершиной В не актуален. Атрибут общей ориентации синглета В не определен (ориентационный момент вершины В – нулевой, вершина не имеет атрибута ориентации). Такая ситуация характерна для *эталонной формы* локальности с центром порядка А (локальность А актуальна и сильно выражена).

Системный механизм локальности А полностью подчиняет системный механизм локальности В. Вершина базы синглета из правого фактора (f_{2b}) подчиняется не эталону синглета (двойная штриховая линия), а эталону локальности (штрихпунктирная линия). Ядро локальности В разрушается из-за неопределенности ее стереотипа (символ « $\Leftrightarrow$ »), рис. 14, б.

Вершина базы синглета из левого фактора (f_{1b}) не подчиняется эталону синглета, а подчиняется эталону локальности А. Возникает неопределенность стереотипа синглета и, соответственно, локальности В, частью ядра которой является синглет, рис. 14, в).

Модель, симметричная модели в эталонной форме, проявляющая механизм подавления центра порядка локальности А, имеет *первую* неэталонную форму. В ней не определен атрибут ориентации особой вершины А в области взаимодействия (смена знака базы ядра локальности). Ориентация центра порядка В – любая, рис. 15.

Вершина базы синглета из правого фактора (f_{2b}) подчиняется эталону синглета (штрихпунктирная линия) и не подчиняется эталону локальности (двойная штриховая линия). Ядро локальности А разрушается из-за неопределенности ее стереотипа (символ « $\Leftrightarrow$ »), рис. 15, б. Вершина базы синглета из левого фактора (f_{1b}) подчиняется эталону синглета, но не эталону локальности А. Возникает неопределенность стереотипа локальности, рис. 15, в).

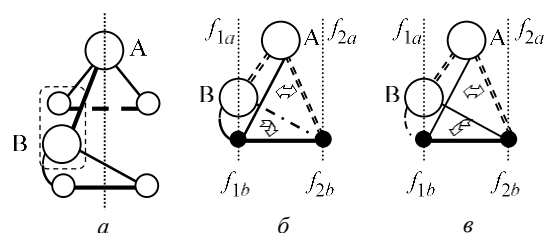


Рис. 15. Модель вида MIX в первой неэталонной форме
Fig. 15. MIX-model in first non-ideal form

Вторая пара неэталонных форм модели проявляет механизмы *синхронии* и *асинхронии*. Синхрония и асинхрония рассматриваются как аналоги подобия. На рис. 16 и 17 представлены две неэталонные формы модели вида MIX, в которых механизмы взаимодействия участников подобны механизмам, реализующимся в модели вида SIM.

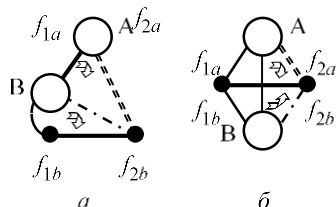


Рис. 16. Модель вида MIX, проявляющая механизм синхронии

Fig. 16. MIX-model manifesting synchrony mechanism

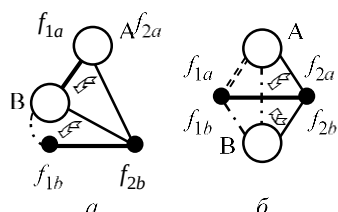


Рис. 17. Модель вида MIX, проявляющая механизм асинхронии

Fig. 17. MIX-model manifesting asynchrony mechanism

Первая модель этой пары характеризуется сохранением знака связи на базе синглета и сменой знака связи на боковом ребре синглета, соединяющего особую вершину и вершину базы, принадлежащие разным факторам локальности, рис. 16, а. Знак связи f_{2b} с особой вершиной локальности сохраняется, эталону локальности не подчиняется. Знак связи между особыми вершинами отвечает эталону. Между особыми вершинами устанавливается взаимосвязь по принципу сходства характера изменчивости величин (вариант синхронии), рис. 16, б.

Вторая модель пары характеризуется сохранением знака связи на базе синглета и сменой знака связи на боковом ребре синглета, соединяющем особую вершину и вершину базы, принадлежащие одному и тому же фактору локальности, рис. 17, а. Статистический знак связи между особыми вершинами модели изменяется на противоположный. Знак связи между А и f_{1a} не отвечает эталону А. Между особыми вершинами устанавливается взаимосвязь по принципу сходства изменчивости величин (вариант асинхронии), рис. 17, б. Как правило, системный механизм ло-

кальности с центром порядка В более проявлен, чем механизм локальности с центром А.

Третья пара неэталонных форм модели вида MIX реализует механизм *предпочтения*. Атрибуты ориентации особых вершин А и В имеют противоположные направления. В полной модели такого взаимодействия все вершины окружения подчиняются либо центру порядка А, либо центру порядка В. В первом случае стабилизируется состояние особой вершины А, во втором случае – состояние особой вершины В.

Главные осевые симметрии локальности А и синглета В можно рассматривать как параллельные. Атрибуты общей ориентации локальностей А и В направлены противоположно. Знак ребра А-В отвечает эталону локальности А и не отвечает эталону локальности В, рис. 18.

«Намагниченность» подрешетки, образованной центром порядка А, больше, чем «намагниченность» подрешетки центра порядка В. Энергия особой вершины А выше энергии особой вершины В, вследствие чего уровень величины А на шкале энергий взаимодействия находится вблизи М-области, а уровень величины В принадлежит L- (Н-) области [3]. Системный механизм локальности А более выражен, чем системный механизм локальности В. Центр порядка А предпочтительнее центра порядка В. На рис. 19 атрибуты общей ориентации локальностей А и В направлены противоположно. Знак ребра А-В не отвечает эталону локальности А, но отвечает эталону локальности В.

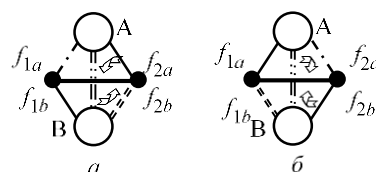


Рис. 18. Модель вида MIX, проявляющая механизм предпочтения центра порядка А

Fig. 18. MIX-model manifesting preferences mechanism for A-order center

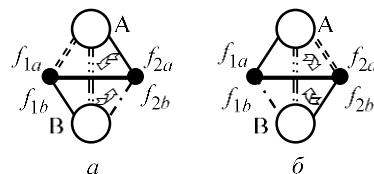


Рис. 19. Модель вида MIX, проявляющая механизм предпочтения центра порядка В

Fig. 19. MIX-model manifesting preferences mechanism for B-order center

«Намагниченность» подрешетки, образованной центром порядка В, больше, чем «намагниченность» подрешетки центра порядка А. Энергия особой вершины В выше энергии особой вершины А, вследствие чего уровень величины В на шкале энергий взаимодействия находится вблизи М-области, а уровень величины А принадлежит L- (Н-) области. Эталон локальности В демонстрирует более сильный системный механизм, чем эталон локальности А. Центр порядка В предпочтительнее центра порядка А.

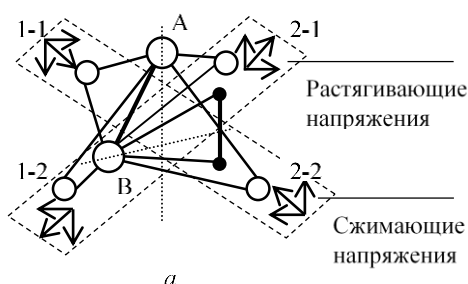
4. Модель вида SEP состоит из двух синглетов с разными особыми вершинами и разными базами. Вершина А – центр порядка локальности, вершина В – особая вершина синглета, включенного в локальность А. Особая вершина синглета лежит в одном факторе локальности, а база синглета – в другом ее факторе.

В модели вида SWI имеет место *прямое* «обменное» взаимодействие между центрами порядка локальностей. В модели вида SEP реализуется *косвенный* обмен между центрами порядка, совершающийся через *лиганды* – элементы одного из четырех доменов 1-1, 2-2, 1-2, 2-1 *полной модели* [22].

Если в локальности А существует модель вида SEP с особой вершиной В, то в локальности В существует модель вида SEP с особой вершиной А, и наоборот. Этот факт выражает *двойственность* модели вида SEP.

Модель вида SEP характеризуют:

- вхождение особой вершины синглета в локальность, но не в ядро локальности;
- принадлежность общей вершины баз синглетов ведущему фактору в каждой из двух локальностей в составе модели;
- принадлежность особой вершины А (В) подчиненному фактору локальностей;
- взаимодействие особых вершин локальности А и синглета В через лиганды, имеющие в полной модели ориентационный момент;
- наличие главной ориентационной оси, являющейся осевой симметрией локальности;



– принадлежность синглета базисной плоскости локальности.

Модель вида SEP раскрывает механизм разделения уровней «зарядов» особых вершин локальностей – участников двухчастичного взаимодействия. Результат действия этого механизма отображается на специальной шкале разделения уровней «зарядов», рис. 20. Эта шкала получена эмпирически.

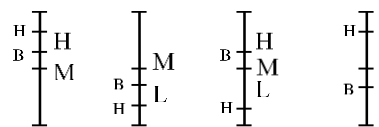


Рис. 20. Шкала разделения уровней «зарядов»

Fig. 20. Division scale for «charge» levels

Основой шкалы служит «*шкала энергий*», характеризующая «заряд» особой вершины локальности. Каждая особая вершина может принимать одно из двух значений «заряда» (Н или L). Эти значения *зеркально симметричны* на шкале разделения уровней [22]. Они отвечают эталонным состояниям собственных качеств системы, в которых уровень энергии системы минимален. На шкале имеется точка инверсии, отвечающая «заряду» М. В этой точке уровень энергии системы максимален. *Области Н и L* шкалы разделения уровней *зеркально симметричны* относительно точки М.

В зависимости от расположения синглета в базисной плоскости локальности модель вида SEP имеет *четыре типа*. Для каждого типа определена область выбора одной из двух особых вершин модели, подчиняющей себе окружение.

Особые вершины в модели *неравноправны*, они делятся на *выбранную* (в) и *невывбранную* (н) (рис. 20). В модели возможны четыре варианта сочетаний «зарядов» особых вершин (Н-Н, L-L, Н-L, L-H). Каждый вариант представляется на шкале разделения уровней «зарядов» с учетом принадлежности особой вершины к (в) или к (н). В символическом обозначении вариантов первый уровень значения относится к (в), второй уровень – к (н).

Первый тип модели вида SEP: особая вершина синглета В лежит в факторе 1 локальности А

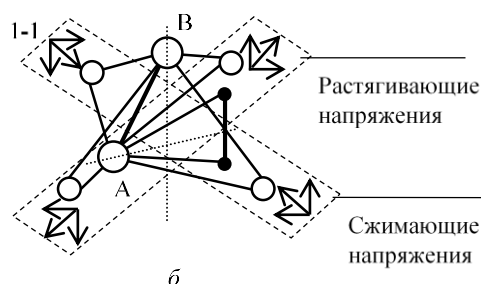


Рис. 21. Модель вида SEP первого типа

Fig. 21. SEP-model of first type

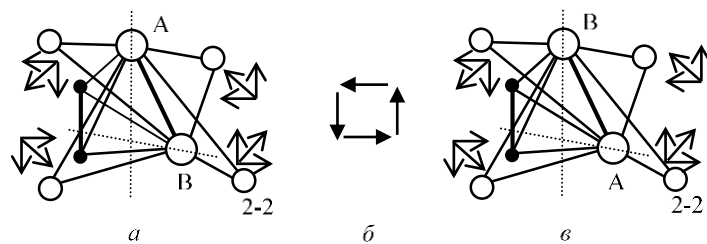


Рис. 22. Модель вида SEP второго типа
 Fig. 22. SEP-model of second type

(вершина A – центр порядка локальности); вершины базы (п/ж точки) лежат в факторе 2 локальности A, рис. 21, а.

Четыре домена полной модели вида SEP представлены каждой одной вершиной (малая окружность); стрелки «↓» и «↑» отвечают ориентации вершин фактора 1 и фактора 2 локальности A соответственно; стрелки «→» и «←» отвечают, соответственно, ориентации вершин фактора 1 и фактора 2 синглета B, расположенного в базисной плоскости локальности A.

Двойственная модель, в которой вершина A – особая вершина синглета, а вершина B – центр порядка локальности приведена на рис. 21, б).

В обеих структурах домены «1-1» («2-2») имеют одинаковый состав вершин. Состав вершин домена «1-2» в первой структуре совпадает с составом вершин домена «2-1» во второй структуре и наоборот.

Модель вида SEP – *напряженная система*, в которой наблюдается *смена знака* на одном ребре в области выбора (символ «1-1»). Атрибуты ориентации вершин в области выбора и в противоположном ей домене «2-2» определяют характер напряжения *сжатия* (ориентационные моменты направлены «голова-к-голове»). Атрибуты ориентации вершин в домене «1-2» и в противоположном домене «2-1» определяют характер напряжения *растяжения* (ориентационные моменты направлены «хвост-к-хвосту»). В целом такая структура модели отражает напряжение *изгиба* (сжатие одной части и растяжения другой).

Порядок ориентации элементов модели первого типа вызывает напряжение в отношениях между элементами, следствием которого является *неравноценность связей* в «кристаллическом теле» системы. Деформирующее воздействие создает условия для выделения *полярного направления и разделения «зарядов»* («электрической поляризации»).

Эталонная форма «YY» модели первого типа – стереотипы локальностей A и B «Right/Right», область выбора – 1-1 (*сжимающие напряжения*).

Второй тип модели вида SEP: особая вершина синглета B лежит в факторе 2 локальности A (вершина A – центр порядка локальности), вершины базы лежат в факторе 1 локальности A, рис. 22, а. Двойственная модель, в которой вершина A – особая вершина синглета, а вершина B – центр порядка локальности, показана на рис. 22, б.

Устройство модели SEP второго типа характеризуют четыре домена, которые в совокупности задают *тороидное упорядочение* (по кругу «хвост-к-голове») ориентационных моментов, рис. 22, б [25]. Домен 2-2 – это область выбора центра порядка локальности (A или B). Вершины домена подчиняются выбранной локальности, в результате чего в области выбора возникает *диссимметрия* в отношении невыбранной локальности и происходит перераспределение ориентационных моментов, вызывающее *поляризацию «зарядов»*.

Эталонная форма «YY» модели второго типа – стереотипы локальностей «Left/Left». Область выбора – 2-2 (*сжимающие напряжения*).

Третий и четвертый типы модели вида SEP: структуры данных типов образованы на основе структур первого и второго типов модели. Структуры этих моделей – разные. Модели первого и второго типов – *двойственны*. Модели третьего и четвертого типов – *также двойственны*. Структуры моделей третьего и четвертого типов инвариантны к перестановке вершин A и B.

В третьем типе модели особая вершина синглета B принадлежит фактору 1 локальности A, а особая вершина синглета A – фактору 2 локальности B, рис. 23.

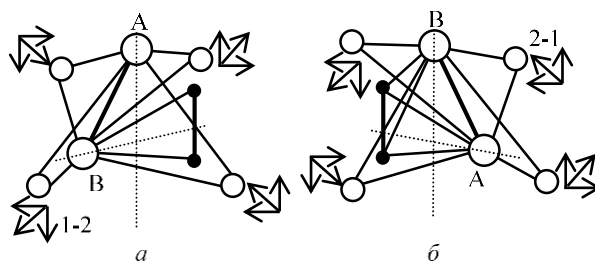


Рис. 23. Модель вида SEP третьего типа
 Fig. 23. SEP-model of third type

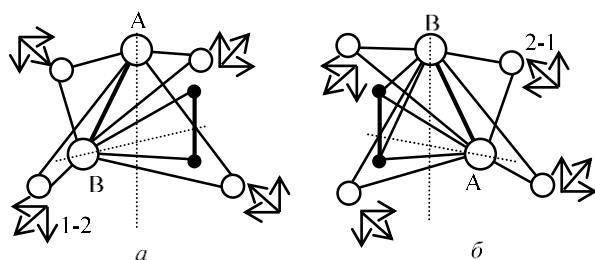


Рис. 24. Модель вида SEP четвертого типа
Fig. 24. SEP-model of fourth type

В четвертом типе модели реализуется противоположная конфигурация, рис. 24.

Эталонная форма «УУ» модели третьего типа – стереотипы локальностей «Right/Left». Область выбора – 1-2 (*растягивающее напряжение*). Эталонная форма «УУ» модели четвертого типа – стереотипы локальностей «Left/Right». Область выбора – 1-2 (*растягивающее напряжение*).

Устройство моделей SEP третьего и четвертого типов характеризуют четыре домена, образующие попарно области сжимающих (ориентационные моменты направлены «голова-к-голове») и растягивающих напряжений (ориентационные моменты направлены «хвост-к-хвосту»). В отличие от модели первого типа, в которой существует деформация изгиба типа «сжатие-растяжение», в моделях третьего и четвертого типов проявляется деформация изгиба типа «растяжение-сжатие». Деформация изгиба вызывает поляризацию «зарядов». Шкала разделения уровней для напряжения «растяжение-сжатие» – такая же, как для типов 1 и 2, но упругая деформация в эталоне – «растягивающее напряжение».

Центры порядка в «кристаллическом теле системы» находятся в окружении других вершин полной модели взаимодействия (лигандов), рис. 25. Окружение центра порядка А отличается от окружения центра порядка В. В окружение вершины А входят четыре вершины (вершины 1 и 2, представляющие ядро локальности, и вершины 3 и 4 из разных факторов, представляющих окружение ядра локальности – тетраэдрическая конфигурация). Окружение вершины В включает шесть вершин (вершины 5 и 6 базы синглета и по одной вершине 7–10 из четырех доменов полной модели – октаэдрическая конфигурация).

В любой отдельно взятой локальности центр порядка ее эталона имеет определенный «заряд» (Н или L). В модели двухчастичного взаимодействия вида SEP «заряд» разделяется так, что соответствующий заряд центра порядка выходит на определенный энергетический уровень. Этот уро-

вень определяется окружением центра порядка. Взаимодействие по модели SEP осуществляет выбор одного из двух имеющихся центров порядка (например, А). Для вершины А энергетический уровень имеет на шкале разделения уровней метку «в», для вершины В – метку «н» (см. рис. 20).

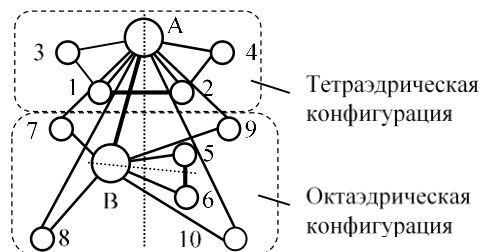


Рис. 25. Конфигурации положений особых вершин в полной модели вида SEP
Fig. 25. Configuration of special vertices' positions in full SEP-model

Модель вида SEP имеет три неэталонные формы: «OS», «OO», «BB». Далее рассматриваются неэталонные формы модели, построенные для первого типа модели вида SEP.

Первая неэталонная форма «OS»: Ребро А-В сохраняет знак статистической связи между центром порядка локальности А (В) и особой вершиной В (А) синглета, рис. 26. В локальности В особая вершина включенного в нее синглета А отвечает эталону этой локальности, а в локальности А особая вершина включенного синглета В не подчиняется эталону этой локальности.

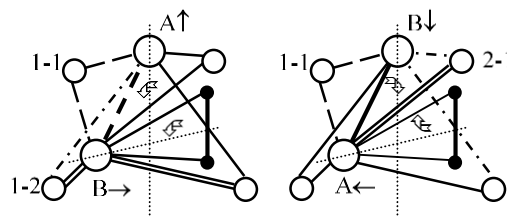


Рис. 26. Полная модель вида SEP в форме «OS»
Fig. 26. Full SEP-model in the «OS» form

В модели формы «OS» первая часть двойственной модели (левая часть рис. 26) проявляет нарушение симметрии в отличие от эталонной формы. В локальности А особая вершина синглета В выделяет область 1-2 полной модели взаимодействия SEP. В этой области проявляется частный механизм локальности В, согласованно действующий с механизмом локальности А. Область 1-2 является областью *растягивающего* напряжения (см. рис. 2). Вершина В – центральная вершина в *октаэдрическом* окружении. Конфигурация вершин представляет собой деформированный октаэдр вследствие изменения напря-

жения (относительных длин) связей. Искажение октаэдрического комплекса понижает симметрию и энергию, в результате чего вершина В демонстрирует *локальный экстремум* в L- или H-области.

Вторая часть двойственной модели формы «OS» (правая часть рис. 26) имеет элементы диссимметрии, связанные с областью 1-1. Эталон локальности В не требует смены знаков на ребрах, связывающих вершины А и В с вершинами области 1-1, тогда как эталон локальности А требует смены этих знаков. Вершина А – центральная вершина *тетраэдрической* конфигурации. Если вершины области 1-1 подчинены эталону А, то «заряд» особой вершины А определяется по шкале разделения уровней «зарядов». Иначе симметрия тетраэдрической конфигурации понижается, что сопровождается понижением энергии состояния этой системы, и вершина А демонстрирует *локальный экстремум* «заряда».

Во второй неэталонной форме модели «ОО» знак связи между центром порядка локальности А (В) и особой вершиной синглета В (А) изменился на противоположный. Это противоречит эталонам состояния собственных качеств модели, не требующим смены знака на данной связи, рис. 27.

Во второй неэталонной форме модели «ОО» обе части двойственной модели симметричны. Частный механизм локальности А проявляется в факторе 1 локальности В. Частный механизм локальности В проявляется в факторе 1 локальности А.

В локальности А (В) особая вершина синглета В (А) выделяет область 2-2 полной модели взаимодействия SEP. Область 2-2 – это область *сжимающего* напряжения. Вершины А и В – центральные вершины в своем *октаэдрическом* окружении. Сжатие октаэдрического комплекса оказывает противоположное действие по сравнению с растяжением комплекса, характерной для первой неэталонной формы модели «OS». Симметрия модели повышается, повышается и энергия, в результате чего центры порядков А и В принадлежат М-области на шкале разделения уровней «зарядов».

Для третьей неэталонной формы модели «BB» характерно соответствие эталону локальности уровня особой вершины синглета и инверсия уровней базы синглета, рис. 28. Модель данного типа возникает на базе модели типа «YY», в которой вершины баз синглетов SEP изменяют уровень значений на противоположный, и вследствие этого каждый синглет меняет стереотип поведения.

При взаимодействии по форме «BB» главным вопросом является выявление области выбора (2-2), противоположной области выбора в модели «YY», отвечающей за выбор особой вершины, способной существенно (*вплоть до скачка* в противоположную область изменчивости) изменить значение в пределах области уровня этой величины в состоянии системы, следующим за текущим состоянием.

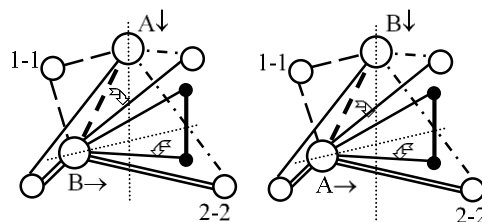


Рис. 27. Эффект сжатия октаэдрического комплекса центральных вершин

Fig. 27. «Pressure» effect for octahedral complex of central vertices

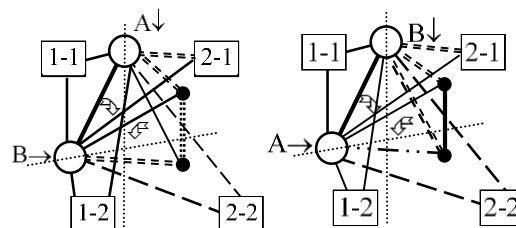


Рис. 28. Эффект блокировки синглета

Fig. 28. Blocking effect of singleton

Как правило, в одной локальности база синглета блокирована, а в другой локальности синглет актуализирован. Возможна ситуация, когда базы обоих синглетов блокированы (актуализированы).

При актуальном синглете SEP уровни вершин его базы не отвечают эталону локальности, в которую вписан синглет. При блокированном синглете SEP уровень одной вершины его базы отвечает эталону локальности, а уровень другой вершины противоречит эталону.

Синглет SEP вносит возмущение в фактор локальности, которому принадлежит база синглета. Это возмущение распространяется не только на вершины базы синглета, но и на вершины доменов соответствующего фактора локальности. Вершины доменов противоположного фактора локальности отвечают эталону локальности.

В области выбора определяется центр порядка, наделенный более выраженным системным механизмом. Второй центр порядка в модели выражен слабее и обладает способностью к значительному изменению своего значения на следующем шаге.

5. Модель вида ABS – не двойственная, имеет структуру, аналогичную структуре модели вида SEP. Особая вершина синглета входит в ядро локальности. Рассматривается вариант расположения особой вершины синглета во втором факторе, а его базы – в первом факторе локальности.

Модель вида ABS характеризуют:

- прямое взаимодействие (через общее боковое ребро ядра) между особыми вершинами локальности A и синглета B;
- совпадение главной ориентационной оси модели с осью симметрии локальности;
- расположение синглета ABS в базисной плоскости локальности.

Модель вида ABS дополняет до двойственной структуры одиночную (не двойственную) модель SEP и выполняет функцию этой модели. Еще одна отличительная функция модели такого вида – способность *частично блокировать* локальность A или *полностью поглощать* ее локальностью B.

Особая вершина синглета B лежит в ядре локальности A. Часто особая вершина локальности A принадлежит ядру локальности B. Но модель ABS – не двойственная.

Вершины A и B – разные, занимают неэквивалентные позиции, смена мест этих вершин дает антисимметричную структуру. Стереотипы локальностей A и B связаны (общее ребро A-B входит в ядро локальности A).

В эталонной форме модели вида ABS ориентация вершины B коллинеарна ориентации вершины A, рис. 29, а.

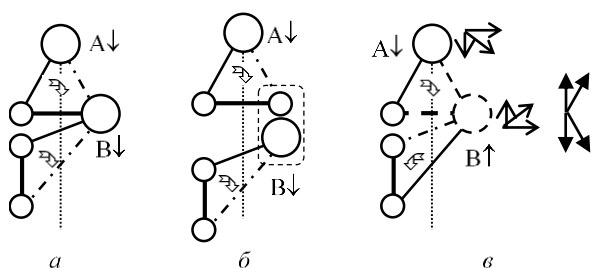


Рис. 29. Модель взаимодействия вида ABS
Fig. 29. ABS-interaction model

Эталоны двух локальностей сосуществуют. Центр порядка локальности B подчиняется центру порядка локальности A. Осевая симметрия локальности A сохраняется. Центр порядка локальности B может стать особой вершиной синглета-участника взаимодействия по модели вида SEP, рис. 29, б. Формы модели, представленной в таком формате, аналогичны формам модели вида SEP.

В режиме блокировки центр порядка B не подчиняется эталону локальности A. Поскольку вершина B относится к одной или большему числу баз ядра локальности A, знак ребра A-B сохраняется и меняются знаки соответствующих баз ядра локальности A. Ось высокой симметрии локальности A нарушается (в пределе возможно разрушение локальности и ее поглощение локальностью B).

Локальность с центром порядка A – главная, она задает направление всех ориентационных моментов. При неподчинении центра порядка B эталону локальности A ориентационные моменты эталона локальности B действуют как внешнее возмущение, перпендикулярное оси высокой симметрии локальности A. Ориентационные моменты центров порядка A и B поворачиваются навстречу друг другу, ослабляя главную осевую симметрию локальности A.

6. Модель вида DIV – двойственная, включает синглет как целое (особая вершина и база) в один фактор локальности. Особая вершина синглета, как правило, не принадлежит ядру локальности.

В эталонных представлениях эту модель характеризуют:

- принадлежность общей вершины баз ведущему фактору в каждой из двух локальностей в составе модели (как в модели SEP);
- принадлежность особой вершины A (B) ведущему фактору локальностей (в отличие от модели SEP);
- принадлежность всех вершин синглета DIV одному и тому же фактору локальности (далее рассматривается вариант принадлежности синглета фактору 1);
- стереотипы сохраняют знак на ребре, соединяющем особые вершины (в отличие от модели SEP).

В модели вида DIV действуют ориентационные моменты вершин, атрибутированная структура отношений, уровни «зарядов». Эталонная форма модели: центры порядка A и B различны, обе части двойственной модели симметричны. Каждая локальность образует в модели свою подрешетку. «Магнотрипликация» в структуре отношений не проявляется.

В зависимости от расположения синглета с особой вершиной B (A) в факторах локальности A (B) и симметрии (зеркальной симметрии) двойственной структуры модель вида DIV имеет *четыре типа*, рис. 30.

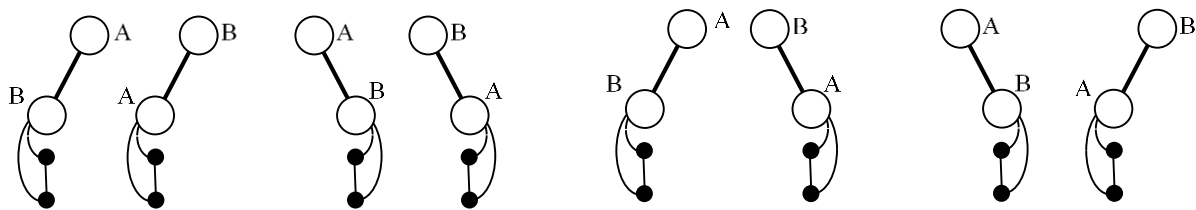


Рис. 30. Четыре типа модели вида DIV
 Fig. 30. Four types of DIV-model

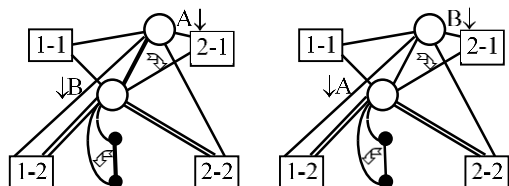


Рис. 31. Полная двойственная модель вида DIV первого типа в эталонной форме
 Fig. 31. Full dual DIV-model of first type in ideal form

Полная двойственная модель DIV первого типа в эталонной форме представлена на рис. 31. Ориентационные моменты особых вершин A и B сонаправлены. Локальности A и B имеют одинаковые стереотипы «Left». Ребра структуры модели, отвечающие стереотипу «Left», показаны как прямые линии. Ребра, выделенные двойной линией, изменяют знак вследствие гармонизации противоречий в локальностях. Эталонная форма модели означает предельную упорядоченность структуры модели и ориентационных моментов в ней, чему соответствует характерные для эталона минимумы энтропии и энергии. В этом состоянии уровни особых вершин модели имеют экстремальные значения.

Первая неэталонная форма модели «OS» приведена на рис. 32. Стереотип локальности A по отношению к эталонной форме модели изменился с «Left» на «Right».

Ориентационные моменты особых вершин разнонаправлены. В локальности A знак связи A-B изменился в соответствии со стереотипом. В локальности B смена знака ребра A-B не отвечает стереотипу (п/ж пунктирная линия). Ребра, выделенные двойными линиями, меняют знак под стереотип B. Ребра, выделенные пунктирной линией, имеют знак, отличный от знака в локальности B. Первая часть модели имеет структуру отношений, отвечающую эталонной форме модели. Поэтому уровень величины A близок к экстремальному. Изменение ориентационного момента особой вершины A связано с изменением структуры отношений во второй части двойственной модели, что означает уменьшение упорядоченности (рост

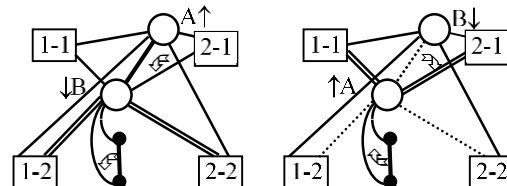


Рис. 32. Первая неэталонная форма «OS» модели вида DIV
 Fig. 32. First non-ideal «OS» form of DIV-model

энтропии) состояния системы. Уровень величины B смещается к M-области.

Вторая неэталонная форма модели «OO» приведена на рис. 33. Ориентационные моменты особых вершин A и B изменились на противоположные относительно эталонной формы модели. Ребра A-B и B-A двойственной модели не подчиняются стереотипу «Right». Смысл всех остальных ребер модели соответствует смыслу ребер в модели формы «OS». По отношению к эталонной форме обе части этой модели имеют другую структуру связей. Мера упорядоченности состояния модели в сравнении с эталонной формой уменьшилась (рост энтропии). Уровни величин особых вершин A и B должны сместиться в M-область.

Третья неэталонная форма модели «BB» приведена на рис. 34. Стереотипы «Right» локальностей A и B отличаются от стереотипов эталонной формы модели. Знак ребра между особыми вершинами в обеих частях двойственной модели отвечает стереотипам. Особая вершина синглета подчиняется стереотипу локальности, а вершины базы – нет. Если синглет блокирован, то не подчиняется только одна вершина базы, если синглет не блокирован, то не подчиняются обе вершины базы.

Включенный в локальность синглет имеет «неправильные» уровни величин в вершинах базы (неправильно вписан в локальность по своему стереотипу). Ориентационные моменты синглет-участников модели несогласованы. Симметрия структуры отношений в модели нарушается, что выражено в существенном изменении атрибутов ребер. В такой модели имеет место наиболее низкосимметричная структура.

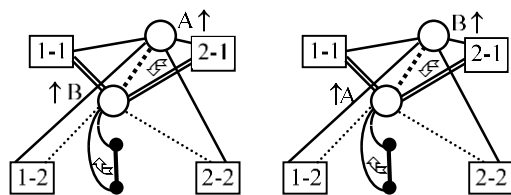


Рис. 33. Вторая неэталонная форма «ОО» модели вида DIV

Fig. 33. Second non-ideal «OO» form of DIV-model

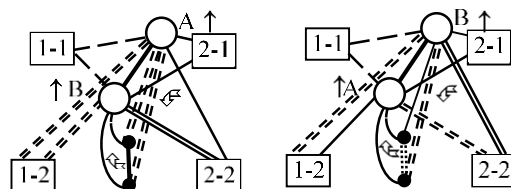


Рис. 34. Третья неэталонная форма «BB» модели вида DIV

Fig. 34. Third non-ideal «BB» form of DIV-model

Особая вершина выбранной локальности готова изменить уровень величины скачком либо в пределах своей области, либо уйти в другую область изменчивости $L(H)$.

Все рассмотренные четыре формы модели вида DIV являются типичными формами, наиболее характерными для этой модели. Менее характерны нетипичные формы, через которые обнаруживается связь модели с моделью вида SEP. Для нетипичных форм характерно:

- смена знака на ребре, соединяющем особые вершины;
- особые вершины локальностей находятся в подчиненном факторе синглета DIV;
- общие вершины баз локальности и синглета принадлежат подчиненному фактору синглета DIV, что отличает модель DIV от модели SEP.

На рис. 35 представлены: *a* – структура модели вида SEP; *б* – типичная форма модели вида DIV; *в* – нетипичная форма модели вида DIV.

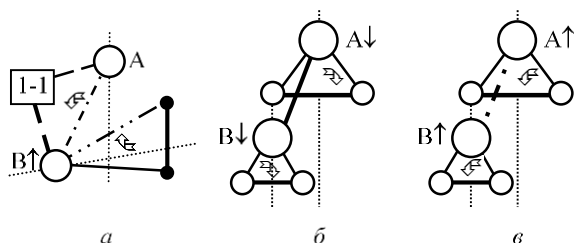


Рис. 35. Структура и формы модели
Fig. 35. Structure and forms of the model

Связь между видами моделей обнаруживается через смену атрибута ориентации центров порядка. Типичная и нетипичная формы модели имеют

одинаковую структуру, но отличаются в эталонной форме разными стереотипами. Стереотипы нетипичной формы совпадают со стереотипами эталонной формы модели вида SEP. В отличие от модели вида SEP модель вида DIV не имеет областей выбора. В статье нетипичные формы модели вида DIV не рассматриваются.

Обсуждение результатов. На уровне смысла определены и исследованы дублиеты двухчастичного взаимодействия *собственных качеств* (локальностей) системы. Дублиеты – *атрибутированные структуры*, отражающие способы «соприкосновения» ядер двух разных локальностей, представленных каждая интегральным синглетом своего ядра. Установлены *шесть видов* таких структур: SIM, SWI, MIX, SEP, ABS, DIV. Все эти виды структур рассмотрены нами по отдельности одна за другой. Структура каждого вида раскрывает *онтологию* характерной группы механизмов двухчастичного взаимодействия локальностей. *Дублиет каждого вида* порождает определенный объем знания об *онтологии разных типов* двухчастичных взаимодействий, характерных для этого конкретного вида. В свою очередь, *каждый тип* конкретного вида взаимодействия порождает свой объем знания об *онтологии особых форм механизмов*, отвечающих этому типу.

На уровне онтологии система воспринимается как «полиморфное твердое тело». Двухчастичные взаимодействия *собственных качеств* системы по моделям вида дублиетов формируют «кристаллическую фазу» состояния тела системы. Установлено полное множество моделей, раскрывающих онтологию двухчастичных взаимодействий *собственных качеств* системы. В состав этого множества входят: *шесть видов дублиетов*, все типы дублиетов каждого вида, все формы дублиетов каждого типа. Дублиеты имеют разметку атрибутами вершин («уровень величины», «ориентация»), атрибутом связей («смены знака»), атрибутом синглетов в целом (общая ориентация). В каждом отдельно взятом виде дублиета значения всех его атрибутов *согласованы и характерны* для каждого типа этого вида и для каждой формы того типа. Полное множество дублиетов с характерной согласованной разметкой раскрывает онтологию двухчастичных взаимодействий. Знание онтологии двухчастичных взаимодействий является общесистемным (*надпредметным*) знанием. Общесистемное знание усвоено фактом, укоренено в факте, «живет» в нем.

В реальном мире фундаментальную роль играют электромагнитные взаимодействия. Сфера их действия простирается от элементарных частиц и атомного ядра до космоса. *Связанность «электрических», «магнитных» и «деформационных» полей*, открытая физической наукой, особым образом проявлена в мире смыслов систем через атрибуты дублетов двухчастичных взаимодействий. Через атрибут «Уровень величины» («заряд») проявлено «электрическое» поле, через атрибут «Ориентация» – «магнитное» поле, через атрибут «Смена знака» – «деформационное» поле.

Для дублетов каждого вида на основе теории электромагнитоупругости физики твердого тела получены *физические аналоги основных механизмов двухчастичного взаимодействия*, вызывающих многовидовую изменчивость состояний «кристаллической фазы тела» системы.

1. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели SIM*. Система в системологии феноменального представлена семейством локальностей, проявляющих каждая одно уникальное собственное качество системы [1]–[3], [5], [6], [16]. На уровне онтологического знания система воспринимается как «твердое тело», имеет поликристаллическую структуру и состоит из *кристаллитов* (различно ориентированных кристаллов разного размера), являющихся локальностями системы.

«Двойникование» (термин заимствован из физики кристаллов [26]) синглетов в модели вида SIM проявляет «поворот» одной локальности в положение, симметричное другой локальности. При этом каждый синглет модели сохраняет свой центр порядка. В результате «двойникования» возникают закономерно разориентированные области внутреннего пространства системы, связанные *операцией симметрии*. Плоскость «двойникования» *когерентна*, поскольку синглеты, лежащие в этой плоскости, ориентированы одинаковым образом, а их вершины проявляют согласованную изменчивость.

2. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели SWI*. Эталонная форма модели вида SWI представляет две разные «*магнитные подрешетки*» с антипараллельной ориентацией особых вершин. Обе особые вершины лежат в ядрах взаимодействующих локальностей. Взаимодействие между особыми вершинами прямое.

Фазовыми переходами называют переходы из одного фазового состояния в другое, т. е. переходы, связанные с изменением взаимного располо-

жения молекул (атомов) и изменением термодинамических свойств вещества.

Фазы состояния системы различаются по структуре и по взаимной ориентации магнитных моментов. Фазовые переходы *первого рода* сопровождаются *гистерезисом*, фазовые переходы *второго рода* – изменением *симметрии*.

Фазовый переход первого рода при взаимодействии по модели вида SWI характеризуется изменением энергии и скачкообразным изменением магнитоструктурного состояния системы, связанным со сменой эталонов собственных качеств взаимодействующих локальностей. Каждый эталон представляет разные «магнитные» и «зарядовые» состояния системы. Полиморфные превращения кристаллических веществ. Эталоны состояний двух разных собственных качеств системы при этом могут сосуществовать (находиться в состоянии равновесия, т. е. сохранять постоянным объем тела).

Фазовый переход *второго рода* при взаимодействии по модели вида SWI характеризуется отсутствием изменения энергии, повышением магнитоструктурной симметрии, подчинением элементов модели выбранному центру порядка с блокировкой другого центра порядка. В результате взаимодействия состояние системы обладает большей симметрией.

3. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели вида MIX*. Эталонная и первая неэталонная формы модели вида MIX представляют системный механизм блокировки. Физической аналогией надпредметного смысла этого механизма может служить наличие *двухподрешеточной структуры* системы, в которой подрешетка первого (второго) участника взаимодействия – *магнитная*, а подрешетка второго (первого) участника содержит элементы, *не обладающие магнитными свойствами*.

Вторая пара неэталонных форм модели MIX раскрывает согласованную кооперативную изменчивость центров порядка локальностей.

Третья пара неэталонных форм модели MIX представляет механизм, реализующий при взаимодействии предпочтения центров порядка. Физической аналогией надпредметного смысла этого механизма может служить механизм распределения катионов переходных металлов в двухподрешетчатых структурах кристаллов, связанный с энергией стабилизации кристаллического поля.

Некоторые ионы имеют явное предпочтение одной из двух конфигураций (октаэдрической или

тетраэдрической). Если ионы А имеют сильное предпочтение октаэдрическому сайту, они вытеснят ионы В из октаэдрических сайтов в тетраэдрические сайты. Аналогично, если ионы В имеют низкую энергию стабилизации октаэдрического сайта, то они будут занимать тетраэдрические сайты, оставляя октаэдрические сайты для ионов А.

4. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели SEP.* Модель SEP выражает механизм разделения уровней «зарядов». Физической аналогией надпредметного смысла этого механизма может служить механизм расщепления энергетических уровней, разработанный в теории поля лигандов [27].

Все ионы кристалла создают некоторое кристаллическое поле, симметрия и сила которого определяется составом и структурой кристалла. Теория кристаллического поля описывает поведение атомных орбиталей ионов в локальном кристаллическом поле. Под воздействием внешнего поля изменяется энергия электрона на орбитали. В теории кристаллического поля рассматривается электронное строение центрального иона в центре *структурного полиэдра* (тетраэдра, октаэдра). Ионы, окружающие центральный ион, – лиганды. Вырожденный уровень центрального атома комплекса *под действием поля лигандов расщепляется в соответствии с симметрией окружения*.

Несоответствие вершин базы синглета эталону локальности трактуется как удаление этих вершин на бесконечное расстояние от центра порядка, что приводит к *деформации* октаэдрических комплексов в *плоскоквадратные* конфигурации. В этом случае одна орбиталь становится сильно дестабилизированной (менее устойчивой).

Неэталонные формы модели SEP имеют физическую аналогию *расщепления электронных уровней* центрального атома комплекса в соответствии с геометрией комплекса «правильный октаэдр», «искаженный (растянутый/сжатый) октаэдр» или «плоский квадрат» [28].

5. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели ABS.* Модель ABS раскрывает механизм блокировки локальности А. Физической аналогией надпредметного смысла этого механизма может служить явление слабого ферромагнетизма [29].

Локальность В блокирует базу синглета А, ось высокой симметрии локальности А нарушается, внешнее поле направлено перпендикулярно оси высокой симметрии, возникает *скос подре-*

шеток, появляется *слабый ферромагнитный момент*, векторы магнитных ионов ориентируются не строго антипараллельно (отклоняются на небольшой угол). Вектор слабого ферромагнетизма лежит в базисной плоскости, перпендикулярной главной оси. Возникновение *намагниченности* обусловлено поворотом моментов двух ионов навстречу друг другу. Ферромагнетизм проявляется в перпендикулярном направлении. Активность локальности В указывает на наличие внешнего возмущения, перпендикулярного оси высокой симметрии локальности А. Локальности А и В находятся под влиянием общего поля.

6. *Двухчастичное внутрисистемное взаимодействие по модели DIV.* Модель DIV проявляет механизм взаимосвязи ориентационных моментов вершин (*магнитная система*), атрибутированной структуры отношений (*решеточная структура*) с уровнями величин особых вершин (*энергетические уровни «заряда»*). Физической аналогией надпредметного смысла этого механизма может служить *явление магнитокалорического эффекта* [28], для обсуждения которого используются физические понятия энтропии, энергии и упорядоченности. Энтропия характеризует неупорядоченность расположения частиц в системе. Энергия характеризует интенсивность различных форм взаимодействия в системе. Упорядоченность характеризует структуру отношений с позиций взаимной согласованности ее элементов.

Суммарная энтропия магнитного материала, в котором намагниченность образуется благодаря локализованным магнитным моментам, может быть представлена как *сумма электронной, решеточной и магнитной частей энтропии*. Процесс выделения или поглощения тепла в *магнитокалорическом эффекте* можно объяснить тем, что при наложении магнитного поля подсистема магнитных моментов изменяет свою энтропию. *При условии адиабатичности это изменение передается кристаллической решетке*, что приводит к увеличению ее энтропии. *При адиабатическом выключении магнитного поля происходит разрушение магнитного порядка*, что приводит к возрастанию магнитной энтропии и, соответственно, уменьшению энтропии кристаллической решетки. Другими словами, процесс разрушения магнитного порядка (размагничивания) в подсистеме магнитных моментов требует энергии, которая поставляется кристаллической решеткой. Таким образом, *при адиабатическом намагничивании и размагничивании вещества происходит*

обратимый процесс перехода энтропии от магнитной подсистемы к решетке и обратно, т. е. магнитокалорический эффект в материалах есть результат изменения энтропии вследствие изменения спиновой магнитной подсистемы под действием магнитного поля.

Выводы. Локальности, каждая из которых представляет уникальное собственное качество системы, являются образующими ее «полиморфного твердого тела», воспринимаемого как единство всех взаимодействующих между собой собственных качеств системы. Внутрисистемные взаимодействия локальностей рассматриваются как двух-, трех- и многочастичные. Двухчастичные взаимодействия раскрываются через модели дублетов и псевдодублетов. Дублеты формируют «кристаллическую фазу тела» системы, а псевдодублеты – «аморфную фазу». Общий анализ двухчастичных взаимодействий, проявленных через дублеты всех видов (SIM, SWI, MIX, SEP, ABS, DIV), опубликованы в [22]. Модели двухчастичных взаимодействий по моделям псевдодублетов требуют отдельного исследования и в этой статье не рассматривались.

В статьях [18], [20] опубликованы результаты исследования структурных инвариантов двухчастичных взаимодействий по моделям дублетов базовых видов (SIM и SWI), возникающих в условиях неравновесных ограничений и метастабильности. Для дублетов SIM установлены и исследованы типы и формы взаимодействий собственных качеств системы, отвечающие принципу сходства и различия, раскрывающие тождественность смыслов механизмов: синхронии, синфазной синхронии, асинхронии, сходства частных аспектов. Для дублетов SWI установлены и исследованы типы и формы взаимодействий, порождающих: предельно полную (неполную) слитность синглетов; скачок «заряда» особой вершины синглета, выбранного самой систе-

мой, при неизменном «заряде» другого синглета; перестройку с сохранением «памяти» о состояниях синглетов без переключения «зарядов»; нерегулируемую изменчивость «зарядов» при определенных условиях «соприкосновения» синглетов. В статьях [19], [21] онтологии всех взаимодействий по базовым дублетам SIM и SWI актуализированы на реальных данных проекта «Социальная напряженность в округах и регионах России» и получили рациональное объяснение.

В этой статье на онтологическом уровне получены и исследованы внутрисистемные двухчастичные взаимодействия по моделям дублетов всех видов. В статье описан метод, следуя которому, на основе базовых (SIM, SWI) и небазовых (MIX, SEP, ABS, DIV) видов дублетов построены типы всех видов и формы всех типов дублетов. Они образуют *полное множество* моделей взаимодействия собственных качеств системы. Дублет каждого вида, типа и формы имеет характерную структуру и свою особенную разметку. Всякий отдельно взятый дублет раскрывает *онтологию* какого-то особого конкретного взаимодействия собственных качеств системы и выражает *оформленный смысл* механизма этого взаимодействия, отвечающего за изменчивость состояния системы *на уровне факта* в условиях неравновесия и метастабильности.

В статье установлено, что связанность «электрических», «магнитных» и «деформационных» полей, открытая физической наукой, проявляется в *мире смыслов* систем через атрибуты дублетов взаимодействий. На основе *теории электромагнитноупругости* физики твердого тела выявлены *физические аналоги смыслов* основных механизмов двухчастичных взаимодействий собственных качеств систем, полученных на *уровне онтологического знания*.

Список литературы

1. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Основания системологии феноменального. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. 180 с.
2. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф., Фомин О. Б. Информационный ресурс знания об открытых системах (аналитический обзор) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2021. № 10. С. 44–63.
3. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Технология системных реконструкций. Сер. «Проблемы инновационного развития». СПб.: Политехника, 2003. Вып. 2. 146 с.

4. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Методы и технологии генерации системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 132 с.
5. Fomin B. F., Kachanova T. L. Cognition of ontology of Open Systems // Proc. Comp. Sci. J. Elsevier B. V. 2017. Vol. 103. P. 39–346. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.119.
6. Научное понимание онтологии открытых систем / Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин, В. О. Агеев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 9. С. 15–24.
7. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Введение в язык систем. СПб.: Наука, 2009. 340 с.

8. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Квалитология системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 132 с.
9. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Системная онтология классов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 8. С. 25–36.
10. Естественная классификация острых отравлений фосфорорганическими веществами / В. О. Агеев, Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 8. С. 8–17.
11. Physics of Open Systems: a new approach to use genomics data in risk assessment / V. Ageev, B. Fomin, O. Fomin, T. Kachanova, C. Chen, M. Spassova, L. Kopylev // in the Book «The Continuum of Health Risk Assessments, InTech». Chapter 7 / ed. by Michael G. Tyshenko, Croatia, 2012. P. 135–160.
12. Physics of Open Systems: Effects of the Impact of Chemical Stressors on Differential Gene Expression / V. O. Ageev, T. L. Kachanova, L. Kopylev, M. Spassova, B. F. Fomin, O. B. Fomin, C. W. Chao // Cybernetics and Systems Analysis. 2014. No. 2. P. 218–227.
13. Системные эффекты многофакторных воздействий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 1. С. 28–37.
14. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Применение метода определения системных эффектов многофакторных воздействий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 2. С. 19–29.
15. Аналитическая подготовка реинжиниринга производства металлопродуктов на основе системного знания / В. О. Агеев, Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012. № 4 (159). С. 141–155.
16. Fomin B. F., Kachanova T. L., Fomin O. B. Generating scientifically proven knowledge about ontology of open systems. Multidimensional knowledge-centric system analytics // in the Book «Ontology in information Science, InTech». Chapter 8 / ed. by Ciza Thomas. Zagreb, 2018. P. 169–204.
17. Fomin B. F., Kachanova T. L. Fomin O. B. Digital twins of open systems // Lecture Notes in Networks and Systems. 2019. Vol. 95. P. 305–314. doi: org/10.1007/978-3-030-34983-7_29.
18. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. № 7. С. 70–79.
19. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 8. С. 18–31.
20. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «Переключение» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 6. С. 61–71.
21. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «Переключение» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 7. С. 40–51.
22. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Онтологии актуальных состояний и внутрисистемных двухчастичных взаимодействий в открытых системах // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2022. № 10. С. 67–78.
23. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964. 567 с.
24. Бальхаузен К. Введении в теорию поля лигандов. М.: Мир, 1964. 360 с.
25. Пятаков А. П., Звездин А. К., Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // УФН. 2012. Т. 182, № 6. С. 593–620.
26. Шафрановский И. И., Письменный В. А. Обобщенные формы двойниковых образований // В кн. «Кристаллография». Т. 6 / под ред. Г. М. Попов, И. И. Шафрановский. М.: Высш. шк. 1961.
27. Шрайвер Д., Эткинс П. Неорганическая химия. М.: Мир, 2004. Т. 1. 679 с.
28. Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.
29. Дзялошинский И. Е. Термодинамическая теория «слабого» ферромагнетизма антиферромагнетиков // ЖЭТФ. 1957. Т. 32, № 6. С. 1547–1562.

Информация об авторах

Качанова Тамара Леонидовна – профессор кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.
E-mail: kachanova-tamara@mail.ru

Фомин Борис Федорович – профессор кафедры автоматизации и процессов управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ», д-р техн. наук.
E-mail: bfomin@mail.ru

References

1. Kachanova T. L., Fomin B. F. Osnovaniya sistemologii fenomenal'nogo. SPb.: Izd-vo SPbGE`TU «LE`TI», 1999. 180 s. (In Russ.).
2. Kachanova T. L., Fomin B. F., Fomin O. B. Informacionny`j resurs znaniya ob otkry`ty`x sistemax (anali-ticheskij obzor) // Izv. SPbGE`TU «LE`TI». 2021. № 10. S. 44–63. (In Russ.).
3. Kachanova T. L., Fomin B. F. Texnologiya sistemy`x rekonstrukcij. Ser. «Problemy` innovacionnogo razvitiya». SPb.: Politehnika, 2003. Vy`p. 2. 146 s. (In Russ.).
4. Kachanova T. L., Fomin B. F. Metody` i texnologii generacii sistemnogo znaniya. SPb.: Izd-vo SPbGE`TU «LE`TI», 2012. 132 s.
5. Fomin B. F., Kachanova T. L. Cognition of ontology of Open Systems // Proc. Comp. Sci. J. Elsevier B. V. 2017. Vol. 103. P. 39–346. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.119.

6. Nauchnoe ponimanie ontologii otkrytyx sistem / T. L. Kachanova, B. F. Fomin, O. B. Fomin, V. O. Ageev // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2019. № 9. S. 15–24. (In Russ.).
7. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Vvedenie v yazyk sistem*. SPb.: Nauka, 2009. 340 s. (In Russ.).
8. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Kvalitologiya sistemnogo znaniya*. SPb.: Izd-vo SPbGE TU «LE TI», 2014. 132 s. (In Russ.).
9. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Sistemnaya ontologiya klassov* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2015. № 8. S. 25–36. (In Russ.).
10. Estestvennaya klassifikatsiya ostryx otravlenij fosfororganicheskimi veshchestvami / V. O. Ageev, T. L. Kachanova, B. F. Fomin, O. B. Fomin // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2015. № 8. S. 8–17. (In Russ.).
11. Physics of Open Systems: a new approach to use genomics data in risk assessment / V. O. Ageev, B. Fomin, O. Fomin, T. Kachanova, C. Chen, M. Spassova, L. Kopylev // in the Book «The Continuum of Health Risk Assessments, InTech». Capter 7 / ed. by Michael G. Tyshenko, Croatia, 2012. P. 135–160.
12. Physics of Open Systems: Effects of the Impact of Chemical Stressors on Differential Gene Expression / V. O. Ageev, T. L. Kachanova, L. Kopylev, M. Spassova, B. F. Fomin, O. B. Fomin, C. W. Chao // *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. No. 2. P. 218–227.
13. Sistemnyye effekty mnogofaktornyx vozdeystvij // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2017. № 1. S. 28–37. (In Russ.).
14. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Primenenie metoda opredeleniya sistemnyx effektov mnogofaktornyx vozdeystvij* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2017. № 2. S. 19–29. (In Russ.).
15. Analiticheskaya podgotovka reinzhiniringa proizvodstva metalloproduktov na osnove sistemnogo znaniya / V. O. Ageev, T. L. Kachanova, B. F. Fomin, O. B. Fomin // *Nauch.-texn. vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie*. 2012. № 4 (159). S. 141–155. (In Russ.).
16. Fomin B. F., Kachanova T. L., Fomin O. B. *Generating scientifically proven knowledge about ontology of open systems. Multidimensional knowledge-centric system analytics* // in the Book «Ontology in information Science, InTech». Capter 8 / ed. by Ciza Thomas. Zagreb, 2018. P. 169–204.
17. Fomin B. F., Kachanova T. L., Fomin O. B. *Digital twins of open systems* // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2019. Vol. 95. P. 305–314. doi: org/10.1007/978-3-030-34983-7_29.
18. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Vnutrisistemnyye vzaimodejstviya po modeli «podobiya» (teoriya)* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2019. № 7. S. 70–79. (In Russ.).
19. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Vnutrisistemnyye vzaimodejstviya po modeli «podobiya» (aktualizatsiya)* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2019. № 8. S. 18–31. (In Russ.).
20. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Vnutrisistemnyye vzaimodejstviya po modeli «Pereklyuchenie» (teoriya)* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2020. № 6. S. 61–71. (In Russ.).
21. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Vnutrisistemnyye vzaimodejstviya po modeli «Pereklyuchenie» (aktualizatsiya)* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2020. № 7. S. 40–51. (In Russ.).
22. Kachanova T. L., Fomin B. F. *Ontologii aktualnyx sostoyanij i vnutrisistemnyx dvuxchastichnyx vzaimodeystvij v otkrytyx sistemax* // *Izv. SPbGE TU «LE TI»*. 2022. №10. S. 67–78. (In Russ.).
23. Landau L. D., Lifshicz E. M. *Statisticheskaya fizika*. M.: Nauka, 1964. 567 s. (In Russ.).
24. Bal'xauzen K. *Vvedenii v teoriyu polya ligandov*. M.: Mir, 1964. 360 s. (In Russ.).
25. Pyatakov A. P., Zvezdin A. K., Magnitoelektricheskie materialy i mul'tiferroiki // *UFN*. 2012. T. 182, № 6. S. 593–620. (In Russ.).
26. Shafranovskij I. I., Pis'mennyj V. A. *Obobshhennyye formy dvojnkovykh obrazovaniy* // V kn. «Kristallografiya». T. 6 / pod red. G. M. Popov, I. I. Shafranovskij. M.: Vyssh. sh. 1961. (In Russ.).
27. Shrajver D., E'tkins P. *Neorganicheskaya ximiya*. M.: Mir, 2004. T. 1. 679 s. (In Russ.).
28. Vonsovskij S. V. *Magnetizm*. M.: Nauka, 1971. 1032 s. (In Russ.).
29. Dzyaloshinskij I. E. *Termodinamicheskaya teoriya «slabogo» ferromagnetizma antiferromagnetikov* // *ZhETF*. 1957. T. 32, № 6. S. 1547–1562. (In Russ.).

Information about the authors

Tamara L. Kachanova – Dr Sci. (Eng.), Professor of the Department of Automation and Control Processes of Saint Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: kachanova-tamara@mail.ru

Boris F. Fomin – Dr Sci. (Eng.), Professor of the Department of Automation and Control Processes of Saint Petersburg Electrotechnical University, professor.
E-mail: bfomin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.11.2022; принята к публикации после рецензирования 27.12.2022; опубликована онлайн 28.02.2023.

Submitted 23.11.2022; accepted 27.12.2022; published online 28.02.2023.